

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

<http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.02>

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. 12

№ 2

(April – June)

Kyiv – 2021

Editor-in-Chief

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

Vice-Editor

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

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

Assistants Editor

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

Editorial Board

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

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

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

Prof. Volodymyr Kozyrskii, 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, Belarus

Prof. Henryk Sobczuk, Polish Academy of Sciences, Poland

Prof. Janusz Wojdalski, Warsaw University of Life, Poland

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

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

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

Prof. Ludvikas Spokas, Agrarian University in Kaunas, Lithuania

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

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

Prof. Vjacheslav Shebanin, Mykolayiv National Agrarian University, Ukraine

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

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

Prof. Tadeusz Złoto, Częstochowa University of Technology, Poland

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

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

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, 2021

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)

<http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.02>

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 12

№ 2

(квітень – червень)

Київ – 2021

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Редкол. :

В. С. Ловейкін (голов. ред.) та ін. Київ. 2021. Вип. 12. № 2. 162 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 Міністерства 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.; І. Л. Роговський, д-р техн. наук, старший наук. співр. (заступники головного редактора); В. І. Кирилук, канд. с.-г. наук, доц. (відповідальний секретар); В. І. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; В. В. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Аніскевич, д-р техн. наук, проф.; Є. Г. Афтанділянц, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Баль-Прилипка, д-р техн. наук, проф.; В. М. Булгаков, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Войтюк, д-р техн. наук, проф.; І. В. Головач, д-р техн. наук, проф.; Г. А. Голуб, д-р техн. наук, проф.; М. В. Гребченко, д-р техн. наук, проф.; А. В. Жильцов, д-р техн. наук, проф.; М. М. Заблудський, д-р техн. наук, проф.; Н. А. Заєць, д-р техн. наук, проф.; В. В. Каплун, д-р техн. наук, проф.; В. В. Коваль, д-р техн. наук, проф.; В. В. Козирський, 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.; Л. Л. Тітова, канд. техн. наук, доц.; 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.

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 11 від 23 червня 2021 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, PИИЦ, Ulrich's Periodicals Directory, USJ, BASE, SIS, AGRIS, індексується Google Scholar, RePEc, ResearchBib, MIAR.

Відповідальний за випуск І. Л. Роговський.

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

© Національний університет біоресурсів і
природокористування України, 2021

УДК 621.87

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ СТІЛИ ТА РУКОЯТІ КРАНА-МАНІПУЛЯТОРА

В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, О. О. Сподоба, М. О. Сподоба

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: sp1309@ukr.net.

*Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.
Бібл. 20, рис. 3, табл. 0.*

Анотація. З метою підвищення продуктивності та надійності крана-маніпулятора з гідроприводом згідно з нормативно-технічною документацією, яка регламентує безпечну експлуатацію багатоланкових кранів-маніпуляторів допускається суміщення рухів з одночасним переміщенням декількох ланок стрілової системи.

В результаті в роботі розглянута методика проведення експериментальних досліджень в площині зміни вильоту стрілової системи із вантажем крана-маніпулятора. Експериментальні дослідження проводились за умови одночасного кутового переміщення стріли та рукояті.

Для проведення експериментальних досліджень спроектовано та виготовлено експериментальну установку крана-маніпулятора з гідравлічним приводом. Підібрано та налаштовано вимірювально-реєструюче обладнання.

В рамках проведення експериментальних досліджень динаміки переміщення стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем розроблено систему керування механізмами приводу, яка дає можливість реалізувати оптимальні режими руху ланок стрілової системи.

В результаті проведено експериментальні дослідження за умови одночасного кутового переміщення стріли та рукояті з вантажем на кінці стрілової системи. Отримано пакет даних за реальними та оптимальними режимами руху ланок стрілової системи крана-маніпулятора. Оброблені дані наведені в графічному вигляді та проведено порівняльний аналіз за реальними та оптимальними режимами руху.

Розроблена методика проведення експериментальних досліджень дала змогу визначити вплив одночасного переміщення стріли та рукояті на коливання вантажу, та вплив коливання вантажу на динамічні навантаження, які виникають в стріловій системі та елементах приводу крана-маніпулятора.

Ключові слова: експериментальні дослідження, зміна вильоту, суміщення рухів, кран-маніпулятор, динамічні навантаження, коливання вантажу.

Постановка проблеми

В процесі виконання технологічного процесу розвантажувально-завантажувальних операцій в елементах стрілової системи та елементах приводу крана-маніпулятора виникають динамічні навантаження, в наслідок нерівномірного обертання стрілової системи при рівномірному переміщенні штоків гідроциліндрів. Динамічні навантаження залежать від кінематичних параметрів крана-маніпулятора та від характеру зміни швидкості переміщення ланок стрілової системи з вантажем. Згідно з нормативно-технічною документацією, яка регламентує роботу багатоланкових кранів-маніпуляторів [1, 2] допускається суміщення операцій одночасного переміщення декількох ланок стрілової системи крана-маніпулятора. При суміщенні операцій одночасного переміщення двох ланок стрілової системи з вантажем можна значно знизити динамічні навантаження і відповідно підвищити продуктивність, надійність елементів стрілової системи та гідравлічного обладнання крана-маніпулятора. Для визначення дійсних динамічних навантажень в елементах конструкції крана-маніпулятора при суміщенні рухів ланок стрілової системи необхідно мати адекватні математичні моделі [3-8].

Аналіз останніх досліджень

Відомі [6-13] методи побудови математичної моделі крана-маніпулятора. В даних роботах стрілова система крана-маніпулятора представлена, як голономна механічна система, в якій центр ваги ланок металоконструкції співпадає з їх геометричними параметрами. В роботах [6-17] розглянуто побудову математичної моделі крана-маніпулятора, встановлено зв'язок між кінематичними залежностями привідної ланки крана-маніпулятора та вантажу. Проаналізовано вплив динамічних навантажень на елементи металоконструкції стрілової системи крана-маніпулятора. В роботах [10, 11] розглянуто аналіз впливу суміщення рухів трьох ланок стрілової системи на динамічну навантаженість крана-маніпулятора. В

роботі [18-20] розглянуто методику проведення експериментальних досліджень в площині зміни вильоту стрілової системи із вантажем за умови одночасного кутового переміщення рукояті та зменшення лінійного переміщення телескопічної секції крана-маніпулятора.

При досить великому обсязі розгляду проблеми динамічного аналізу суміщення одночасного руху ланок стрілової системи, розв'язок даної задачі для кранів-маніпуляторів з гідроприводом не розглянуто з врахуванням коливання вантажу на кінці стрілової системи.

Мета досліджень

Метою проведення експериментальних досліджень при суміщенні одночасного кутового переміщення кутового переміщення стріли та рукояті є отримання фактичних результатів динаміки переміщення ланок стрілової системи крана-маніпулятора з гідравлічним приводом та шарнірно закріпленим вантажем на жорсткому підвісі за реальним та оптимальним режимами руху.

Результати досліджень

Проведені теоретичні дослідження динаміки гідравлічного приводу із золотниковим розподільником [19] дали можливість визначити залежності привідних зусиль, які розвивають гідравлічні циліндри в початковий момент руху при різних законах зміни прохідної площі в золотниковій парі гідравлічного розподільника.

Для забезпечення оптимального режиму руху, необхідно визначити залежність зміни прохідної площі в золотниковій парі гідравлічного розподільника, що забезпечить необхідну об'ємну подачу робочої рідини до камери гідравлічного циліндра та тим самим надасть йому оптимальні початкові умови зміни рушійного зусилля. Розрахунок проводився для двох випадків переміщення. В першому випадку шток гідравлічного циліндра починав рух з крайнього положення, а в другому випадку із середнього положення, для врахування піддатливості елементів гідравлічної системи та відповідно робочої рідини.

Використовуючи базові золотники з лінійною залежністю зміни прохідної площі, неможливо відтворити оптимальний режим руху елементів стрілової системи. Тому постає завдання, використовуючи даний корпус гідравлічного розподільника, створити золотник із такими геометричними параметрами, який дасть можливість реалізувати оптимальний режим руху. Для цього на ущілюючих кромках циліндричного золотника радіально осі золотника виконуються дросельні щілини. Це дає можливість забезпечити оптимальну об'ємну пропускну здатність гідравлічного розподільника в початковий момент руху, та відповідно зменшити пікові значення рушійних зусиль. Саме за таких умов можливо досягти плавного пуску та гальмування штоків гідравлічних циліндрів.

Оскільки дросельні щілини можуть набувати різноманітної форми та відповідно різноманітних геометричних параметрів, проведено дослідження з утворення дросельних щілин за різними геометричними параметрами. Для досягнення даної мети повинні виконуватись наступні умови: переміщення конструктивно зміненого золотника повинно відповідати переміщенню базового золотника (переміщення базового золотника становить $\Delta z = 3 \text{ мм}$); діаметр золотника залишається незмінним, $d_3 = 14 \text{ мм}$; максимальна утворена площа конструктивно зміненої золотникової пари повинна дорівнювати максимальній утвореній площі базової золотникової пари, тобто: $f_{\text{проектована}} \geq f_{\text{базова}}$.

Згідно з вище переліченими умовами розглянуто наступні типи утворення дросельних щілин на циліндричному золотнику.

Для визначення зміни рушійного зусилля використано рівняння руху штоку гідравлічного циліндра (1) [19]

$$m_{np} \frac{d^2 x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} = P_a \cdot A_a - P_b \cdot A_b - m_{np} \cdot g, \quad (1)$$

де m_{np} – приведена маса рухомих частин та робочої рідини, кг; x – переміщення штоку гідроциліндра, м; B – коефіцієнт демпфуючої сили, зв'язаної з наявністю сил в'язкого та сухого тертя в елементах гідравлічної системи, Н/(м/с); g – прискорення вільного падіння, м/с².

Розглянуто гідравлічний золотниковий розподільник, у якого на робочих кромках золотника радіально розміщені дросельні щілини у вигляді трикутної призми змінного перерізу по осі золотника та кільцевою проточкою в корпусі (рис. 1).

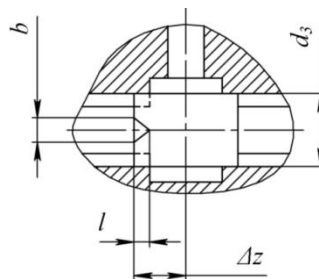


Рис. 1. Схема розміщення дросельних щілин на золотнику.

Fig. 1. The scheme of the throttle slots on the spool.

Зміна прохідної площі для даного конструктивного виконання дросельних щілин визначається наступним виразом:

$$f = n \cdot \frac{b \cdot \Delta z^2}{2 \cdot l}, \quad (2)$$

де n – кількість дросельних щілин, $n=4$; b – ширина дросельної щілини, $b=4,7 \text{ мм}$; l – довжина дросельної щілини, $l=3 \text{ мм}$; Δz – переміщення золотника, $\Delta z = 3 \text{ мм}$.

Використовуючи рівняння руху штоку гідравлічного циліндра (1), отримано залежність зміни рушійного зусилля, яке розвиває гідравлічний циліндр в початковий момент руху в залежності від зміни

прохідної площі в золотниковій парі гідравлічного розподільника. При цьому прийнято, що: золотник переміщується з нейтрального положення в максимальне робоче за час $t=0,25$ с; максимальна утворена площа становить $f=28,2$ мм². Результати розрахунку зображено на рис. 2.

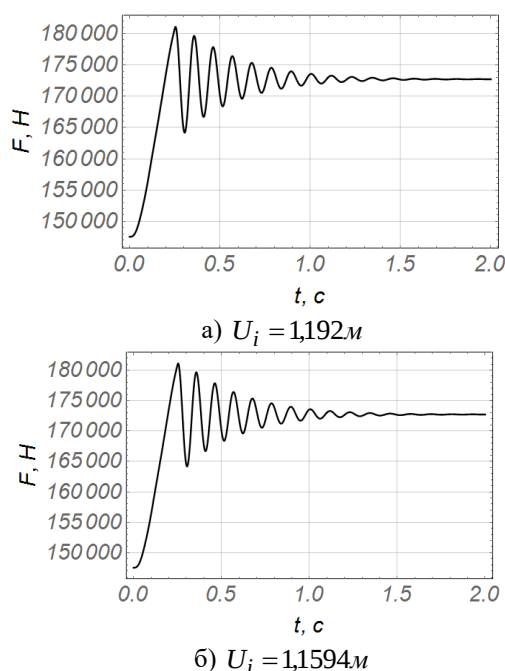


Рис. 2. Зміна рушійного зусилля при переміщенні штоку а) з крайнього положення; б) із середнього положення.

Fig. 2. Changing the driving force when moving the rod a) from the extreme position; b) from the middle position.

Розглянуто гідравлічний золотниковий розподільник, у якого на робочих кромках золотника радіально розміщені дросельні щілини у вигляді циліндричних виточок змінного перерізу по осі золотника та кільцевою проточною в корпусі (рис. 3).

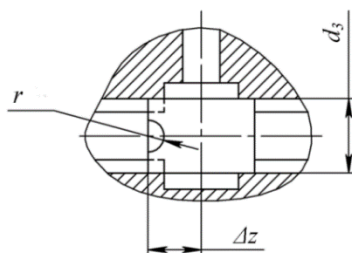


Рис. 3. Схема розміщення дросельних щілин на золотнику.

Fig. 3. The scheme of the throttle slots on the spool.

Зміна прохідної площі для даного конструктивного виконання дросельних щілин визначається наступним виразом:

$$f = n \frac{r^2}{2} \left(2 \arccos \left(\frac{r - \Delta z}{r} \right) - \sin \left(2 \arccos \left(\frac{r - \Delta z}{r} \right) \right) \right), \quad (3)$$

де n – кількість дросельних щілин, $n=4$; r – радіус дросельної щілини, $r=3$ мм; Δz – переміщення золотника, $\Delta z=3$ мм.

Використовуючи рівняння руху штоку гідравлічного циліндра (1), отримано залежність зміни рушійного зусилля, яке розвиває гідравлічний циліндр в початковий момент руху в залежності від зміни прохідної площі в золотниковій парі гідравлічного розподільника. При цьому прийнято, що: золотник переміщується з нейтрального положення в максимальне робоче за час $t=0,25$ с; максимальна утворена площа становить $f=28,27$ мм². Результати розрахунку зображено на рис. 4.

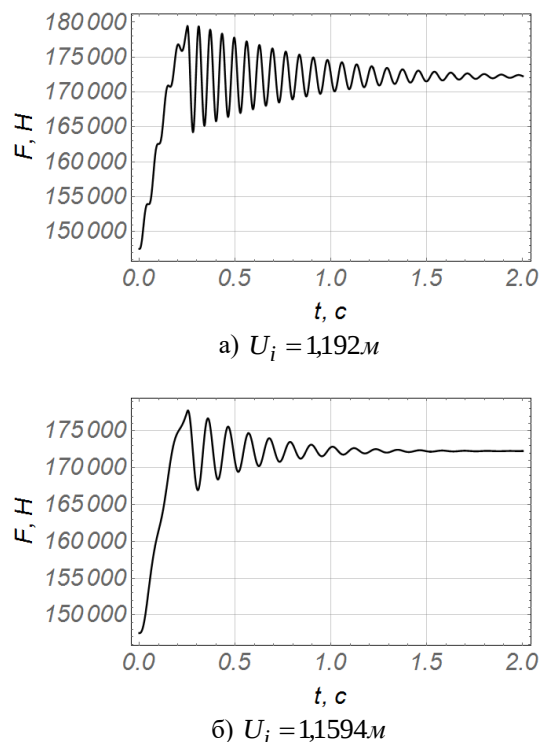


Рис. 4. Зміна рушійного зусилля при переміщенні штоку а) з крайнього положення; б) із середнього положення.

Fig. 4. Changing the driving force when moving the rod a) from the extreme position; b) from the middle position.

Розглянуто гідравлічний золотниковий розподільник, у якого на робочих кромках золотника радіально розміщені дросельні щілини у вигляді конусних виточок змінного перерізу по осі золотника та кільцевою проточною в корпусі (рис. 5).

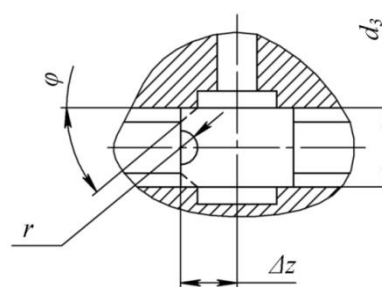


Рис. 5. Схема розміщення дросельних щілин на золотнику.

Fig. 5. The scheme of the throttle slots on the spool.

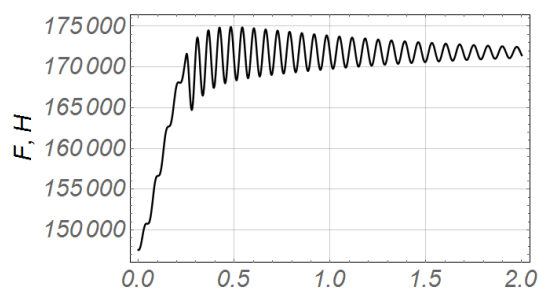
Зміна прохідної площі для даного

конструктивного виконання дросельних щілин визначається наступним чином:

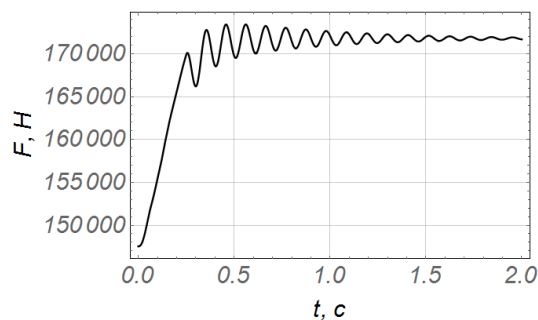
$$f = n \cdot \frac{r^2}{2} \cdot \left(2 \cdot \arccos\left(\frac{r - \Delta z}{r}\right) - \sin\left(2 \cdot \arccos\left(\frac{r - \Delta z}{r}\right)\right) \right) \cdot \sin(\varphi) \quad (4)$$

де n – кількість дросельних щілин, $n=4$; r – радіус дросельної щілини, $r=3$ мм; φ – кут утворення конусу, $\varphi = 30^\circ$; Δz – переміщення золотника, $\Delta z = 3$ мм.

Використовуючи рівняння руху штоку гідравлічного циліндра (1), отримано залежність зміни рушійного зусилля, яке розвиває гідравлічний циліндр в початковий момент руху в залежності від зміни прохідної площі в золотниковій парі гідравлічного розподільника. При цьому прийнято, що: золотник переміщується з нейтрального положення в максимальне робоче за час $t=0,25$ с; максимальна утворена площа становить $f=28,27$ мм². Результати розрахунку зображено на рис. 6.



а) $U_i = 1,192$ м



б) $U_i = 1,1594$ м

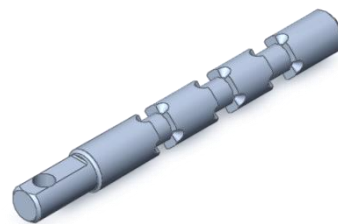
Рис. 6. Зміна рушійного зусилля при переміщенні штоку а) з крайнього положення; б) із середнього положення.

Fig. 6. Changing the driving force when moving the rod a) from the extreme position; b) from the middle position.

Порівнявши між собою отримані результати конструктивного виконання утворених дросельних щілин, видно, що в усіх трьох випадках зміна прохідної площі приймає вигляд параболічної кривої, але з різними параметрами пропускної здатності робочої рідини в часі. Враховуючи отримані графічні залежності зображені на рис. 7, за яких можливо реалізувати оптимальний режим руху, для виготовлення золотника прийнято варіант, коли

дросельні щілини виконані у вигляді конусних виточок змінного перерізу по осі золотника. Оскільки за таких геометричних параметрів дросельних щілин найбільше мінімізуються рушійні зусилля в початковий момент руху.

Прийнявши до уваги вищеописані припущення та розрахунки, було виготовлено золотник із дросельними щілинами. На рис. 7 зображено конструктивно змінений золотник, за допомогою якого виконується керування механізмами приводу та надання ланкам стрілової системи умов оптимального режиму руху.



а)



б)

Рис. 7. Конструктивно змінений золотник: а) 3D-модель; б) виготовлений золотник.

Fig. 7. Structurally changed spool: a) 3D-model; b) manufactured spool.

Експериментальні дослідження режимів руху ланок стрілової системи проводились на власноруч спроектованій та виготовленій експериментальній установці крана-маніпулятора з гідравлічним приводом (рис. 8).



Рис. 8. Розроблена експериментальна установка крана-маніпулятора.

Fig. 8. The experimental installation of the loader crane is developed.

Експериментальні дослідження одночасного кутового переміщення стріли та рукояті проводились за таких початкових умов:

- Початок руху стріли та рукояті відбувався одночасно;

- початок руху стріли починався із положення штоку гідравлічного циліндру приводу стріли $U_1 = 0,73\text{ м}$, що відповідає кутовій координаті $\alpha = 0,01\text{ рад}$;

- початок руху рукояті починався із положення штоку гідравлічного циліндру приводу рукояті $U_2 = 0,81\text{ м}$, що відповідає кутовій координаті $\beta = -0,79\text{ рад}$.

- виліт телескопічної секції дорівнював $U_3 = 0\text{ м}$;

- маса вантажу становила 50 кг (рис. 9).

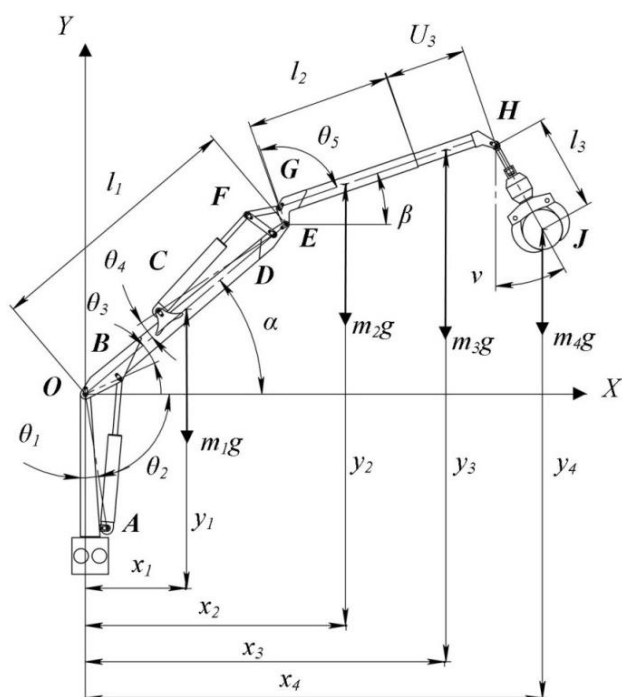
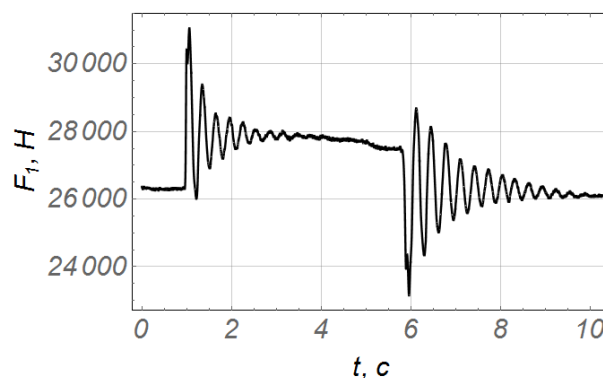


Рис. 9. Схема крана-маніпулятора.
Fig. 9. The scheme of the loader crane.

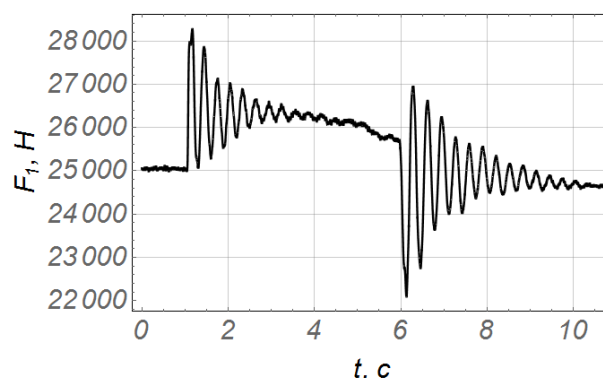
На рис. 9 наведено такі позначення: l_1 – довжина стріли; l_2 – довжина рукояті; l_3 – довжина шарнірного підвісу; m_1 – маса стріли; m_2 – маса рукояті; m_3 – маса телескопічної секції; m_4 – маса вантажу; $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ – кути, що утворені геометричними параметрами елементів стрілової системи та приводних гідравлічних циліндрів крана-маніпулятора; x_1, x_2, x_3, x_4 – горизонтальні координати центрів мас стріли, рукояті, телескопічної секції та вантажу; y_1, y_2, y_3, y_4 – вертикальні координати центрів мас відповідно стріли, рукояті, телескопічної секції та вантажу; α, β, v – кутові координати положення стріли, рукояті та вантажу; U_3 – лінійна координата положення телескопічної секції.

Отримані результати експериментального дослідження режимів руху стрілової системи при поєднанні одночасного кутового переміщення стріли

та рукояті з використанням базового та конструктивно зміненого золотників наведено в графічному вигляді на рис. 11 – рис. 16.



а)



б)

Рис. 10. Графік зусилля яке розвиває гідравлічний циліндр приводу стріли: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 10. The schedule of effort which develops the hydraulic cylinder of the drive of the boom: а) a factory spool; б) structurally changed spool.

Аналізуючи графіки зусилля (рис. 10 а), видно, що на початку руху стріли із використанням базових золотників виникає миттєве зростання відповідно зусилля, значення якого рівне $F_1 = 31149\text{ Н}$. При подальшому переміщенні спостерігаються коливання зусилля затухаючого характеру, розмах якого становить $\Delta F_1 = 5124\text{ Н}$, протягом 2,5 с.

При гальмуванні розмах коливання зусилля становить: $\Delta F_1 = 5526\text{ Н}$, протягом 4 с. При гальмуванні значення розмаху зусилля на 7% більші ніж при пуску.

За умови використання конструктивно змінених золотників з графіку зусилля (рис. 10 б) видно, що на початку руху стріли виникає миттєве зростання зусилля, значення якого рівне $F_1 = 28385\text{ Н}$. При подальшому переміщенні спостерігаються коливання зусилля затухаючого характеру, розмах якого становить $\Delta F_1 = 3265\text{ Н}$, протягом 4 с.

При гальмуванні розмах коливання зусилля становить: $\Delta F_1 = 4773\text{ Н}$, протягом 4 с. Та відповідно під час гальмування значення розмаху зусилля на 32% більші ніж при старті.

При порівнянні між собою обох режимів руху

видно, що при використанні конструктивно змінених золотників пікові значення зусиль на початку руху менші на 9%, а розмах значень зусилля зменшився на 36%. При гальмуванні розмах значень зусилля зменшився на 14%.

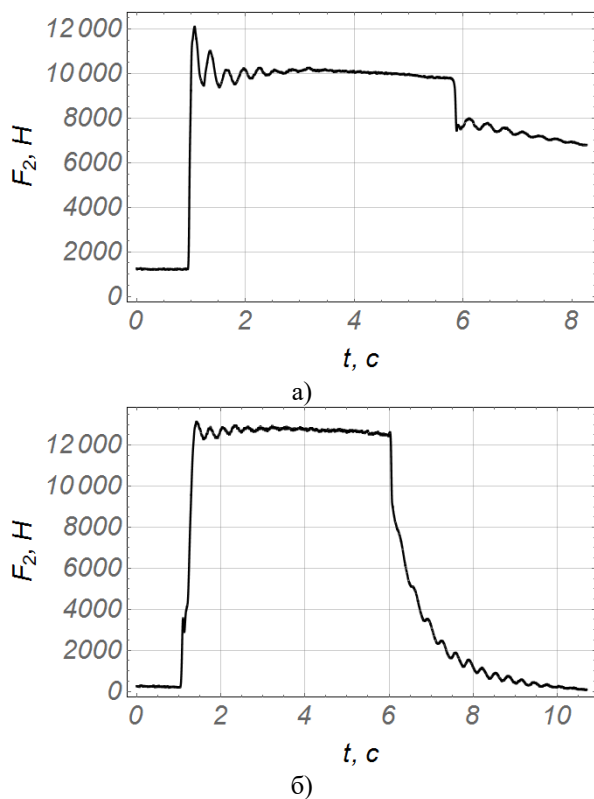


Рис. 11. Графік зусилля, яке розвиває гідравлічний циліндр приводу рукояті: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 11. Graph of the force that develops the hydraulic cylinder of the drive of the jib: a) factory spool; b) structurally changed spool.

В початковий момент руху рукояті при використанні базових золотників виникає миттєве зростання зусилля (рис. 11, а), яке набуває пікового значення $F_2 = 12246$ Н. Надалі при переміщенні рукояті номінальне значення зусилля становить $F_2 = 10174$ Н. Різниця між піковим та номінальним значенням зусилля складає 17%.

Процес гальмування відбувається миттєво, після чого спостерігаються явно виражені коливання вантажу (рис. 14, а)

При використанні конструктивно змінених золотників зростання зусилля на початку руху (рис. 11 б) відбувається плавно, набуваючи пікового значення $F_2 = 13188$ Н. Надалі при переміщенні рукояті номінальне значення зусилля складає $F_2 = 12811$ Н. Різниця між піковим та номінальним значенням зусилля складає 3%. Процес гальмування відбувається плавно, після чого мають місце виражені незначні коливання вантажу (рис. 14, б)

При порівнянні між собою обох режимів руху видно, що при використанні конструктивно змінених золотників пікові значення зусиль на початку руху зменшилися на 82% в порівнянні з базовими

золотниками.

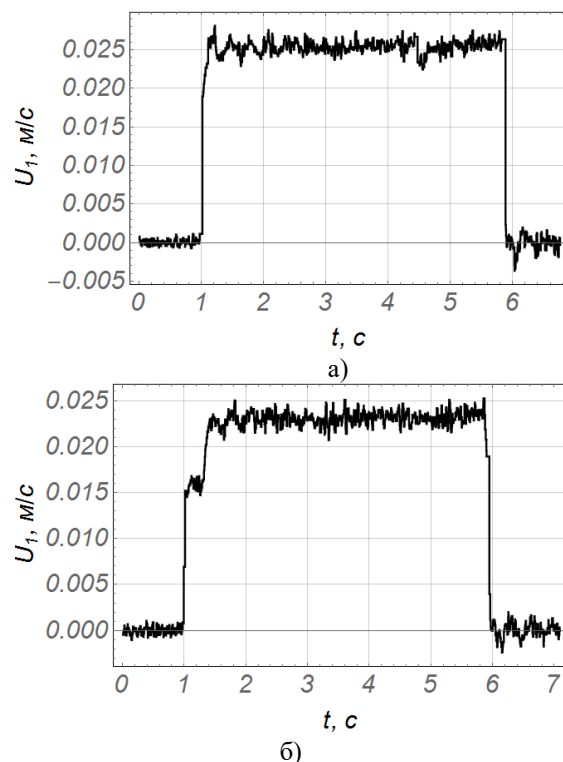


Рис. 12. Графік швидкості переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу стріли: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 12. Graph of the speed of movement of the rod of the hydraulic cylinder of the boom drive: a) factory spool; b) structurally changed spool.

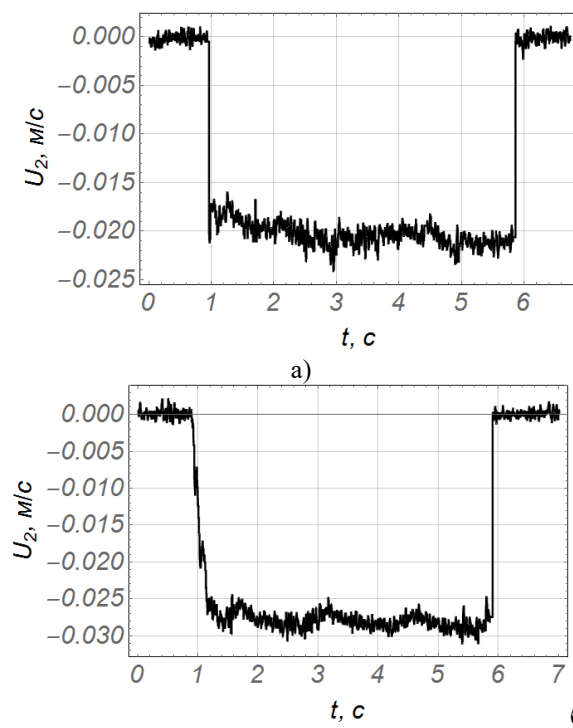


Рис. 13. Графік швидкості переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 13. Graph of the speed of movement of the rod of the hydraulic cylinder of the drive of the jib: a) factory spool; b) structurally changed spool.

Із графічних залежностей швидкостей переміщення вихідних ланок механізмів приводу (рис. 12 а, рис. 13 а) видно, що при застосуванні базових золотників розгін відбувається миттєво. При подальшому переміщенні спостерігаються відхилення швидкості від номінального значення, які зумовлені коливаннями металоконструкції стрілової системи та вантажу. При цьому середня швидкість усталеного руху штоку гідравлічного циліндра приводу стріли становить 0,025 м/с, а рукояті 0,021 м/с.

При використанні конструктивно змінених золотників (рис. 12 б, рис. 13 б) для стріли розгін відбувається плавно, але з невеликим провалом, що зумовлено відхиленням вантажу, яке співпадає з напрямком переміщення стріли.

Швидкість усталеного руху штоку гідравлічного циліндра приводу стріли становить 0,023 м/с. Момент розгону та виходу на усталений рух штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті відбувається плавно, при цьому швидкість усталеного руху становить 0,027 м/с.

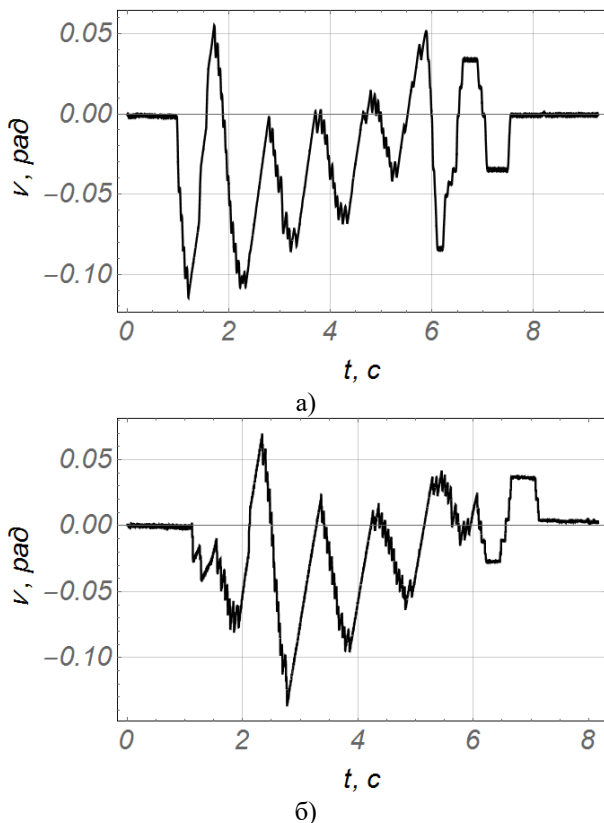


Рис. 14. Графік кутового відхилення вантажу: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 14. Graph of angular deviation of cargo: a) factory spool; b) structurally changed spool.

За умови одночасного переміщення стріли та рукояті відбувається знакозмінне відхилення вантажу від вертикалі. Максимальне відхилення вантажу на початку руху при використанні базових золотників (рис. 14 а) набуває значення $\nu = -0,12$ рад. При цьому розмах коливання складає $\Delta\nu = 0,18$ рад. При гальмуванні розмах коливаний становить

$\Delta\nu = 0,135$ рад. Тривалість затухання коливаний становить 1,7 с.

Використовуючи конструктивно змінені золотники, максимальне значення відхилення вантажу (рис. 14 б) на початку руху становить $\nu = -0,08$ рад. При цьому розмах відхилення складає $\Delta\nu = 0,15$ рад.

При гальмуванні розмах коливаний становить $\Delta\nu = 0,07$ рад. При цьому тривалість затухання коливаний вантажу дорівнює 1 с.

Порівнюючи між собою обидва режими, можна відмітити, що розмах значень відхилення вантажу на початку руху за роботи із конструктивно зміненим золотником на 17% зменшився, а під час гальмування розмах коливаний вантажу зменшився на 48%. При цьому час затухання коливаний вантажу зменшився на 41%.

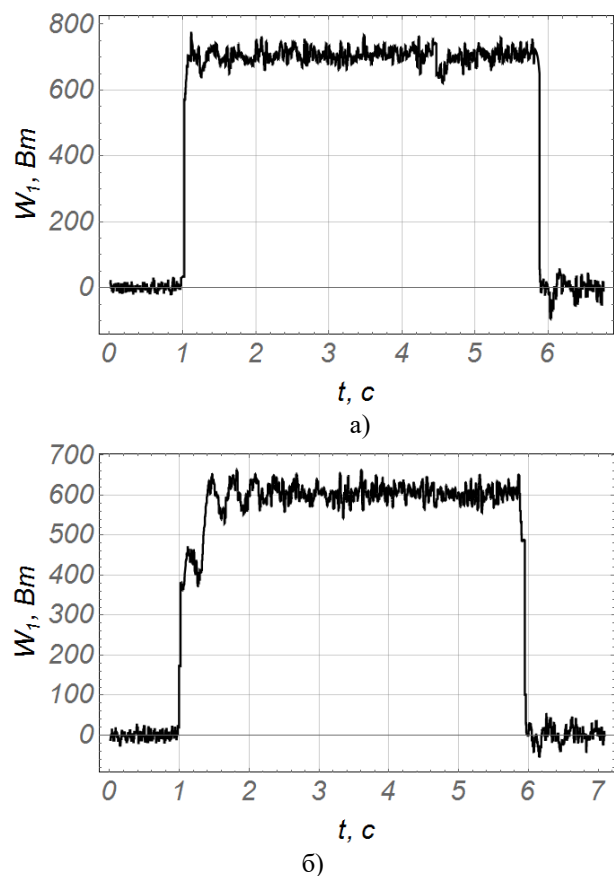


Рис. 15. Графік затраченої потужності для переміщення стріли з вантажем: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 15. The schedule of the spent power for the movement of the boom with cargo: a) a factory spool; b) structurally changed spool.

Аналізуючи графіки затраченої потужності для переміщення стріли та рукояті з вантажем (рис. 15 а та рис. 16 а) при використанні базового золотника, видно, що вихід на номінальну споживану потужність відбувається миттєво та в подальшому супроводжується незначними відхиленнями від номінального значення. Для стріли максимальні відхилення від номінальної потужності складають 15%, а для рукояті 21%.

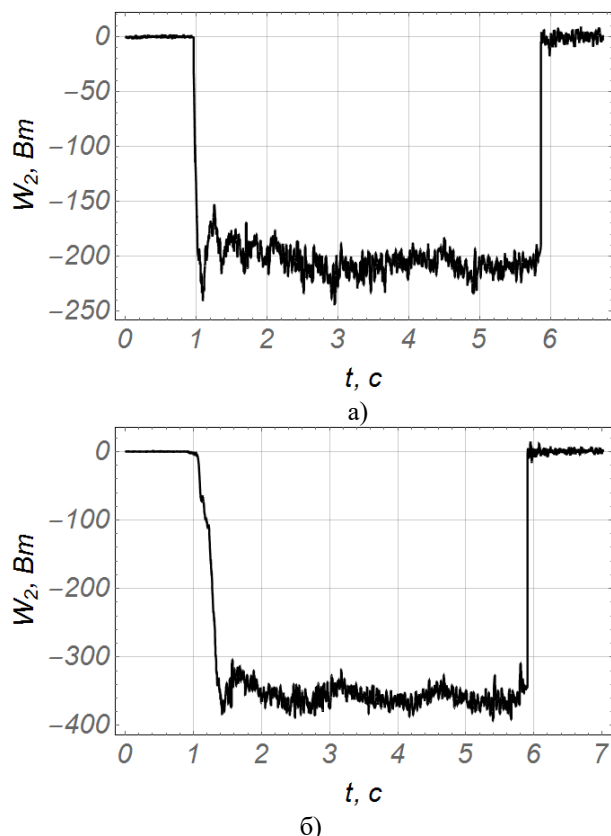


Рис. 16. Графік затраченої потужності для переміщення рукояті з вантажем: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 16. Graph of power consumption for moving the jib with cargo: a) factory spool; b) structurally changed spool.

Аналізуючи графік затраченої потужності для переміщення стріли та рукояті з вантажем (рис. 15, б та рис. 16, б), видно, що вихід на номінальну споживану потужність відбувається плавно. При подальшому переміщенні стрілової системи з вантажем відхилення потужності від номінального значення є незначними та становить для стріли 12%, а для рукояті 7%.

Висновки

1. В результаті проведених експериментальних досліджень за одночасного кутового переміщення стріли та рукояті. При порівнянні між собою за обома режимами руху видно, що при використанні конструктивно змінених золотників пікові значення зусиль на початку руху менші на 9%, а розмах значень зусиль зменшився на 36%. При гальмуванні розмах значень зусиль зменшився на 14%. А для рукояті пікові значення зусиль на початку руху зменшились на 82% в порівнянні з базовими золотниками.

2. Розмах значень відхилення вантажу на початку руху за роботи із конструктивно зміненим золотником на 17% зменшився, а під час гальмування розмах коливань вантажу зменшився на 48%. При цьому час затухання коливань вантажу зменшився на 41%.

Список літератури

1. Руководство по эксплуатации крана манипулятора ОМТЛ-70.00.000РЭ и его модификаций: веб-сайт URL: <http://service-palfinger.ru/images/OMTL-70.pdf> (Дата звернення 02.06.2021).
2. Wang D., He H., Liu D. Intelligent Optimal Control With Critic Learning for a Nonlinear Overhead Crane System. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2018. Vol. 14(7), P. 2932–2940. doi: 10.1109/tii.2017.2771256.
3. Ковальський В. Ф. Математическое моделирование динамики манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины с учетом упругости звеньев. *Известия МАМИ*. 2016. №3. С. 9–15.
4. Мильто А. А. Динамический и прочностной анализ гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин: дисс. ... канд. техн. наук. Москва. МАДИ ГТУ МАДИ. 2016. 172 с.
5. 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.
6. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Сподоба О. О. Математична модель динаміки зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем при суміщенні рухів. *Machinery & Energetics. Journal of Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 1. P. 141–149.
7. Ловейкін В. С. Мищук Д. О. Математичне моделювання зміни вильоту вантажу маніпулятором з гідроприводом. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. Київ. 2012. С. 9–15.
8. Zhang X., Xue R., Yang Y., Cheng L., Fang Y. Learning Time-optimal Anti-Swing Trajectories for Overhead Crane Systems. *Lecture Notes in Computer Science*. 2016. P. 338–345. doi: 10.1007/978-3-319-40663-3_39.
9. Ловейкін В. С. Мищук Д. О. Експериментальне дослідження динаміки руху штока гідроциліндра підйому шарнірнозчленованої стрілової системи крана-маніпулятора з гідроприводом. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2011. № 78. С. 28–34.
10. Doktian J., Pongyart W., Vanichchanunt P. Passivity-Based Approach for Overhead Crane Anti-Sway Controller Design. *Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C)*. 2019. doi: 10.1109/ri2c48728.2019.8999961.
11. Engelbrecht Andries P. *Computational intelligence: an introduction*. 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd. 2007. 597 p.
12. Cybenko G. Approximations by superpositions of sigmoidal functions. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*. 1989. Vol. 2(4). P. 303–314. doi: 10.1007/BF02551274.
13. Мищук Д. О. Дослідження динамічної моделі гідралічного циліндра об'ємного гідроприводу Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2016. № 87. С. 74–81.

14. Тертычный-Даури В. Ю. Динамика робототехнических систем. Санкт-Петербург. НИУ ИТМО. 2012. 128 с.

15. Заболотный К. С. Сирченко А. А. Жупиев А. Л. Использование прямой задачи динамики для расчета манипулятора тоннельного укладчика. Вібрації в техніці та технологіях. 2016. №2 (82). С. 22–27.

16. Dobrachev A. A., Raevskaya L. T., Shvets A. V. Simulating the dynamic reaction of manipulator supports. Russian Engineering Research. 2010. Vol. 30. No 1. P. 11–16.

17. Ловейкин В. С., Мищук Д. А. Синтез оптимального динамического режима движения стрелы манипулятора, установленного на упругом основании. Наука и Техника. 2019. Том 18. № 1. С. 55–61.

18. Ловейкин В. С., Сподоба О. О. Експериментальні дослідження режимів руху крана-манипулятора з вантажем при суміщенні рухів. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv, Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 5–15.

19. Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I. Agrotronics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 164 p.

20. Loveikin V., Spodoba O., Spodoba M., Romasevych Y. Research of dynamics of hydraulic drive with a hydraulic distributor. TEKA. Quarterly journal of agri-food industry. Rzeszow. 2019. Vol. 19. No 3. P. 45–54.

References

1. Operation manual of the crane of the OMTL-70.00.000RE manipulator and its modifications: website <http://service-palfinger.ru/images/OMTL-70.pdf> (Date beast 09.06.2019).

2. Wang D., He H., Liu D. (2017). Adaptive Critic Nonlinear Robust Control: A Survey. IEEE Transactions on Cybernetics. 47(10). 34293451. doi: 10.1109/tcyb.2017.2712188.

3. 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.

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

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

6. Loveikin V. S., Romasevych Yu. O., Spodoba O. O. (2019). Mathematical model of dynamics of change of departure of boom system of the loader crane with load at the combined movements. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. 10(1). 141–149.

7. Loveykin V. S., Mischuk D. O. (2012). Mathematical modeling of changes in cargo departure with

a hydraulic drive. Girmichi, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini, Kyiv. 9–15.

8. Zhang X., Xue R., Yang Y., Cheng L., Fang Y. (2016). Learning Time-optimal Anti-Swing Trajectories for Overhead Crane Systems. Lecture Notes in Computer Science. 338–345. doi: 10.1007/978-3-319-40663-3_39.

9. Loveykin V. S., Mishchuk D. O. (2011). Experimental study of dynamics of the stock of a hydraulic cylinder for lifting a hinged articulated boom system of a crane-manipulator with a hydraulic drive. Girmichi, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini. Kyiv. 78. 28–34.

10. Doktian J., Pongyart W., Vanichchanunt P. (2019). Passivity-Based Approach for Overhead Crane Anti-Sway Controller Design. Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C). doi: 10.1109/ri2c48728.2019.8999961.

11. Engelbrecht Andries P. (2007). Computational intelligence: an introduction. 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd. 597.

12. Cybenko G. (1989). Approximations by superpositions of sigmoidal functions. Mathematics of Control, Signals, and Systems. 2(4). 303–314. doi: 10.1007/BF02551274.

13. Mishuk D. O. (2016). Research of a dynamic model of a hydraulic cylinder of a volumetric hydraulic drive. Girmichi, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini. Kyiv. 87. 74–81.

14. Tertychny-Dauri V. Yu. (2012). The dynamics of robotic systems. NRU ITMO. 128.

15. Zabolotny K. S., Sirchenko A. A., Zhupiev A. L. (2016). Use of the direct problem of dynamics for calculating the manipulator of a tunnel stacker. Vibration in technology and technology. 2(82). 22–27.

16. Dobrachev A. A., Raevskaya L. T., Shvets A. V. (2010). Simulating the dynamic reaction of manipulator supports. Russian Engineering Research. № 1. 11–16.

17. Loveykin V. S., Mishchuk D. A. (2019). Synthesis of the optimal dynamic mode of movement of the boom of the manipulator mounted on an elastic base. Science and Technology. 18(1). 55–61.

18. Loveikin V. S., Spodoba O. O. (2020). Experimental researches of modes of movement of the loader crane with cargo at the combined movements. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. 11(3). 5–15.

19. Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I. (2020). Agrotronics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 164.

20. Loveikin V., Spodoba O., Spodoba M., Romasevych Y. (2019). Research of dynamics of hydraulic drive with a hydraulic distributor. TEKA. Quarterly journal of agri-food industry. Rzeszow. 19(3). 45–54.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ СТРЕЛЫ И РУКОЯТИ КРАНА-МАНИПУЛЯТОРА

В. С. Ловейкин, Ю. А. Ромасевич, А. А. Сподоба, М. А. Сподоба

Аннотация. С целью повышения производительности и надежности крана-манипулятора с гидроприводом согласно нормативно-технической документацией, регламентирующей безопасную эксплуатацию многозвенных кранов-манипуляторов, допускается совмещение движений с одновременным перемещением нескольких звеньев стреловой системы.

В результате в работе рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований в плоскости изменения вылета стреловой системы крана-манипулятора с грузом. Экспериментальные исследования проводились при условии одновременного углового перемещения стрелы и рукояти.

Для проведения экспериментальных исследований спроектировано и изготовлено экспериментальную установку крана-манипулятора с гидравлическим приводом. Подобрано и настроено измерительно-регистрирующее оборудование.

В рамках проведения экспериментальных исследований динамики перемещения стреловой системы крана-манипулятора с грузом разработана система управления механизмами привода, которая дает возможность реализовать оптимальные режимы движения звеньев стреловой системы.

В результате проведены экспериментальные исследования при условии одновременного перемещения стрелы и рукояти с грузом на конце стреловой системы. Получено пакет данных по реальным и оптимальным режимам движения звеньев стреловой системы крана-манипулятора. Обработанные данные приведены в графическом виде и проведен сравнительный анализ с реальными и оптимальными режимами движения.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований, позволила определить влияние одновременного перемещения стрелы и рукояти на колебания груза, и влияние колебания груза на динамические нагрузки, возникающие в стреловой системе и механизмах привода крана-манипулятора.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, изменение вылета, совмещение движений, кран-манипулятор, динамические нагрузки, колебания груза.

of simultaneous angular movement of the main boom and jib.

To carry out experimental studies, an experimental installation of a hydraulic-driven loader crane was designed and manufactured. Measuring and recording equipment has been selected and adjusted.

In the framework of experimental studies of the dynamics of movement of the boom system of a loader crane with a load, a control system for drive mechanisms has been developed, which makes it possible to realize the optimal modes of movement of the links of the boom system.

As a result, experimental studies were carried out under the condition of simultaneous movement of the main boom and jib with a load at the end of the boom system. A package of data on real and optimal modes of movement of the links of the boom system of the loader crane was received. The processed data are presented in graphical form and a comparative analysis with real and optimal modes of movement is carried out.

The developed method of experimental research has made it possible to determine the effect of the simultaneous movement of the boom and jib on the oscillations of the load, and the effect of the oscillations of the load on the dynamic loads arising in the boom system and the drive mechanisms of the loader crane.

Key words: experimental research, change in departure, the combination of movements, loader crane, dynamic loads, load vibrations.

В. С. Ловеikin ORCID 0000-0003-4259-3900.

Ю. О. Ромасевич ORCID 0000-0001-5069-5929.

О. О. Сподоба ORCID: 0000-0001-8217-866X.

М. О. Сподоба ORCID: 0000-0001-6179-0825.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE MOTION MODES OF THE MAIN BOOM AND JIB OF LOADER CRANE

V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, O. O. Spodoba, M. O. Spodoba

Abstract. In order to increase the productivity and reliability of a hydraulic-powered loader crane, according to the normative-technical documentation regulating the safe operation of multi-link cranes, it is allowed to combine movements with the simultaneous movement of several links of the boom system.

As a result, the paper considers a technique for conducting experimental studies in the plane of changing the boom system of a loader crane with a load. Experimental studies were carried out under the condition

УДК 621.664: 669.01(075)

THICKNESS INFLUENCE ON ELEMENT SEGREGATION IN CONTINUOUSLY CAST STEEL SLABS

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 2021, Accepted – June 2021, Published – 30 July 2021.

Bibl. 9, fig. 4, tabl. 8.

Abstract. The article presents the results of a study of the effect of slab thickness on the element segregation of during continuous casting of billets. The process of accumulation of elements on the surface of dendrites during crystallization of steel slabs for various thicknesses is considered. The theoretical dependence of the process of accumulation of elements on the dendrite surface during the crystallization of steel slabs for various thicknesses has been established. It is shown that the efficiency of accumulation of elements on the dendrite surface depends significantly from the crystallization and cooling rate of the slab.

The established dependence makes it possible to determine the permissible increased element content in strips, which is equivalent to their content in thick slabs during continuous casting of billets. The element segregation searching shows that at pouring of thin steel strips, an increasing of the element content is possible compared to continuous casting of thick slabs with an identical level of segregation.

The elements are arranged as possible to maximize the impurities content in AISI 1006 carbon steel in the following decreasing sequence: S, O, N, P, H. Another sequence is observed for stainless steel AISI 304: O, S, P, H, N.

The following sequences are observed in the case of residual elements: for steel AISI 1006 - Pb, Bi, Sn, As, Zn, Sb, Cu; for steel AISI 304 - Cu, Sb, Sn, Bi, Pb, As, Zn.

The sequences are as follows for the alloying elements: for steel AISI 1006 - B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si, Cr; for steel AISI 304 - Ca, Te, Al, Ti, Mg, C, La, Ce, Nb, Se, V, B, Si, Cr, Mn.

Key words: segregation, steel, chemical composition, austenite, δ -ferrite, element distribution, dendrite, liquid, solid, phase.

Introduction

Continuous casting technology is one of the economical ways to produce high quality billets. The world's leading manufacturers produce by continuous casting from 81 to 97% of the total steel production [1].

Approximately 2/3 of the total steel volume is produced on slab continuous casting machines for sheet production.

Currently, there is a tendency in the world to transition from the manufacture of thick-sheet (150-300 mm) [1] to thin-sheet (1-5 mm) [2] continuously cast blanks.

This is due to the fact that when pouring of billets with dimensions close to the final, the number of technological operations decreases, capital and energy costs are reduced, and the working cycle is reduced.

Formulation of problem

A thickness decreasing accompanies by a change of the conditions of the structure formation and the development of chemical and structural heterogeneity in the sheet during continuously casting of steel slabs. However, systemic studies of the peculiarities of the structure formation and the development of chemical and structural heterogeneity of thin strip have been insufficiently performed.

Therefore, the problem of studying the features of the segregation process of elements during the formation of thin strip at continuously casting is current importance.

Analysis of recent research results

The segregation of elements in metal, generally for the equilibrium conditions, depend on the temperature and the elements solubility in solid and liquid. It is characterized by the equilibrium coefficient of elements distribution (k_{0i}). In non-equilibrium conditions a very strong influence exert on these phenomena the forming condition of dendrite structure and the secondary structure.

The element segregation during the dendrite structure forming depend mainly on:

- element solubility in solid and liquid phases;
- crystallization rate (v_{cr});
- mobility diffusion time of elements (D);
- dendrite size (x^p);
- kinematic viscosity of liquid phase (ν);
- velocity of liquid metal around the dendrites (u_∞).

Table 1. Distribution of elements between liquid and solid phases for equilibrium conditions.

Element	Atomic mass, M	Iron type	Transformation t, °C	Solubility, % wt.		k _{oi}
				in solid	in liquid	
Impurities						
H	1.0079	δ	1535	0.00108	0.00253	0.43
		γ	1401	0.00045	0.0009	0.50
N	14.007	δ	1536	0.01	0.0451	0.22
		γ	650	0.702	1.141	0.62
O	15.999	δ	1536	0.00344	0.0458	0.08
		γ	1528	0.000869	0.00344	0.25
P	30.974	δ	1048	2.384	9.425	0.25
		γ	1150	0.249	0.499	0.50
S	32.060	δ	1365	0.175	11.285	0.02
		γ	1365	0.051	0.175	0.29
Alloying elements						
C	12.011	δ	1498	0.101	0.497	0.20
		γ	1153	1.978	3.719	0.53
Si	28.086	δ	1250	10.05	12.57	0.8
		γ	1150	1.96	1.96	1.0
Mn	54.938	δ	1473	9.44	12.78	0.74
		γ	1244	100	100	1.00
Cr	51.996	δ	1507	21.41	21.41	1
		γ	830	6.98	6.98	1
V	50.9414	δ	1468	30.09	30.09	1
		γ	1150	1.28	1.82	0.70
Ni	58.71	δ	1512	3.993	5.465	0.73
		γ	1450	100	100	1
Nb	92.906	δ	1372	4.656	17.628	0.26
		γ	1150	1.663	2.66	0.62
B	10.81	δ	1381	0.00135	1.393	0.00097
		γ	1381	0.00116	0.00135	0.86
Mg	24.305	δ	1515	0.087	0.753	0.125
		γ	1388	0.0435	0.087	0.500
Al	25.9815	δ	1232	24.65	0.0744	0.075
		γ	1160	0.721	0.00558	0.250
Ca	40.08	δ	1538	0.00395	0.0323	0.12
		γ	1392	0.0179	0.0358	0.05
Ti	47.9	δ	1289	8.4	13.72	0.61
		γ	1100	0.171	0.514	0.33
La	138.906	δ	1400	4.973	24.864	0.20
		γ	1382	0.137	0.249	0.55
Ce	140.12	δ	1390	3.511	27.59	0.127
		γ	1390	0.0376	0.0627	0.600
Residual elements						
Cu	63.546	δ	1478	7.62	11.716	0.650
		γ	1094	8.53	99	0.078
Zn	65.38	δ	780	50.32	99	0.48
		γ	1150	0.0655	0.076	0.85
Sn	118.69	δ	1128	17.63	64.37	0.27
		γ	1150	1.7	3.19	0.53
Pb	207.19	δ	1535	0.001	0.0482	0.021
		γ	1391	0.167	0.260	0.650
Bi	208.98	δ	1538	0.0112	0.0935	0.12
		γ	1391	0.206	0.374	0.55

The element accumulation on boundary surface between the solid and liquid phases, for equilibrium

conditions, depend on the state diagrams Fe-I (element) and the value of the equilibrium distribution coefficient (k_{oi})

= percentage ration of element I in solid iron and liquid iron) in iron.

This coefficient for equilibrium conditions has the following values as presented in table 1 [3-5].

The data of table 1 are the basis for calculating and predicting of the thickness influence on the element segregation in continuously cast steel slabs.

Purpose of research

The purpose of the work is the theoretical and methodological substantiation to investigate the influence of slabic thickness on the segregation of elements during continuous casting of preparations.

Research results

The element heterogeneity during the first time of equilibrium crystallization (without diffusion) in δ and γ fields is shown in table 2.

Table 2. Solubility ratio of elements in liquid and solid iron ($C_{\text{liq}}/C_{\text{isol}}$) in the first time of equilibrium crystallization of iron in δ and γ fields.

Element	$C_{\text{liq}}/C_{\text{isol}}$		Element	$C_{\text{liq}}/C_{\text{isol}}$	
	δ - iron	γ - iron		δ - iron	γ - iron
Residual elements			Impurities		
Pb	47.62	1.54	S	62.50	3.45
Bi	8.33	1.82	O	13.33	4.00
Sn	3.70	1.89	N	4.55	1.61
As	2.56	1.35	P	4.00	2.00
Zn	2.08	1.18	H	2.33	2.00
Sb	2.00	2.33			
Cu	1.54	12.82			
Alloying elements					
B	1030.9	1.16	Ti	1.64	3.03
C	5.00	1.89	Cr	1.00	1.00
Mg	8.00	2.00	V	1.00	1.43
Al	13.33	4.00	Mn	1.35	1.00
Si	1.25	1.00	Ni	1.37	1.00
Ca	8.33	20.00	Nb	3.85	1.61
La	5.00	1.82	Se	50.00	1.49
Ce	7.87	1.67	Te	10.00	16.13

Data of table 2 show that the crystallization of iron in δ -phase present more heterogeneity during first time of crystallization:

- for residual elements – Pb is first (Pb will be 47.62 times more on boundary surface between the solid and liquid phase than in liquid metal) and less for other residual elements Bi, Sn, As, Zn, Sb, Cu;

- for impurities – S is first (S will be 62.5 times more on boundary surface between the solid and liquid phase than in liquid metal)) and less for other impurities O, N, P, H;

- for alloying elements – B is first (B will be 1031 times more on boundary surface between the solid and liquid phase than in liquid metal)) and less for other

alloying elements Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, La, C, Nb, Ti, Ni, Mn, Si, Cr, V.

Instead, for crystallization in γ -phase it is:

- for residual elements – Cu is first (Cu will be 12.82 times more on boundary surface between the solid and liquid phase than in liquid metal)) and less for other residual elements Sb, Sn, Bi, Pb, As, Zn;

- for impurities – O is first (O will be 4 times more on boundary surface between the solid and liquid phase than in liquid metal)) and less for other impurities S, P, H, N;

- for alloying elements – Ca is first (Ca will be 20 times more on boundary surface between the solid and liquid phase than in liquid metal)) and less for other alloying elements Te, Al, Ti, Mg, C, La, Ce, Nb, Se, V, B, Ni, Mn, Si, Cr.

The effective coefficient of element distribution (k_{eff}), in non-equilibrium conditions, has the next dependence [3]:

$k_{\text{eff}} = k_{\text{oi}} / (k_{\text{oi}} + (1 - k_{\text{oi}}) \exp(-v_{\text{cr}} \cdot \delta_c / D))_{fp}, (1)$
 where k_{oi} – the equilibrium coefficient of elements distribution, v_{cr} – crystallization rate, δ_c – diffusion boundary layer, D – coefficient of element diffusion (usually in melt iron is $D = 5 \cdot 10^{-9} \div 1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ [3])

The thickness of the diffusion layer (δ_c) around dendrites is found according to next formula:

$$\delta_c = \delta / 1.026 \cdot (v/D)^{1/3}, (2)$$

the thickness of boundary layer (δ) in the above formula is expressed as follow:

$$\delta = 4.64 \cdot (x^p \cdot v / u_{\infty})^{1/2}, (3)$$

where x^p – distance between the dendrite peak, v – kinematic viscosity of melt, u_{∞} – laminar movement speed of melt flow.

In fig. 1 is shown the velocity distribution of the melt flow around the dendrite.

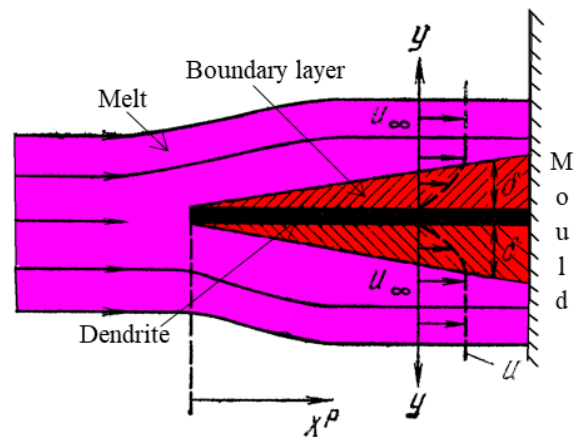


Fig. 1. Velocity distribution of melt flow nearest to the dendrite [6].

Strip and thick slab parameters are shown in table 3. The boundary and diffusion layers are calculated, for the processes of strip and thick slab casting in the table 4, according to the data presented in table 3.

Table 3. Strip and thick slab parameters.

Parameter	Strip		Thick slab
Thickness, mm	1.2	1.8	220

Casting speed, m/min	131	59	2
Total solidification time, s	0.116	0.258	1070
Average speed of crystallization, mm/s	5.172	3.488	0.103
Average shell cooling rate in mould, °C/s	1853	826	12
Average size of dendrites ($\bar{x}^D$), mm	0.6 - 0.7	1.0 - 1.2	12.0 - 20.0
Speed of melt flow (u_∞), m/s	0.2 - 0.50		0.2 - 0.6
Coefficient of diffusion of elements (D), m ² /s	$5 \cdot 10^{-9} \div 1 \cdot 10^{-8}$		
Kinematic viscosity of melt, with C = 0.054 % wt., at 1550 °C (ν), m ² /s	$10.8 \cdot 10^{-7}$		

Table 4. Values of the boundary (δ) and diffusion layers (δ_c) and the parameter $\nu_{cr} \cdot \delta_c / D$ for the processes of strip and thick slab casting.

Parameter		Type of slab		
		Thick	Strip	
			Thickness, mm	
			220	1.8
δ , mm	min	0.68	0.22	0.167
	max	1.53	0.37	0.285
δ_c , mm	min	0.110	0.035	0.027
	max	0.312	0.077	0.0583
	average	0.211	0.056	0.043
$\nu_{cr} \cdot \delta_c / D$	min	2.27	24.4	27.9
	max	3.21	26.68	30.15
	average	2.74	25.55	29.03

It is observed that from the table 4 the thickness of the diffusion layer (δ_c) for strip casting is 3.78 to 4.94 times less than for the conventional continuous casting and the integral parameter ($\nu_{cr} \cdot \delta_c / D$) increases from 9.32 to 10.59 times. This means that for the strip casting the value of the distribution coefficients increases as shown in figure 2.

Increasing of the value of the effective coefficient of element distribution (k_{eff}) must increase the steel homogeneity in diffusion layer (C_{δ_c}), due to the accumulation of elements on interface dendrites/liquid steel, that could be calculated by the following formula.

$$C_{\delta_c} = C_{liq} \left(1 + \frac{1 - k_{eff}}{k_{eff} \cdot \exp\left(\frac{\nu_{cr} \cdot \delta_c}{D}\right)} \right), \quad (4)$$

The maximum accumulation of elements is for the conditions: $\delta_c = 0$ and $C_{max} = C_{liq} / k_{eff}$ (fig. 3).

Calculations of the effective coefficient of element distribution (k_{eff}) and maximum segregation of elements (C_{liq} / k_{eff}) are shown in table 5.

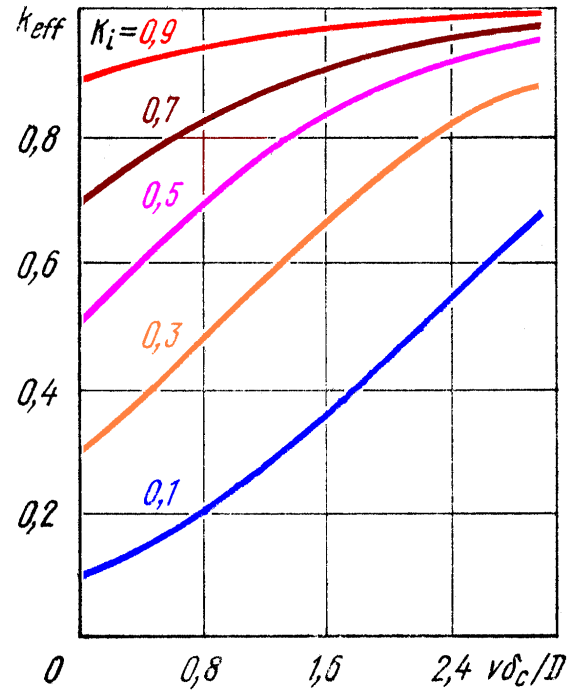


Fig. 2. Dependence of k_{eff} from of the parameter ($\nu_{cr} \cdot \delta_c / D$).

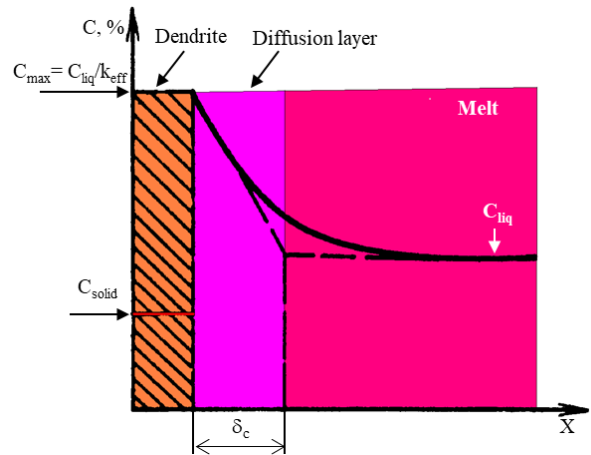


Fig. 3. Distribution of elements on interface dendrite/liquid steel.

The data of the table 5 show that the increasing of the cooling and crystallization rate decreases the micro segregation of steels, and for the strip casting the transformation of liquid to solid takes place practically without diffusion, keeping the liquid state.

Experimental data presented in [7-9] table 6, 7 confirm the above calculations (fig. 4).

The dendrite segregation in conventional continuous casting is next: S = 1.8 - 2.4, C = 1.45 - 1.7, Cr = 1.25 - 1.75, Mn = 1.2 - 1.45, Ni = 1.2 - 1.35 [9].

Instead, for the strip casting the segregation index aspires to 1. For example, the segregation index for as-cast strip (AISI 304 stainless steel) is next [10]: Cr = 1, Ni = 0.99, Mn = 0.98, Si = 1.

$$C_{max(i)} = C_{liq(i)} \cdot \left(1 + \frac{1 - k_{eff(i)}}{k_{eff(i)}} \right) = C_{liq(i)} / k_{eff(i)}, \quad (5)$$

For conventional casting

$$C_{max(conv)(i)} = C_{liq(conv)(i)} / k_{eff(conv)(i)}, \quad (6)$$

and strip casting

$$C_{\max(\text{strip})(i)} = C_{\text{liq}(\text{strip})(i)} / k_{\text{eff}(\text{strip})(i)}, \quad (7)$$

where $C_{\text{liq}(\text{conv})(i)}$ is the content of element I in liquid steel for the conventional continuous casting, $C_{\text{liq}(\text{strip})(i)}$ is the content of element I in liquid steel for the strip casting, $k_{\text{eff}(\text{conv})(i)}$ is the effective coefficient of distribution of element I for the conventional continuous casting, $k_{\text{eff}(\text{strip})(i)}$ is the effective coefficient of distribution of element I for strip casting.

Table 5. Effective coefficient of element distribution (k_{eff}) and maximum segregation of elements ($C_{\text{liq}}/k_{\text{eff}}$) respectively for thick slab and strip casting.

C i	Strip casting (thickness - 1.8 mm)				Thick slab (thickness - 220 mm)			
	δ - iron		γ - iron		δ - iron		γ - iron	
	k_{eff}	$C_{\text{liq}}/k_{\text{eff}}$	k_{eff}	$C_{\text{liq}}/k_{\text{eff}}$	k_{eff}	$C_{\text{liq}}/k_{\text{eff}}$	k_{eff}	$C_{\text{liq}}/k_{\text{eff}}$
Impurities								
H	1	0.003	1	0.001	0.92	0.003	0.94	0.001
N	1	0.045	1	1.141	0.81	0.055	0.96	1.186
O	1	0.046	1	0.003	0.56	0.082	0.84	0.004
P	1	9.425	1	0.499	0.84	11.25	0.94	0.531
S	1	11.29	1	0.175	0.20	56.10	0.86	0.203
Residual elements								
Zn	1	99	1	0.076	0.94	100.0	0.99	0.077
Sn	1	64.37	1	3.19	0.85	75.63	0.95	3.372
Pb	1	0.048	1	0.260	0.25	0.193	0.97	0.269
Alloying elements								
B	1	1.39	1	0.001	0.02	94.03	0.99	0.001
C	1	0.50	1	3.72	0.8	0.62	0.9	3.93
Mg	1	0.75	1	0.09	0.7	1.09	0.9	0.09
Al	1	0.07	1	0.01	0.6	0.13	0.8	0.01
Si	1	12.6	1	1.96	0.98	12.8	1.0	1.96
Ca	1	0.03	1	0.04	0.77	0.05	0.44	0.08
Ti	1	13.7	1	0.51	0.96	14.28	0.88	0.58
Cr	1	21.4	1	6.98	1.0	21.4	1.0	6.98
V	1	30.1	1	1.82	1.0	30.09	0.97	1.870
Mn	1	12.8	1	100	0.98	13.0	1.0	100
Ni	1	5.47	1	100	0.98	5.59	1.0	100
Nb	1	17.6	1	2.66	0.8	20.9	0.96	2.77
La	1	24.9	1	0.25	0.80	31.3	0.95	0.26
Ce	1	27.6	1	0.06	0.7	39.8	0.96	0.07
Se	1	7.07	1	0.21	0.2	29.4	0.97	0.22
Te	1	2.28	1	0.38	0.6	3.60	0.5	0.72

Table 6. Dendrites elements segregation in ingots [7].

Ele- ment	Ratio of content element I in between arm spacing of dendrites to content element I in arm dendrites, $C_{\Lambda 2}/C_d$
S	1.50 – 2.00
P	1.47 – 1.65
C	1.45 – 1.60
W	1.60 – 1.70
As	1.40 – 1.60
V	1.30 – 1.50
Mo	1.25 – 1.45
Si	1.17 – 1.23
Cr	1.17 – 1.23
Mn	1.12 – 1.18
Ni	1.00 – 1.10

In case of considering equal segregation for both processes of conventional continuous casting and of strip casting the following conditions will be verified:

$$C_{\max(\text{conv})(i)} = C_{\max(\text{strip})(i)}, \quad (8)$$

$$\frac{C_{\text{liq}(\text{conv})(i)}}{k_{\text{eff}(\text{conv})(i)}} = \frac{C_{\text{liq}(\text{strip})(i)}}{k_{\text{eff}(\text{strip})(i)}}, \quad (9)$$

$$C_{\text{liq}(\text{strip})(i)} = C_{\text{liq}(\text{conv})(i)} \cdot \frac{k_{\text{eff}(\text{strip})(i)}}{k_{\text{eff}(\text{conv})(i)}}, \quad (10)$$

Table 7. Segregation ratio of as-cast strip [8].

Elements	After mould roll pressing force, ton			
	0	2.3	20.5	38.8
Cr	0.99	0.99	1.0	1.0
Ni	0.98	0.95	0.89	0.88
Mn	0.97	0.94	0.90	0.80

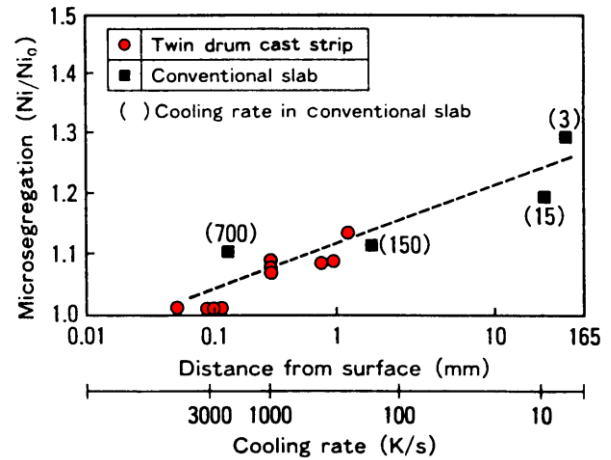


Fig. 4. Influence of cooling rate on micro segregation of Ni for AISI 304 stainless steel.

In according with formula 4 the maximum elements segregation of element I ($C_{\max(i)}$) will be at $\delta_c = 0$ (see fig. 3).

The ratio $k_{\text{eff}(\text{strip})(i)} / k_{\text{eff}(\text{conv})(i)}$ shows how many times is possibility to increase the element content in liquid steel, for the strip casting process, maintaing the same segregation index as for the conventional continuous casting. Results of calculation are presented in table 8.

The data presented in table 8 shown that maximum possible increase of elements in carbon (AISI 1006) and stainless (AISI 304) сталей for the strip casting process (considering a thickness of 1.8 mm) in comparison with the continuous casting process (considering a thickness of 220 mm) for the conditions of having equal dendrite segregation for the both processes are different.

The elements are arranged as possible to maximize the impurities content in AISI 1006 carbon steel in the following decreasing sequence: S, O, N, P, H. Another sequence is observed for stainless steel AISI 304: O, S, P, H, N.

The following sequences are observed in the case of residual elements:

- for steel AISI 1006 - Pb, Bi, Sn, As, Zn, Sb, Cu;
- for steel AISI 304 - Cu, Sb, Sn, Bi, Pb, As, Zn.

Table 8. Theoretical possibility of increasing the element percentage in liquid steel for the strip casting

process (considering a thickness of 1.8 mm) in comparison with the continuous casting process (considering a thickness of 220 mm) for the conditions of having equal dendrite segregation for the both processes.

Percentage increase of elements, % (This percentage is compared to the element level for the conventional continuous casting)			
Crystallization in δ phase (For example steel AISI 1006)		Crystallization in γ phase (For example steel AISI 304)	
Impurities			
S	497.1	O	19.4
O	79.6	S	15.8
N	22.9	P	6.5
P	19.4	H	6.5
H	8.6	N	4.0
Residual elements			
Pb	401.0	Cu	76.3
Bi	47.4	Sb	8.6
Sn	17.5	Sn	5.7
As	10.1	Bi	5.3
Zn	7.0	Pb	3.5
Sb	6.5	As	2.3
Cu	3.5	Zn	1.1
Alloying elements			
B	6750.3	Ca	222.7
Se	416.4	Te	97.7
Al	79.6	Al	19.4
Te	58.1	Ti	13.1
Ca	47.4	Mg	6.5
Mg	45.2	C	5.7
Ce	44.4	La	5.3
C	25.8	Ce	4.3
La	25.8	Nb	4.0
Nb	18.4	Se	3.2
Ti	4.1	V	2.8
Mn	2.3	B	1.1
Ni	2.3	Si	0
Si	1.6	Cr	0
Cr	0	Mn	0

The sequences are as follows for the alloying elements:

- for steel AISI 1006 - B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si, Cr;
- for steel AISI 304 - Ca, Te, Al, Ti, Mg, C, La, Ce, Nb, Se, V, B, Si, Cr, Mn.

Conclusions

1. The established dependence makes it possible to determine the permissible increased content of elements in steel strips, in comparison with thick slabs, at which their level of segregation is equivalent to the level of their segregation in thick slabs during continuous casting of billets.

2. Research on the micro segregation of elements has shown that for the strip casting process the element content could be increased too much in steel compared to the conventional slab casting having the same level of the

micro segregation.

3. The elements are arranged as possible to maximize the impurities content in AISI 1006 carbon steel in the following decreasing sequence: S, O, N, P, H. Another sequence is observed for stainless steel AISI 304: O, S, P, H, N.

4. The following sequences are observed in the case of residual elements:

- for steel AISI 1006 - Pb, Bi, Sn, As, Zn, Sb, Cu;
- for steel AISI 304 - Cu, Sb, Sn, Bi, Pb, As, Zn.

5. The sequences are as follows for the alloying elements:

- for steel AISI 1006 - B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si, Cr;
- for steel AISI 304 - Ca, Te, Al, Ti, Mg, C, La, Ce, Nb, Se, V, B, Si, Cr, Mn.

Список літератури

1. *Zhi-ling Peng, Chun-gui Zhou*. Research on modeling of nonlinear vibration isolation system based on Bouc-Wen model. Defence Technology. 2014. Vol. 10. P. 371-374.
2. *Semenov M. E., Meleshenko P. A., Solovyov A. M., Semenov A. M.* Hysteretic nonlinearity in inverted pendulum problem. Springer Proceedings in Physics. 2015. Vol. 168. P. 463-507.
3. *Bernyk I., Nazarenko I., Luhovskyi O.* Effect of rheological properties of materials on their treatment with ultrasonic cavitation. Materials and technology. 2018. Vol. 4 (52). P. 465-468.
4. *Veklich A., Tmenova T., Zazimko O., Trach V., Lopatko K., Titova L., Boretskij V., Aftandilants Y., Lopatko S., Rogovskiy I.* Regulation of biological processes with complexions of metals produced by underwater spark discharge. 2020. Springer Proceedings in Physics. Book series Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces and Their Applications. Vol. 247. P. 283-306.
5. *Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L.* Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.
6. *Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I.* Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3(105). P. 19-29.
7. *Tmenova T., Valensi F., Veklich A., Cressault Y., Boretskij V., Lopatko K., Aftandilyant Y.* Etude d'un arc impulsif immergé à l'aide de deux dispositifs expérimentaux. Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement. 2017. Vol. 3. No 1. P. 2428-8500. doi: 10.18145/jitipee.v3i1.159.
8. *Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I.* Agrotechnics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 164 p.

9. Boretskij V. F., Veklich A. N., Tmenova T. A., Cressault Y., Valensi F., Lopatko K. G., Aftandilyants Y. G. Plasma of underwater electric discharges with metal vapors. Problems of atomic science and technology. 2019. № 1. Series: Plasma Physics (25). P. 127-130.

References

1. Zhi-ling Peng, Chun-gui Zhou. (2014). Research on modeling of nonlinear vibration isolation system based on Bouc-Wen model. Defence Technology. 10. 371-374.
2. Semenov M. E., Meleshenko P. A., Solovyov A. M., Semenov A. M. (2015). Hysteretic nonlinearity in inverted pendulum problem. Springer Proceedings in Physics. 168. 463-507.
3. Bernyk I., Nazarenko I., Luhovskyi O. (2018). Effect of rheological properties of materials on their treatment with ultrasonic cavitation. Materials and technology. 4 (52). 465-468.
4. Veklich A., Tmenova T., Zazimko O., Trach V., Lopatko K., Titova L., Boretskij V., Aftandilyants Y., Lopatko S., Rogovskiy I. (2020). Regulation of biological processes with complexions of metals produced by underwater spark discharge. Springer Proceedings in Physics. Book series Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces and Their Applications. 247. 283-306.
5. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6 (7-108). 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.
6. Hryniv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3(105). 19-29.
7. Tmenova T., Valensi F., Veklich A., Cressault Y., Boretskij V., Lopatko K., Aftandilyant Y. (2017). Etude d'un arc impulsif immergé à l'aide de deux dispositifs expérimentaux. Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement. 3(1). 2428-8500. doi: 10.18145/jitipee.v3i1.159.
8. Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I. (2020). Agrotechnics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 164.
9. Boretskij V. F., Veklich A. N., Tmenova T. A., Cressault Y., Valensi F., Lopatko K. G., Aftandilyants Y. G. (2019). Plasma of underwater electric discharges with metal vapors. Problems of atomic science and technology. 1. Series: Plasma Physics (25). 127-130.

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛЯБОВ НА СЕГРЕГАЦИЮ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ ЗАГОТОВОК

Е. Г. Афтандилянц

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования влияния толщины слабов на сегрегацию элементов при непрерывном литье заготовок. Рассмотрен процесс накопления элементов на поверхности дендритов при кристаллизации стальных слабов различной толщины. Установлена теоретическая зависимость процесса накопления элементов на поверхности дендритов при кристаллизации стальных слабов различной толщины. Показано, что эффективность накопления элементов на поверхности дендритов существенно зависит от скорости кристаллизации и охлаждения слэба. Установленная зависимость позволяет определить допустимое повышенное содержание элементов в лентах, эквивалентное их содержанию в толстых слэбах при непрерывном литье заготовок. Исследование сегрегации элементов показало, что при разливе тонких стальных лент возможно увеличение содержания элементов по сравнению с непрерывной разливкой толстых слэбов при идентичном уровне сегрегации.

По уровню максимального увеличения содержания примесей в тонких лентах из углеродистой стали AISI 1006 элементы располагаются в следующей убывающей последовательности: S, O, N, P, H. Для тонких лент из нержавеющей стали AISI 304 наблюдается другая последовательность: O, S, P, H, N.

В случае остаточных элементов наблюдаются следующие закономерности:

- для ленты из стали AISI 1006 - Pb, Bi, Sn, As, Zn, Sb, Cu;
- ленты из стали AISI 304 - Cu, Sb, Sn, Bi, Pb, As, Zn.

Для легирующих элементов установленные последовательности имеют следующий вид:

- ленты из стали AISI 1006 - B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si, Cr;
- ленты из стали AISI 304 - Ca, Te, Al, Ti, Mg, C, La, Ce, Nb, Se, V, B, Si, Cr, Mn.

Ключевые слова: сталь, химический состав, аустенит, δ-феррит, распределение элементов, дендрит, жидкий, фаза, твердый.

ВПЛИВ ТОВЩИНИ СЛЯБІВ НА СЕГРЕГАЦІЮ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМУ ЛИТТІ ЗАГОТОВОК

Є. Г. Афтанділянц

Анотація. У статті наводяться результати дослідження впливу товщини слівів на сегрегацію елементів при безперервному лиття заготовок. Розглянуто процес накопичення елементів на поверхні дендритів при кристалізації сталевих слівів різної товщини. Встановлено теоретична залежність процесу накопичення елементів на поверхні дендритів при кристалізації сталевих слівів різної товщини. Показано, що ефективність накопичення елементів на поверхні дендритів істотно залежить від швидкості кристалізації і охолодження слэба. Встановлена

залежність дозволяє визначити допустимий підвищений вміст елементів в стрічках, еквівалентну їхнім змістом у товстих слябах при безперервному лиття заготовок. Дослідження сегрегації елементів показало, що при розливання тонких сталевих стрічок можливе збільшення вмісту елементів в порівнянні з безперервним литтям товстих слябів при ідентичному рівні сегрегації.

За рівнем максимального збільшення вмісту домішок в тонких стрічках з вуглецевої сталі AISI 1006 елементи розташовуються в наступній спадної послідовності: S, O, N, P, H. Для тонких стрічок з нержавіючої сталі AISI 304 спостерігається інша послідовність: O, S, P, H, N.

У разі залишкових елементів спостерігаються такі закономірності:

- для стрічки зі сталі AISI 1006 - Pb, Bi, Sn, As, Zn, Sb, Cu;

- стрічки зі сталі AISI 304 - Cu, Sb, Sn, Bi, Pb, As, Zn.

Для легуючих елементів послідовності мають такий вигляд:

- стрічки зі сталі AISI 1006 - B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si, Cr;

- стрічки зі сталі AISI 304 - Ca, Te, Al, Ti, Mg, C, La, Ce, Nb, Se, V, B, Si, Cr, Mn.

Ключові слова: сталь, хімічний склад, аустеніт, δ -ферит, розподіл елементів, дендрит, рідкий, фаза, твердий.

Ye. G. Aftandilants ORCID 0000-0001-5864-9855.

УДК 631.3-331.45

АНАЛІЗ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ДЛЯ МЕХАНІЗОВАНОГО ОБПРИСКУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

В. О. Тимочко¹, І. М. Городецький¹, А. П. Березовецький¹, О. В. Войналович², О. О. Вісін³

¹Львівський національний аграрний університет, Україна.

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

³Луцький національний технічний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: tymochko_vo@ukr.net; ivanhorod@gmail.com; onore@email.ua; voynalovich@nubip.edu.ua; lena_visyn@ukr.net.

Історія статті: отримано – березень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року. Бібл. 24, рис. 0, табл. 1.

Анотація. Нині спостерігається тенденція щодо інтенсивного збільшення обсягів хімічного захисту рослин пестицидами, які є потенційно небезпечними для довкілля та людини. Відповідно ризики отруєнь, професійних захворювань, які пов'язані з використанням пестицидів у сільськогосподарському виробництві, зростають.

В Україні ухвалено низку законодавчих і нормативно-правових документів, які регламентують правові відносини, пов'язані із застосуванням пестицидів у сільськогосподарському виробництві. Державні санітарні правила ДСП 8.8.1.2.001-98 є основним нормативним документом, який регламентує вимоги до транспортування, зберігання та застосування пестицидів на виробництві.

Нормативи, розроблені та затверджені більше, ніж чверть століття тому, є застарілими і не враховують особливостей нових технологій. Тому, зважаючи на сучасні вимоги до гігієнічного нормування та отримання нових даних щодо токсикологічних властивостей пестицидів, зростає необхідність гармонізації вітчизняної нормативної бази з вимогами Європейського співтовариства. Частина чинних нормативів потребує перегляду і оновлення.

Рекомендації щодо використання засобів індивідуального захисту працівників для проведення обприскування було проаналізовано згідно з ДСП 8.8.1.2.001-98 та паспортом безпеки фунгіциду Аканто® Плюс виробництва Дюпон Інтернешнл Оперейшнз СН-1218 Le Grand-Saconnex/GE Швейцарія, розробленого згідно з Регламентом (ЄС) №1907/2006 зі змінами.

Аналіз засобів безпеки, а саме захисту очей та органів дихання, показав, що використання рекомендацій ДСП 8.8.1.2.001-98 для працівників на роботах хімічного захисту обприскуванням є суперечливими, що може створити небезпечні умови праці. Для деяких видів робіт це завищені вимоги, яких важко дотримати за реальних умов польових робіт. Тому, в Україні назріла потреба перегляду

чинних нормативних документів щодо вимог безпеки транспортування, зберігання та застосування пестицидів та узгодження їх із Європейськими стандартами.

Ключові слова: безпека праці, нормативна база, пестициди, обприскування, засоби індивідуального захисту.

Постановка проблеми

Упровадження інтенсивних технологій у рільництві потребує застосування великої кількості хімічних засобів, значну частину з яких становлять пестициди – препарати, які використовують для знищення шкідників сільськогосподарських рослин, контролю їх активності й поширення, боротьби із бур'янами та хворобами сільськогосподарських рослин. Нині в сільському господарстві України (у т.ч. фермерських й одноосібних господарствах) використовують майже 2000 видів пестицидів та агрохімікатів, а це негативно впливає на виробничу й природне довкілля та здоров'я людини. Річна потреба сільського господарства у хімічних препаратах на даний час становить понад 35 тис. тонн.

Більшість пестицидів – це біологічно активні речовини, тому вони не тільки діють на об'єкти, проти яких їх застосовують, а є також потенційно небезпечними для довкілля та людини. Тому ризики отруєнь, професійних захворювань, які пов'язані з використанням пестицидів й агрохімікатів у сільськогосподарському виробництві, створюють серйозну соціально-економічну проблему й залишаються надто високими.

Законодавство України встановлює вимоги безпеки праці працівників під час роботи із отрутохімікатами. Ці вимоги є обов'язковими для роботодавців та працівників, які виконують роботи з використанням отрутохімікатів [1-3].

В Україні ухвалено низку законодавчих і нормативно-правових документів, які регламентують

правові відносини, пов'язані із застосуванням пестицидів й агрохімікатів у сільськогосподарському виробництві. Однак, значна кількість нормативів, які розроблено та затверджено ще вже понад 30 років тому, потребують перегляду та адаптації до сучасних вимог.

Особливо актуальними залишаються питання оцінювання ризику внаслідок дії хімічних речовин у системі «людина – умови праці» під час технологічних процесів механізованого обприскування сільськогосподарських культур та розроблення на цій основі профілактичних заходів щодо запобігання випадкам отруєнь і профзахворювань.

Аналіз літературних джерел

Чинне трудове законодавство регламентує проведення медичних оглядів працівників певних категорій під час прийняття на роботу та впродовж трудової діяльності; навчання і перевірку знань з питань безпеки праці посадових осіб та працівників; особливості використання праці жінок та неповнолітніх; забезпечення працівників засобами індивідуального захисту і вимоги до них; встановлення знаків безпеки для позначення небезпечних зон; норми щодо рівня небезпечних і шкідливих виробничих чинників у виробничих приміщеннях та на робочих місцях [4, 5].

Роботодавці зобов'язані забезпечити виконання нормативних документів і оцінити ризики, що виникають у технологічних процесах, та розробити відповідні організаційні заходи, використавши необхідні ресурси для запобігання або зменшення ризику травмування, отруєння, професійних захворювань працівників, пошкодження обладнання, пристроїв та інструментів. Однак у відповідній нормативній документації не наведено перелік можливих ризиків, методики їх оцінення і заходи щодо запобігання [6, 7].

Недотримання працезахоронних вимог щодо безпечного використання пестицидів під час сільськогосподарських робіт призводить до гострих та хронічних отруєнь, а в подальшому й до професійних захворювань [8].

Враховуючи сучасні вимоги до гігієнічного нормування та отримання нових даних щодо токсикологічних властивостей пестицидів, та необхідність гармонізації вітчизняної нормативної бази з вимогами Європейського співтовариства, частина чинних нормативів потребує перегляду [9].

Питанням ефективності технологічних процесів, пов'язаних із застосуванням пестицидів й агрохімікатів у сільськогосподарському виробництві, присвячено багато наукових праць і публікацій [10, 11 та ін.].

На основі аналізу технологічних процесів, пов'язаних із застосуванням пестицидів, розглянуто заходи охорони праці, що спрямовані на мінімізацію негативного впливу отрутохімікатів на виробниче й природне довкілля та здоров'я людини. Висвітлено небезпеки й шкідливості, які виникають у

виробничому довкіллі під час проведення робіт із хімічного захисту сільськогосподарських культур та заходи щодо зниження виробничих ризиків [12-14].

Загальні методи управління безпекою праці у проектах аграрного виробництва, методики аналізу небезпек різних технологічних процесів для удосконалення управління охороною праці наведено у працях [15, 16]. Водночас питанням щодо захисту від негативного впливу (або його мінімізації) на працівників аграрного сектору економіки, питанням аналізу та обґрунтування шляхів розвитку нормативної бази приділено недостатньо уваги.

Мета досліджень

Мета дослідження – проаналізувати чинні вітчизняні та міжнародні нормативні акти, що регулюють питання безпеки застосування хімічних засобів захисту рослин методом механізованого обприскування.

Результати досліджень

Сучасне сільське господарство України характеризується широким використанням хімічних засобів захисту рослин. У свою чергу пестициди є токсичними речовинами, які негативно впливають на людину та довкілля. Пестициди застосовують в Україні на значних площах і суттєво впливають на стан агроєкосистем. Внесення токсичних речовин призводить до значних екологічних ризиків та ризиків для здоров'я людей. Тому питання щодо нормативно – правового забезпечення використання пестицидів та охорони праці в Україні є актуальним.

Нині в Україні діють ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 [1], які визначають допустимі дози і концентрації пестицидів, кількості та рівні вмісту залишків діючої речовини пестицидів і агрохімікатів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, водоймах та ґрунті. Головним державним санітарним лікарем України погоджено «Перелік пестицидів та агрохімікатів...» та регламенти їх застосування, що підлягають державному санітарно-епідеміологічному нагляду, а також перелік методів аналітичного визначення пестицидів і агрохімікатів у харчових продуктах, повітрі робочої зони та об'єктах довкілля на 419 препаратів [1]. Ці санітарні правила та норми підготовлено на виконання Законів України [2, 3] з урахуванням наукових досягнень в галузі гігієни та токсикології пестицидів станом на 2000 рік.

Низка нормативів, розроблених та затверджених набагато раніше, ще за часів СРСР, не мають офіційно затверджених методик визначення фактичної концентрації у повітрі робочої зони й потребують їх розроблення. То ж у разі необхідності контролю зазначених нормативів рекомендують використовувати офіційні методи аналізу "Міжнародної Асоціації офіційних хіміків-аналітиків" ("Official Methods of Analysis of AOAC International").

Чинні вимоги щодо гігієнічного нормування

допустимих доз, концентрації, кількості та рівнів вмісту залишків діючої речовини пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, та ін. потребують перегляду, враховуючи отримання нових даних про токсикологічні властивості препаратів та необхідності гармонізації з вимогами Європейського співтовариства.

Основним нормативним документом, який регламентує вимоги до транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві є Державні санітарні правила ДСП 8.8.1.2.001-98 [17]. Порухення цих правил тягне за собою цивільно-правову, дисциплінарну, адміністративну або кримінальну відповідальність згідно з чинним законодавством.

В Україні застосовують пестициди здебільшого імпорتنі, значну кількість з них виробляють у країнах ЄС, США та Китаї. Водночас європейські стандарти на фільтрувальні засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) характеризуються суттєвими відмінностями від чинних в Україні. Так, наприклад, Європейська класифікація протиаерозольних фільтрувальних ЗІЗОД має зворотне позначання ефективності - найвищий забезпечуваний клас захисту позначають як Р3, а найнижчий - Р1. Різниця значень коефіцієнта захисту, зазначених у застарілих стандартах і сучасних (гармонізованих зі стандартами ЄС), обумовлена тим, що методика випробувань ЗІЗОД згідно з євростандартами відрізняється від чинних в Україні нормативних документів.

Методика вибирання типу ЗІЗОД передбачає ідентифікацію шкідливої речовини, а також визначення її концентрації в повітрі робочої зони за допомогою санітарно-гігієнічних досліджень. Залежно від хімічного складу газоподібних речовин потрібно обирати тип протигазового або комбінованого фільтра.

У питаннях вибирання протигазових патронів до універсальних або протигазових респіраторів типу РУ-60М або РПГ-67 виникають ще більші проблеми, оскільки для захисту від ртутьорганічних препаратів рекомендують використовувати патрони марки "РГ", від хлор- і фосфорорганічних пестицидів – марки А і В, кислих парів і газів – марки В, аміаку і сірководню – марки КД [18, 19].

Згідно з європейською класифікацією типи фільтрувальних коробок за призначенням і маркуванням у більшості випадків відрізняються від типів, маркування та призначення протигазових та комбінованих фільтрів, які виготовляють за ГОСТ 12.4.122-83 [18].

Наприклад, тип В фільтрувальної коробки (сірий колір) за європейською класифікацією призначений для неорганічних газів (хлор фтор, бром, сірководень, сірковуглець, хлорціан, галогени), окрім СО. А для йоду радіоактивного, метилйодиду радіоактивного і радіоактивних часток, а також органічних сполук ртуті, парів ртуті й аерозолей (пил, дим, туман) потрібно використовувати триколірну (жовтогарячу, червону, білу) коробку типу Реактор Нg-Р3, що ускладнює використання ЗІЗОД і може призвести до помилок вибирання засобів.

Нормативний документ [20] для підбирання відповідного класу ефективності ЗІЗОД вимагає спочатку обчислення необхідного коефіцієнта захисту. Процедура передбачає ідентифікацію шкідливої речовини, що перебуває в повітрі робочої зони, і визначення її середньозмісної концентрації.

Зазначимо, що за виробничих умов виконати цю процедуру складно, оскільки вона потребує використання спеціального лабораторного обладнання. Тому, на нашу думку, посадова особа, яка відповідає за обприскування у агропромисловому підприємстві, повинна мати достатньо інформації про властивості застосовуваного пестициду, враховувати особливості технологічного процесу та технічне його забезпечення (стан тракторів, особливості обприскувачів, їх режими роботи тощо), кліматичні умови (температура повітря, вологість, швидкість та напрям вітру) та відповідно вибирати ЗІЗОД. Важливо, щоб повна інформація про особливості безпеки застосування всіх видів пестицидів була доступною для виробників або її можна було знайти у супровідній документації на певний отрутохімікат. Державне випробування, реєстрація та перереєстрація, видавання переліків пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні, здійснюють згідно з [21]. Пестициди і агрохімікати, які пройшли відповідні процедури, підлягають Державній реєстрації у «Державному реєстрі пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні» [22, 23].

Основними документами, які містять інформацію про пестициди та агрохімікати, що зареєстровані і можуть застосовуватися в Україні, є «Державний реєстр...», «Посвідчення про державну реєстрацію» та «Етикетка». Лише ця інформація є доступною для виробників сільськогосподарської продукції під час застосування пестицидів. У цих документах вказано обмежену інформацію щодо найменування та вмісту діючої речовини, виробника препарату, сфери застосування (перелік сільськогосподарських культур), норми витрати препарату, класу небезпечності пестицидів та іншу інформацію, яка не дозволяє виробникам сільськогосподарської продукції в повній мірі безпечно їх застосовувати.

Враховуючи сучасні вимоги до гігієнічного нормування та отримання нових даних щодо токсикологічних властивостей пестицидів, та необхідність гармонізації вітчизняної нормативної бази з вимогами Європейського співтовариства, частина чинних нормативів потребує перегляду.

Міжнародні стандарти відображають позитивний досвід промисловості, дослідників, споживачів та аудиторів у всьому світі і відповідають загальним потребам у багатьох країнах. Вони є одним із дієвих засобів усунення технічних бар'єрів у Світовій організації торгівлі (WTO/TBT).

В Європейському співтоваристві зростають вимоги щодо гігієнічного нормування використання пестицидів. Так у 2015 році ухвалено новий Регламент Комісії (ЄС) 2015/830 від 28 травня 2015 року про внесення змін до Регламенту (ЄС) № 1907/2006 Європейського Парламенту та Ради щодо реєстрації, оцінювання, авторизації та обмеження

хімічних речовин (REACH) [24].

Європейська Комісія, врахувавши Договір про функціонування Європейського Союзу, Регламент (ЄС) № 1907/2006 Європейського Парламенту та Ради від 18 грудня 2006 року щодо реєстрації, оцінювання, дозволу та обмеження хімічних речовин (REACH), створила європейське Агентство з хімічних речовин, що вносить зміни до Директиви 1999/45/ЄС та скасовує Регламент Ради (ЄЕС) № 793/93 та Регламент Комісії (ЄС) № 1488/94, а також Директиву Ради 76/769 / ЄЕС та Директиви Комісії 91/155 / ЄЕС, 93/67 / ЄЕС, 93/105 / ЄС та 2000/21 / ЄС.

Додаток II до Регламенту (ЄС) № 1907/2006 встановлює вимоги до надання інформації про безпеку, то ж його використовують для надання інформації про хімічні речовини та суміші в Європейському Союзі. Глобально гармонізована система класифікації та маркування хімічних речовин (GHS), яку розроблено у США, встановлює міжнародні гармонізовані критерії класифікації та маркування хімічних речовин та правила щодо даних про безпеку.

У документі «Додаток II Вимоги до складання паспорта безпеки» викладено вимоги, які постачальник повинен забезпечити для складання інформаційного паспорта безпеки, що передбачено для речовини або суміші відповідно до статті 31.0.1.2. Інформація, яку зазначено у паспорті безпеки, повинна відповідати інформації, викладеній у звіті про безпеку хімічної речовини. Цей регламент суттєво підвищує вимоги до питань безпеки застосування пестицидів.

Вимоги щодо паспорта передбачають надання вичерпної інформації щодо препарату і передбачають наступні розділи: 1) Ідентифікація речовини/суміші та компанії/підприємства. 2) Ідентифікація небезпек. 3) Інформація про склад та інгредієнти. 4) Заходи першої домедичної допомоги. 5) Протипожежні заходи. 6) Заходи у разі аварійного викидання речовини. 7) Поводження та зберігання. 8) Контроль впливу (особистий захист). 9) Фізичні та хімічні властивості. 10) Стабільність та реакційна здатність. 11) Токсикологічна інформація. 12) Екологічна інформація. 13) Утилізація. 14) Інформація про транспортування. 15) Нормативна інформація. 16) Інша інформація.

Вітчизняними нормативними документами встановлено, що у разі уведення до Державного реєстру препаратів, до паспорта препарату записують реєстраційний номер, дату видавання, серію, найменування та вміст діючої речовини, торгову назву препарату та позначення його препаративної форми, класифікацію препарату, найменування заявника та його адресу, найменування виробника препарату, сферу застосування (перелік сільськогосподарських культур), норми витрати препарату, термін реєстрації препарату, дату скасування (призупинення) державної реєстрації препарату. Як бачимо, вимоги Регламенту Комісії (ЄС) 2015/830 значно інформативніші від чинних в Україні. У Державному реєстрі препаратів розміщено понад 5 тис. видів препаратів, які виробляють понад 200 фірм різних країн світу та України. Серед них

лише фірми країн ЄС і США на своїх офіційних сайтах представляють паспорти безпеки препаратів.

Для прикладу, проаналізуємо рекомендовані засоби захисту згідно з ДСП 8.8.1.2.001-98 та згідно з паспортом безпеки фунгіциду Аканто® Плюс виробництва Дюпон Інтернешнл Оперейшнз СН-1218 Le Grand-Saconnex / GE Швейцарія, які згідно з Регламентом (ЄС) № 1907/2006 зі змінами подано у табл. 1.

Цей фунгіцид згідно із сертифікатом та державною реєстрацією належить до II класу небезпечності за критеріями впливу через шкіру, подразнення шкіри та слизових оболонок у відповідності з ДСанПін 8.8.1.002-98.

З таблиці 1 наочно видно, що чинний український стандарт не надає інформації про безпеку використання засобів індивідуального захисту під час застосування пестицидів.

Так, для захисту очей ДСП 8.8.1.2.001-98 рекомендують використовувати герметичні окуляри типу "Г" (ТУ 381051-78) або герметичні захисні окуляри типу ПО-2. Водночас паспорт безпеки, підготовлений згідно з Регламентом (ЄС) № 1907/2006, рекомендує до використання захисні окуляри з боковими щитками, що відповідають стандарту EN166. Такі окуляри захищають від механічного впливу та краплин рідини (аерозолі), але й у них лінзи звожуються, що характерно для герметичних окулярів типу "Г" (ТУ 381051-78), і це ускладнює роботу працівника.

Для захисту рук ДСП 8.8.1.2.001-98 рекомендує використовувати гумові рукавички з трикотажною основою, не уточнюючи інших вимог. Натомість заходи захисту рук згідно з паспортом безпеки передбачають використання рукавиць із нітрилового каучуку товщиною матеріалу 0,4-0,7 мм. Довжина рукавичок з краями має становити 35 см або більше. Термін зношування більше 480 хв, тобто їх міцність має забезпечити роботу не менше однієї зміни.

Для засобів захисту тіла і дихальних шляхів працівника інформація, яку рекомендують надавати споживачу ДСП 8.8.1.2.001-98, також є неповною щодо безпеки працівників. Водночас паспорт безпеки дає різні рекомендації щодо засобів захисту залежно від видів робіт. Так оператори змішувачів та завантажувачів повинні надягати повний комплект захисного спецодягу. Під час відкритого обприскування тракторним обприскувачем, застосовують звичайні засоби захисту. У разі, якщо використовують для обприскування трактор без кабіни, потрібно застосовувати повний комплект захисного спецодягу. Під час використання ранцевого обприскувача необхідно використовувати повний комплект захисного спецодягу типу 4. З економічної точки зору потрібно використовувати бавовняну білизну за умови, що верхній одяг виготовлено зі спеціалізованих матеріалів.

Для захисту дихальних шляхів ДСП 8.8.1.2.001-98 рекомендують використовувати фільтрувальні протигази. Водночас паспорт безпеки рекомендує під час робіт з механізованого обприскування, а також під час змішування і завантажування, щоб оператори одягали напівмаску з паровим фільтром А1 (EN 141).

Таблиця 1. Порівняльна характеристика рекомендованих засобів захисту працівників під час використання пестицидів II класу небезпеки згідно з ДСП 8.8.1.2.001-98 та згідно з паспортом безпеки фунгіцида Аканто® Плюс виробництва Дюпон Інтернешнл згідно з Регламентом (ЄС) № 1907/2006 зі змінами.

Table 1. Comparative characteristics of the recommended workers protective equipment when using pesticides of II hazard class according to DSP 8.8.1.2.001-98 and safety data sheet of the Acanto® Plus fungicide manufactured by DuPont International according to Regulation (EC) № 1907/2006 as amended.

Заходи захисту згідно з ДСП 8.8.1.2.001-98	Заходи захисту, які наведено у паспорті безпеки згідно з Регламентом (ЄС) № 1907/2006 зі змінами
Захист очей: Герметичні окуляри типу "Г" (ТУ 381051-78) або герметичні захисні окуляри типу ПО-2	Захист очей: Захисні окуляри з боковими щитками, що відповідають стандарту EN166
Захист рук: Гумові рукавички з трикотажною основою	Захист рук: Матеріал: Нітриловий каучук. Товщина матеріалу рукавичок: 0,4-0,7 мм. Характеристика рукавичок: Рукавиці з крагами довжиною 35 см або більше Термін зношування: більше 480 хв. Вибрані захисні рукавички мають відповідати технічним умовам Директиви ЄС 89/686/ЄЕС та стандарту EN 374, який з неї походить. Дотримуйтеся інструкцій щодо проникних властивостей та значень швидкості пошкодження (розривання), які надає постачальник рукавичок. Також беріть до уваги специфічні місцеві умови, за яких використовують продукт, такі як небезпека пошкодження, стирання та тривалість контакту. Придатність для певного робочого місця потрібно узгодити з виробником захисних рукавичок. Рукавички необхідно перевірити перед використанням. Викиньте та замініть рукавички, якщо є найменші ознаки пошкодження внаслідок дії хімічних речовин. Рукавиці з крагами довжиною 35 см або більше необхідно надягати поверх комбінованого рукава. Перед зняттям рукавичок змити їх водою з милом
Захист тіла: Спецодяг із маркуванням захисних засобів згідно з ГОСТ 12.4.103-83 Фартухи та наруківники, виготовлені з водонепроникних тканин та матеріалів, які мають відповідне маркування згідно з ГОСТ 12.4.103-83. Гумові чоботи з підвищеною тривкістю до дії пестицидів і дезінфікувальних засобів	Захист тіла: Оператори змішувачів та завантажувачів повинні одягати: Повний комплект захисного спецодягу, тип 6 (EN 13034). Гумовий фартух. Нітрилові гумові чоботи (EN 13832-3 / EN ISO 20345). У разі використання трактора з обприскувачем на полі: За безконтактного використання працівники мають застосовувати звичайні засоби захисту. У разі використання трактора без кабіни з обприскувачем: Повний комплект захисного спецодягу, тип 4 (EN 14605). Нітрil гумові чоботи (EN 13832-3 / EN ISO 20345) (EN 13832-3 / EN ISO 20345). Щоб досягти ергономічного ефекту, потрібно використовувати білизну з бавовни, за умови, що верхній одяг виготовлено зі спеціалізованих матеріалів. Тканина має бути тривкою до водяної пари і забезпечувати максимальний комфорт під час використання. Матеріали повинні забезпечувати цілісність, високий рівень захисту та не пропускати всередину костюму будь-яких сторонніх речовин. Тканину для спецодягу незалежно від матеріалу, з якого її виготовлено, рекомендовано протестувати на витривалість, щоб забезпечити належний рівень захисту від специфічних чинників впливу
Захист дихальних шляхів: Фільтрувальні протигази	Захист дихальних шляхів: Оператори змішувачів та завантажувачів повинні одягати: Напівмаска з протиаерозольним фільтром FFP2 (EN149). У разі використання трактора з обприскувачем на полі: Як правило індивідуальне респіраторне захисне обладнання не потрібне. У разі використання трактора без кабіни з обприскувачем: Напівмаска з повітряним фільтром P2 (EN 143)

Під час відкритого обприскування потрібно використовувати напівмаску з повітряним фільтром P1 (EN 143) та протиаерозольним фільтром FFP2 (EN149).

Під час обприскування машинно-тракторним агрегатом (трактор з закритою кабіною плюс обприскувач) чи самохідним обприскувачем із закритою кабіною, як правило, індивідуальне респіраторне захисне обладнання не потрібне. Під час відкритого обприскування трактором без кабіни з обприскувачем необхідно використовувати напівмаску з повітряним фільтром Р2 (EN 143), аналогічно для умов ранцевого обприскування.

Зазначимо, що ергономічні умови роботи з використанням напівмаски з повітряним фільтром Р2 (EN 143) є кращими, ніж під час використання фільтрувальних протигаїв, які обмежують оглядовість, окуляри покриваються вологою, їх практично неможливо використовувати у теплу пору року навіть впродовж 4 годин скороченої тривалості зміни.

Отже, використання рекомендацій ДСП 8.8.1.2.001-98 для забезпечення працівників однотипними видами захисту для різних операцій є неконкретним і зумовлює похибки під час вибирання засобів індивідуального захисту, що призводить до небезпечних умов роботи. Для деяких видів робіт це зависокі вимоги, яких важко дотримати за реальних умов виконання польових робіт. Тому в Україні назріла потреба перегляду чинних нормативних документів щодо вимог безпеки транспортування, зберігання та застосування пестицидів та узгодження їх із стандартами Європейського Союзу.

Висновки

1. В Україні діють нормативні документи, які регламентують вимоги до транспортування, зберігання та застосування пестицидів на виробництві. У них, серед інших відомостей, наведено науково обґрунтовані регламенти щодо засобів індивідуального захисту працівників, які були актуальні в галузі гігієни та токсикології пестицидів станом на 2000 рік.

2. Застосування засобів індивідуального захисту передбачає контроль правильності їх використання під час виконання робіт із обприскування. Обґрунтуванню підлягає їх вибір залежно від агрегатного стану пестициду та його препаратної форми під час внесення, а саме аерозоль, пароподібна речовина або газ. Також потрібно врахувати концентрацію та дисперсність пестициду, температуру й вологість повітря.

3. На сьогодні в Україні діють ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001, які визначають допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту залишків діючої речовини пестицидів та агрохімікатів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті, які розроблені з урахуванням наукових досягнень у галузі гігієни та токсикології пестицидів станом на 2000 рік.

4. Міжнародні стандарти відображають кращий досвід промисловості, дослідників, споживачів та аудиторів у всьому світі і відповідають загальним потребам у багатьох країнах, вони є одним із дієвих

засобів усунення технічних бар'єрів у Світовій організації торгівлі (WTO/TBT). В Європейському співтоваристві зростають вимоги щодо гігієнічного нормування використання пестицидів.

5. Проаналізовано рекомендовані засоби захисту згідно з ДСП 8.8.1.2.001-98 та з паспортом безпеки фунгіциду Аканто® Плюс виробництва Дюпон Інтернешнл Оперейшнз СН-1218 Le Grand-Saconnex / GE Швейцарія, розробленого згідно з Регламентом (ЄС) № 1907/2006 зі змінами. Аналіз засобів безпеки показав, що використання рекомендацій ДСП 8.8.1.2.001-98 для забезпечення працівників однотипними видами захисту для різних операцій є неконкретним і спричиняють похибки під час вибирання засобів індивідуального захисту, що може негативно вплинути на безпечність умов роботи. Для деяких видів робіт це зависокі вимоги, яких важко дотримати за реальних умов виконання польових робіт. Тому в Україні назріла потреба перегляду чинних нормативних документів щодо вимог безпеки транспортування, зберігання та застосування пестицидів та узгодження їх із Європейськими стандартами.

Список літератури

1. ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001. Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті. Дата прийняття: 20.09.2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0137588-01> (дата звернення: 10.04.2020).

2. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення: Закон України від 24.02.94 р., № 4005-XII. Дата оновлення: 04.10.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12> (дата звернення: 10.04.2020).

3. Про пестициди і агрохімікати: Закон України від 02.03.95 р. № 87/95-ВР. Дата оновлення: 13.02.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/86/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 10.04.2020).

4. Войналович О. В., Лапін В. М., Литвин О. П. та ін. Охорона праці під час застосування пестицидів на підприємствах сільського господарства: монографія. Київ: Едельвейс, 2017. 167 с.

5. Тимочко В. О., Березовецький А. П., Федорчук-Мороз В. І., Вісин О. О. Нормування впливу пестицидів на безпеку життєдіяльності і довкілля. Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука практика: матеріали XVIII Міжнар. наук.-метод. конф. (Луцьк, 23-24 квіт. 2020 р.). Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2020. С. 89–92.

6. Тимочко В. О., Березовецький А. П., Городецький І. М. Аналіз чинної правової і нормативної документації щодо безпеки використання пестицидів і агрохімікатів. Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука практика: матеріали XVIII Міжнар. наук.-метод. конф. (Луцьк, 23-24 квіт. 2020 р.). Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2020. С. 92–95.

7. Ударцева О. В. Информационные обеспечение системы анализа и обработки информации процесса аэрозольного распыления пестицидов. *Stredoevropsky Vestnikro Vedula Vyzkum*. 2015. Т. 53. С. 148–151.
8. Мельников Н. Н. Современная ситуация с применением пестицидов. *Химическая промышленность*. 2014. № 2. С. 14–18.
9. Чміль В. Д. К проблеме соответствия отечественных методик выполнения измерений в области контроля остатков действующих веществ средств защиты растений в сельскохозяйственном и продовольственном сырье, пищевых продуктах и объектах окружающей среды международным требованиям. *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*. 2014. №3/4(66/67). С. 23–31.
10. Ferrari F., Trevisan M., Capri E. Predicting and Measuring Environmental Concentration of Pesticides in Air after Soil Application. *J. Environ. Qual.* 2003. Vol. 32. P. 1623–1633.
11. Никитин Н. В., Спиридонов Ю. Я., Соколов М. С. Использование современных опрыскивателей в адаптивной защите растений. *Агрохимия*. 2008. № 11. С. 51–59.
12. Проданчук М. Г., Лепюшкин І. В., Кравчук О. П. Регламентация польових токсиколого-біологічних випробувань пестицидів на прикладі країн Європейського союзу. *Виклики для України*. (огляд нормативно-правових та науково-методичних документів). *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*. 2018. № 1/2(64/65). С. 10–26.
13. Спиридонов Ю. Я., Никитин Н. В., Раскин М. С. Новому поколению пестицидов новую технологию применения. *Агро XXI*. 2008. № 3. С. 6–8.
14. Лепехин Н. С., Велецкий И. Н., Калабина К. С. Осаждение распыленной жидкости за пределами ширины захвата при наземном опрыскивании. *Бюллетень ВИЗР*. 2008. № 44. С. 96–104.
15. Городецький І., Березовецький А., Городецька Н. Використання методик аналізу небезпек процесів для удосконалення управління охороною праці. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. Львів. 2014. №18. С. 5–8.
16. Ковалишин С. Й., Городецький І. М., Тимочко В. О. Методи управління безпекою у проєктах аграрного виробництва. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. форуму (Львів, 19-21 вересня 2018 року)*. Львів. 2018. С. 148–151.
17. ДСП 8.8.1.2.001-98 Транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві. Наказ Міністерства охорони здоров'я України 03.08.1998 № 1. [Чинний від 03.08.1998 р.]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0001282-98#Text>. (дата звернення: 4.05.2020).
18. ГОСТ 12.4.122-83. Система стандартов безопасности труда. Коробки фильтрующе-поглощающие для промышленных противогазов. Технические условия. [Дата введения 01.01.1984]. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
19. ДСТУ 7239:2011. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. [Чинний від 02.02.2011]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України. 2011. 10 с.
20. НІАОП 0.00-1.04-07 Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання. [Чинний від 28.12.2007 р.]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-08>. (дата звернення: 4.05.2020).
21. Порядок проведення державних випробувань, державної реєстрації та перереєстрації, видання переліків пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні: Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 1996 р. № 295. [Редакція від 23.10.2019]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/295-96-%D0%BF>. (дата звернення: 4.05.2020).
22. Про затвердження зразків Посвідчення про державну реєстрацію, дозволу на використання залишків пестицидів і агрохімікатів, дозволу на виготовлення та застосування дослідних партій вітчизняних пестицидів і агрохімікатів і зразка етикетки: Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 490 від 08.11.2006. [Редакція від 20.10.2017]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1226-06>. (дата звернення: 10.04.2020).
23. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. [Редакція від 04 Травня 2020]. URL: <https://menr.gov.ua/content/derzhavniy-reestr-pesticidiv-i-agrohimikativ-dozvolenih-do-vikoristannya-v-ukraini-dopovnennya-z-01012017-zgidno-vimog-postanovi-kabinetu-ministriv-ukraini-vid-21112007--1328.html>. (дата звернення: 10.06.2020).
24. Commission Regulation (EU) 2015/830 of 28 May 2015 amending Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) (Text with EEA relevance) C/2015/3522. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/14674ee1-05cc-11e5-8817-01aa75ed71a1>. (дата звернення: 10.04.2020).

References

1. DSanPiN 8.8.1.2.3.4-000-2001. Permissible doses, concentrations, amounts and levels of pesticides in agricultural raw materials, food, air of the working area, atmospheric air, water of reservoirs, soil. Date of acceptance: 20.09.2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0137588-01> (data of application: 10.04.2020).
2. On ensuring the sanitary and epidemic well-being of the population: Law of Ukraine of 24.02.94, № 4005-XII. Update date: 04.10.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12> (data of application: 10.04.2020).
3. On pesticides and agrochemicals: Law of Ukraine of March 2, 1995 № 87/95-VR. Update date: 13.02.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/86/95-%D0%B2%D1%80> (data of application 10.04.2020).
4. Voynalovych O. V., Lapin V. M., Lytvyn O. P. (2017). Occupational health during the use of pesticides in agricultural enterprises: a monograph. Kyiv: Edelweiss.

167.

5. Tymochko V. O., Berezovetskyi A. P., Fedorchuk-Moroz V. I., Visin O. O. (2020). Standardization of the impact of pesticides on the safety of life and the environment. Safety of human life and activity - education, science practice: materials XVIII International. scientific method conf. (Lutsk, April 23-24, 2020). Lutsk: IVV Lutsk NTU. 89–92.

6. Tymochko V. O., Berezovetskyi A. P., Horodetskyi I. M. (2020). Analysis of current legal and regulatory documentation on the safety of pesticides and agrochemicals. Safety of human life and activity - education, science practice: materials XVIII International. scientific method conf. (Lutsk, April 23-24, 2020). Lutsk: IVV Lutsk NTU. 92–95.

7. Udartseva O. V. (2015). Information support of the system of analysis and information processing of the process of aerosol spraying of pesticides. *Stredoevropsky Vestnik po Vedua Vyzkum*. 53. 148–151.

8. Melnikov N. N. (2014). The current situation with the use of pesticides. *Chemical industry*. 2. 14–18.

9. Chmil V. D. (2014). To the problem of compliance of domestic methods of measurements in the field of control of residues of active substances of plant protection products in agricultural and food raw materials, food products and environmental facilities with international requirements. *Modern problems of toxicology, khachev and chemical safety*. 3/4(66/67). 23–31.

10. Ferrari F., Trevisan M., Capri E. (2003). Predicting and Measuring Environmental Concentration of Pesticides in Air after Soil Application. *J. Environ. Qual.* 32. 1623–1633.

11. Nikitin N. V., Spiridonov Yu. Ya., Sokolov M. S. (2008). The use of modern sprayers in adaptive plant protection. *Agrochemistry*. 11. 51–59.

12. Prodanchuk M. G., Lepyoshkin I. V., Kravchuk O. P. (2018). Regulation of field toxicological and biological tests of pesticides on the example of the European Union. Challenges for Ukraine. (review of normative-legal and scientific-methodical documents). *Modern problems of toxicology, food and chemical safety*. 1/2(64/65). 10–26.

13. Spiridonov Yu. Ya., Nikitin N. V., Raskin M. S. (2008). A new generation of pesticides, a new application technology. *Agro XXI*. 3. 6–8.

14. Lepekhin N. S., Veletskiy I. N., Kalabina K. S. (2008). Spray settling outside the working width for ground spraying. *L. Bull. VIZR*. 44. 96–104.

15. Gorodetsky I., Berezovetsky A., Gorodetska N. (2014). Use of process hazard analysis techniques to improve occupational safety management. *Bulletin of Lviv National Agrarian University: agro-engineering research*. 18. 5–8.

16. Kovalyshyn S. Y., Gorodetskyi I. M., Tymochko V. O. (2018). Methods of safety management in projects of agricultural production. Theory and practice of development of agro-industrial complex and rural areas: materials of the XIX International. scientific-practical forum (Lviv, September 19-21, 2018). Lviv: Lviv National Agrarian University. 148–151.

17. DSP 8.8.1.2.001-98 Transportation, storage and use of pesticides in the national economy. Order of the Ministry of Health of Ukraine 03.08.1998 № 1. [Effective

from

03.08.1998]

URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0001282-98#Text>. (data of application: 4.05.2020).

18. GOST 12.4.122-83. Occupational safety standards system. Filtering and absorbing boxes for industrial gas masks. Technical conditions. [Date of introduction 01.01.1984]. Moscow: IPK Standards Publishing House, 2003.

19. DSTU 7239: 2011. System of occupational health standards. Personal protective equipment. General requirements and classification. [Effective from 02.02.2011]. The publication is official. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Of Ukraine. 2011. 10 p.

20. NPAOP 0.00-1.04-07 Rules for selection and use of personal respiratory protection. [Effective from 28.12.2007]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-08>. (data of application: 4.05.2020).

21. Procedure for conducting state tests, state registration and re-registration, publication of lists of pesticides and agrochemicals permitted for use in Ukraine: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of March 4, 1996 № 295. [Edition of 23.10.2019]. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/295-96-%D0%BF>. (data of application: 4.05.2020).

22. On approval of samples Certificate of state registration, permission to use pesticide and agrochemical residues, permission to manufacture and use experimental batches of domestic pesticides and agrochemicals and sample label: Order of the Ministry of Environmental Protection of Ukraine № 490 of 08.11.2006. [Edition of 20.10.2017]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1226-06>. (data of application: 10.04.2020).

23. State Register of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in Ukraine. [Edition of 04.05.2020]. URL: <https://menr.gov.ua/content/derzhavniy-reestr-pesticidiv-i-agrohimikativ-dozvolenih-do-vikoristannya-v-ukraini-dopovnennyya-z-01012017-zgidno-vimog-postanovi-kabinetu-ministriv-ukraini-vid-21112007-1328.html>. (data of application: 10.06.2020).

24. Commission Regulation (EU) 2015/830 of 28 May 2015 amending Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) (Text with EEA relevance) C/2015/3522. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/14674ee1-05cc-11e5-8817-01aa75ed71a1>. (data of application: 10.04.2020).

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ОПРЫСКИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В. О. Тымочко, И. Н. Городецкий, А. П. Березовецкий, А. В. Войналович, Е. А. Висын

Аннотация. Сегодня существует тенденция интенсивного роста объемов химической защиты растений пестицидами, которые являются потенциально опасными для окружающей среды и человека. Поэтому растут риски отравлений,

профессиональных заболеваний, связанных с использованием пестицидов в сельскохозяйственном производстве.

В Украине принято ряд законодательных и нормативно-правовых документов, которые регламентируют правовые отношения, связанные с применением пестицидов в сельскохозяйственном производстве. Государственные санитарные правила 8.8.1.2.001-98 являются основным нормативным документом, регламентирующим требования к транспортировке, хранению и применению пестицидов на производстве.

Нормативы разработаны и утверждены более четверти века назад, устарели и не учитывают особенностей новых технологий. Поэтому, учитывая современные требования к гигиеническому нормированию и получению новых данных о токсикологических свойствах пестицидов, возрастает необходимость гармонизации отечественной нормативной базы с требованиями Европейского сообщества. Часть действующих нормативов требует пересмотра и осовременивания.

Рекомендации по использованию средств индивидуальной защиты работников для операции опрыскивания были проанализированы согласно ДСП 8.8.1.2.001-98 и паспорта безопасности фунгицида Аканто® Плюс производства Дюпон Интернешнл Оперейшнз СН-1218 Le Grand-Saconnex / GE Швейцария, разработанного в соответствии с Регламентом (ЕС) №1907/2006 с изменениями.

Анализ средств безопасности, а именно защиты глаз и органов дыхания показал, что использование рекомендаций ДСП 8.8.1.2.001-98 для работников операций химической защиты опрыскиванием противоречивы, что может создать опасные условия работы. Для некоторых видов работ это высокие требования, которые трудно соблюсти в реальных условиях полевых работ. Поэтому, в Украине назрела необходимость пересмотра действующих нормативных документов относительно требований безопасности транспортировки, хранения и применения пестицидов и согласование их с Европейскими стандартами

Ключевые слова: безопасность труда, нормативная база, пестициды, опрыскивание, средства индивидуальной защиты.

the main normative document that regulates the requirements for transportation, storage and use of pesticides in production.

Standards have been developed and approved for more than a quarter of a century, are outdated and do not take into account the peculiarities of new technologies. Therefore, taking into account the current requirements for hygienic regulation and obtaining new data on the toxicological properties of pesticides, there is a growing need to harmonize the domestic regulations with the requirements of the European Community. Some of the current regulations need to be revised and modernized.

Recommendations for the use of personal protective equipment for spraying operations were analyzed in accordance with DSP 8.8.1.2.001-98 and the safety data sheet of the fungicide of Akanto® Plus manufactured by DuPont International Operations CH-1218 Le Grand-Saconnex/GE Switzerland, developed in accordance with Regulation (EU) №1907/2006 with changes.

The analysis of safety equipment, namely eye and respiratory protection, showed that the use of the recommendations of DSP 8.8.1.2.001-98 for employees of chemical protection operations by spraying is contradictory, which can create dangerous working conditions. For some types of work, these are too high requirements that are difficult to meet in real field work conditions. Therefore, in Ukraine, the need to revise existing regulations and harmonize them with European standards has arisen regarding the safety requirements for transportation, storage and use of pesticides.

Key words: work safety, safety regulations, pesticides, spraying, personal protective equipment.

В. О. Тимочко ORCID 0000-0003-0642-1570.

І. М. Городецький ORCID 0000-0002-6055-9549.

А. П. Березовецький ORCID 0000-0001-6454-3520.

О. В. Войналович ORCID 0000-0002-9321-2672.

О. О. Вісин ORCID 0000-0003-2361-6708.

ANALYSIS OF SAFETY REGULATIONS FOR MECHANIZED SPRAYING OF AGRICULTURAL CROPS

V. O. Tymochko, I. M. Horodetsky,

A. P. Berezovetskyi, O. V. Voynalovich, O. O. Visyn

Abstract. Today there is a tendency of intensive growth of chemical plant protection with pesticides, which are potentially dangerous for the environment and humans. Accordingly, the risks of poisoning and occupational diseases associated with the use of pesticides in agricultural production are increasing.

In Ukraine, a number of legislative and safety regulations have been adopted that regulate the legal relations related to the use of pesticides in agricultural production. State sanitary rules of DSP 8.8.1.2.001-98 are

УДК 631.312

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТИНКИ ПО ОБЕРТОВОМУ СФЕРИЧНОМУ СЕГМЕНТУ

Т. М. Воліна, С. Ф. Пилипака

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття зі спеціальності: 131 – прикладна механіка.

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

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.

Бібл. 7, рис. 9, табл. 0.

Анотація. У статті розглянуто відносний рух частинки по сферичному сегменту, який обертається навколо вертикальної осі. Складено диференціальні рівняння відносного переміщення частинки, які розв'язано чисельними методами. Побудовано відносну та абсолютну траєкторії руху частинки та графіки зміни відносної і абсолютної швидкостей. З'ясовано закономірність руху частинки при її підйомі по поверхні.

Ключові слова: сферичний сегмент, кутова швидкість обертання, відносний рух, частинка, диференціальні рівняння, кінематичні параметри.

Постановка проблеми

Теорія руху частинок по поверхнях, які обертаються навколо вертикальної осі, використовується для проектування пристроїв відцентрової дії. Зокрема, це стосується пристроїв для розсіювання мінеральних добрив, вилучення соку із подрібнених овочів та фруктів, очищення повітря від частинок пилу в циклонах. Частинка здійснює складний рух, який є сумою двох рухів: переносного руху поверхні і відносного руху частинки по поверхні, тобто її ковзання. Досить повно досліджено рух частинок по горизонтальній площині та по поверхні конуса, які обертаються навколо вертикальної осі. Рух частинок по інших поверхнях, що обертаються, має свої особливості.

Аналіз останніх досліджень

Окрім фундаментальної монографії [1], в якій розглянуто прямолінійні зворотно-поступальні коливання, існують праці, присвячені криволінійним коливанням площини. Взагалі задача руху матеріальної частинки по площині, яка здійснює коловий коливальний рух, вперше була розв'язана М.С. Жуковським в геометричній інтерпретації [2], узагальнена і поширена на випадки еліптичних коливань І.І. Блехманом [3]. П.М. Василенко диференціальні рівняння руху частинки складав у проєкціях на осі рухомої системи координат, жорстко прив'язаної до площини, що коливається, а І.І. Блехман – у проєкціях на осі нерухо-

мої системи координат. П.М. Заїка розглядав переміщення частинок по робочих площинах вібраційних зерноочисних машин [4]. Відносно останніх робіт, дослідження руху матеріальної частинки по шорсткій горизонтальній площині, яка здійснює горизонтальні поступальні коливання по різних кривих, розглянуто в праці [5], а у праці [6] вивчено рух частинок по похилій площині, всі точки якої описують еліпси.

Мета досліджень

Дослідити закономірності руху матеріальної частинки по сферичному сегменту, який зі сталою кутовою швидкістю обертається навколо вертикальної осі.

Результати досліджень

Параметричні рівняння сфери з початком координат в її нижньому полюсі мають вигляд:

$$\begin{aligned} X &= R \sin \varepsilon \cos \alpha; \\ Y &= R \sin \varepsilon \sin \alpha; \\ Z &= R(1 - \cos \varepsilon), \end{aligned} \quad (1)$$

де R – радіус сфери;

ε , α – незалежні змінні сфери, якими є кути, що задають положення точки на поверхні сфери в напрямі меридіана і паралелі відповідно.

Кут α змінюється в межах $\alpha=0 \dots 2\pi$, кут ε – в межах $\varepsilon=0 \dots \varepsilon_0$, де від значення кута ε_0 залежить висота сферичного сегмента. Наприклад, при $\varepsilon_0=\pi/2$ сегмент буде дорівнювати половині сфери.

Обертання сегмента будемо розглядати відносно двох систем координат: нерухомої $OXYZ$ і рухомої $Oxyz$, яка буде обертатися разом із сегментом. Якщо сферичний сегмент (1) буде обертатися навколо вертикальної осі з кутовою швидкістю ω , за час t поверхня повернеться на кут $\theta=\omega t$. Застосуємо формули повороту однієї системи координат відносно іншої:

$$\begin{aligned} X &= R \sin \varepsilon \cos \alpha \cos \theta - R \sin \varepsilon \sin \alpha \sin \theta; \\ Y &= R \sin \varepsilon \cos \alpha \sin \theta + R \sin \varepsilon \sin \alpha \cos \theta; \\ Z &= R(1 - \cos \varepsilon). \end{aligned} \quad (2)$$

Після спрощень із урахуванням $\theta=\omega t$ рівняння (2) набувають вигляду:

$$\begin{aligned} X &= R \sin \varepsilon \cos(\alpha + \omega t); \\ Y &= R \sin \varepsilon \sin(\alpha + \omega t); \\ Z &= R(1 - \cos \varepsilon). \end{aligned} \quad (3)$$

Нехай в початковий момент при $t=0$ дві системи координат збігаються, сферичний сегмент (або диск) не обертається і частинка знаходиться на меридіані в площині OYZ (рис. 1).

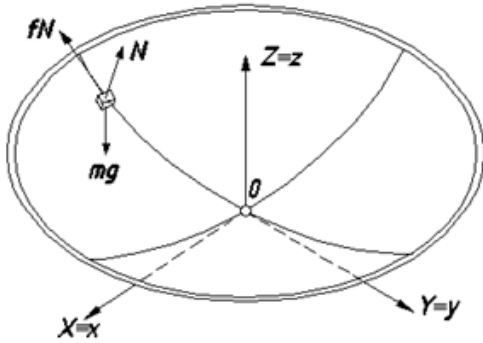


Рис. 1. Розташування частинки на нерухомому сферичному сегменті та схема прикладених до неї сил у разі, коли нерухома і рухома системи координат збігаються.

Fig. 1. The location of the particle on the stationary spherical segment and the scheme of forces applied to it, when the fixed and moving coordinate systems coincide.

До неї прикладені наступні сили: сила ваги mg (m – маса частинки, $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння), реакція поверхні N , та сила тертя fN (f – коефіцієнт тертя), яка не дозволяє частинці рухатися вниз вздовж меридіана в напрямку початку координат. При обертанні диска зі сталою кутовою швидкістю ω за час t він повернеться на кут $\theta=\omega t$ (рис. 2).

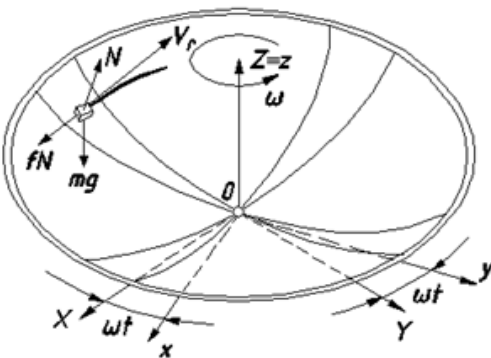


Рис. 2. Розташування частинки, що ковзає по поверхні обертового сферичного сегмента, та схема прикладених до неї сил.

Fig. 2. The location of the sliding particle on the rotary spherical segment and the scheme of applied forces.

Якби частинка не ковзала по диску, то вона повернулася б разом із диском на кут θ і зайняла б положення на тому ж самому меридіані після його повороту. У результаті ковзання частинка займе проміжне положення. Ковзання частинки відбувається в протилежну сторону обертання диска. Напрямок відносної швидкості V_r спрямований по дотичній до траєкторії ковзання частинки (рис. 2).

Рівняння руху частинки будемо складати у вигляді: $m\bar{w} = \bar{F}$, де $\bar{w}$ – вектор прискорення, $\bar{F}$ – результуючий вектор прикладених до частинки сил. Усі вектори будемо визначати в проекціях на осі нерухомої системи координат. Траєкторія відносного руху частинки по відношенню до рухомої системи координат $Oxyz$ опишеться залежністю між криволінійними координатами сфери ε і α . Така залежність може бути задана по-різному: $\varepsilon=\varepsilon(\alpha)$, $\alpha=\alpha(\varepsilon)$, або ж через спільну змінну t : $\varepsilon=\varepsilon(t)$, $\alpha=\alpha(t)$. Для нашого випадку роль спільної змінної буде відігравати роль часу t .

Таким чином, при прийнятому взаємозв'язку $\varepsilon=\varepsilon(t)$ і $\alpha=\alpha(t)$ рівняння (1) задають відносну траєкторію руху частинки, а рівняння (3) – абсолютну. Вказані залежності є невідомими і їх потрібно знайти. У подальшому нам потрібні будуть вектори як відносної, так і абсолютної швидкостей. Їх ми визначатимемо диференціюванням виразів (1) і (3) по часу t . Рівняння (1) і (3) в одному випадку є рівняннями поверхні, коли ε і α є незалежними змінними, а в іншому – лініями (розшукуваними траєкторіями частинки) на поверхні. Для поверхонь ми прийняли позначення рівнянь прописними літерами, а для ліній – строчними, причому для відносної траєкторії будемо використовувати індекс « r », а для абсолютної – « a ». Отже, диференціюванням рівнянь (1) знаходимо відносну швидкість руху (ковзання) частинки по поверхні сферичного диска:

$$\begin{aligned} x'_r &= R\varepsilon' \cos \varepsilon \cos \alpha - R\alpha' \sin \varepsilon \sin \alpha; \\ y'_r &= R\varepsilon' \cos \varepsilon \sin \alpha + R\alpha' \sin \varepsilon \cos \alpha; \\ z'_r &= R\varepsilon' \sin \varepsilon. \end{aligned} \quad (4)$$

Геометрична сума складових (4) дасть величину швидкості ковзання частинки по сферичному диску у відносному русі:

$$\begin{aligned} V_r &= \sqrt{x_r'^2 + y_r'^2 + z_r'^2} = \\ &= R\sqrt{\varepsilon'^2 + \alpha'^2 \sin^2 \varepsilon}. \end{aligned} \quad (5)$$

Одиничний вектор T дотичної до траєкторії відносного руху в проекціях на осі системи $OXYZ$ одержимо діленням проекцій (4) на величину вектора (5):

$$\begin{aligned} T_x &= \frac{\varepsilon' \cos \varepsilon \cos \alpha - \alpha' \sin \varepsilon \sin \alpha}{\sqrt{\varepsilon'^2 + \alpha'^2 \sin^2 \varepsilon}}; \\ T_y &= \frac{\varepsilon' \cos \varepsilon \sin \alpha + \alpha' \sin \varepsilon \cos \alpha}{\sqrt{\varepsilon'^2 + \alpha'^2 \sin^2 \varepsilon}}; \\ T_z &= \frac{\varepsilon' \sin \varepsilon}{\sqrt{\varepsilon'^2 + \alpha'^2 \sin^2 \varepsilon}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Знайдемо напрям дії реакції N поверхні (1). Вона спрямована по нормалі P до поверхні і визначається із векторного добутку двох векторів, дотичних до координатних ліній поверхні. Проекціями цих векторів є частинні похідні рівнянь (1):

$$\begin{aligned} \partial X / \partial \varepsilon &= R \cos \varepsilon \cos \alpha; \\ \partial Y / \partial \varepsilon &= R \cos \varepsilon \sin \alpha; \\ \partial Z / \partial \varepsilon &= R \sin \varepsilon; \\ \partial X / \partial \alpha &= -R \sin \varepsilon \sin \alpha; \\ \partial Y / \partial \alpha &= R \sin \varepsilon \cos \alpha; \\ \partial Z / \partial \alpha &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Після векторного множення векторів (7) і приведення отриманого вектора до одиничного проєкції вектора нормалі P до поверхні запишуться:

$$\begin{aligned} P_x &= -\sin \varepsilon \cos \alpha; \\ P_y &= -\sin \varepsilon \sin \alpha; \\ P_z &= \cos \varepsilon. \end{aligned} \quad (8)$$

Диференціюванням рівнянь (3) знаходимо абсолютну швидкість руху частинки по відношенню до нерухомої системи координат:

$$\begin{aligned} x'_a &= R\varepsilon' \cos \varepsilon \cos(\alpha + \omega t) - \\ &\quad - R(\alpha' + \omega) \sin \varepsilon \sin(\alpha + \omega t); \\ y'_a &= R\varepsilon' \cos \varepsilon \sin(\alpha + \omega t) + \\ &\quad + R(\alpha' + \omega) \sin \varepsilon \cos(\alpha + \omega t); \\ z'_a &= R\varepsilon' \sin \varepsilon. \end{aligned} \quad (9)$$

Диференціюванням виразів (9) знаходимо проєкції вектора абсолютного прискорення на осі нерухомої системи координат:

$$\begin{aligned} x''_a &= R[\varepsilon'' \cos \varepsilon - \varepsilon'^2 \sin \varepsilon - (\alpha' + \omega)^2 \sin \varepsilon] \times \\ &\quad \times \cos(\alpha + \omega t) - R \times \\ &\quad \times [\alpha'' \sin \varepsilon + 2\varepsilon'(\alpha' + \omega) \cos \varepsilon] \sin(\alpha + \omega t); \\ y''_a &= R[\varepsilon'' \cos \varepsilon - \varepsilon'^2 \sin \varepsilon - (\alpha' + \omega)^2 \sin \varepsilon] \times \\ &\quad \times \sin(\alpha + \omega t) + R[\alpha'' \sin \varepsilon + 2\varepsilon'(\alpha' + \omega) \cos \varepsilon] \times \\ &\quad \times \cos(\alpha + \omega t); \\ z''_a &= R\varepsilon'' \sin \varepsilon + R\varepsilon'^2 \cos \varepsilon. \end{aligned} \quad (10)$$

Одиничні вектори T (6) напрямку відносної швидкості V_r і (8) нормалі до поверхні P знайдені для нерухомої поверхні. Оскільки поверхня повертається на кут $\theta = \omega t$, то вказані вектори теж потрібно повернути на цей кут, щоб вони відповідали розташуванню частинки. Поворот здійснюємо аналогічно, як і поворот поверхні за формулами (2). Після повороту проєкції вказаних векторів запишуться:

- одиничного вектора дотичної до відносної траєкторії:

$$\begin{aligned} T_X &= \frac{\varepsilon' \cos \varepsilon \cos(\alpha + \omega t) - \alpha' \sin \varepsilon \sin(\alpha + \omega t)}{\sqrt{\varepsilon'^2 + \alpha'^2 \sin^2 \varepsilon}}; \\ T_Y &= \frac{\varepsilon' \cos \varepsilon \sin(\alpha + \omega t) + \alpha' \sin \varepsilon \cos(\alpha + \omega t)}{\sqrt{\varepsilon'^2 + \alpha'^2 \sin^2 \varepsilon}}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$T_Z = \frac{\varepsilon' \sin \varepsilon}{\sqrt{\varepsilon'^2 + \alpha'^2 \sin^2 \varepsilon}}.$$

- одиничного вектора нормалі до поверхні:

$$\begin{aligned} P_X &= -\sin \varepsilon \cos(\alpha + \omega t); \\ P_Y &= -\sin \varepsilon \sin(\alpha + \omega t); \\ P_Z &= \cos \varepsilon. \end{aligned} \quad (12)$$

Векторне рівняння $m\bar{w} = \bar{F}$ в проєкціях на осі нерухомої системи координат $OXYZ$ запишеться наступним чином:

$$\begin{aligned} mx''_a &= NP_x - fNT_x; \\ my''_a &= NP_y - fNT_y; \\ mz''_a &= NP_z - fNT_z - mg. \end{aligned} \quad (13)$$

Проекції одиничних напрямних векторів дотичної T до відносної траєкторії та нормалі до поверхні P

наведено у (11) і (12) відповідно, вирази других похідних абсолютної траєкторії – у (10). Підстановка вказаних виразів у (13) дасть систему трьох рівнянь із трьома невідомими залежностями: $\alpha = \alpha(t)$, $\varepsilon = \varepsilon(t)$ і $N = N(t)$. Розв'яжемо її відносно α'' , ε'' , N і отримаємо:

$$\begin{aligned} \varepsilon'' &= \left[(\omega + \alpha')^2 \cos \varepsilon - \frac{g}{R} \right] \sin \varepsilon - f \frac{\varepsilon' B}{RA}; \\ \alpha'' &= -2\varepsilon'(\omega + \alpha') \operatorname{ctg} \varepsilon - f \frac{\alpha' B}{RA}; \end{aligned} \quad (14)$$

$$N = mB,$$

$$\text{де } A = \sqrt{\varepsilon'^2 + \alpha'^2 \sin^2 \varepsilon},$$

$$B = g \cos \varepsilon + R[\varepsilon'^2 + (\omega + \alpha')^2 \sin^2 \varepsilon].$$

Система (14) фактично є системою двох перших рівнянь відносно невідомих залежностей $\alpha = \alpha(t)$ і $\varepsilon = \varepsilon(t)$, а залежність $N = N(t)$ знаходиться після розв'язання цієї системи чисельними методами. Знайдені залежності $\alpha = \alpha(t)$ і $\varepsilon = \varepsilon(t)$ потрібно підставити у рівняння (1) для того, щоб одержати відносну траєкторію руху частинки по сферичному диску, тобто траєкторію ковзання, і у рівняння (3), щоб одержати абсолютну траєкторію руху.

На рис. 3 і рис. 4 чисельними методами побудовано відносну і абсолютну траєкторії руху частинки по диску протягом 2 с при наступних параметрах: $R = 0,5$ м, $\omega = 20$ с⁻¹, $f = 0,3$.

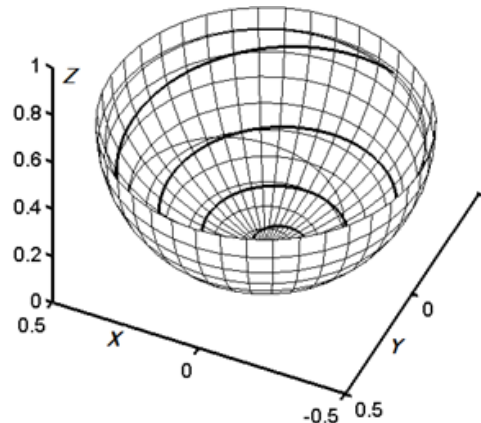


Рис. 3. Відносна (потовщена лінія) і абсолютна траєкторії руху частинки на поверхні сферичного сегмента.

Fig. 3. The relative (thick line) and the absolute trajectory of particle motion on the surface of the spherical segment.

Аналізуючи траєкторії, можна зробити висновок, що частинка ковзає по сфері, піднімаючись до певного положення, потім «залипає» і обертається разом із поверхнею. Це підтверджується графіками відносної і абсолютної швидкостей частинки, наведеними на рис. 5. Абсолютна швидкість частинки V_a визначається, як геометрична сума її проєкцій (9) за (5).

Із графіка на рис. 5 видно, що через 1,6 с після початку руху частинка «залипає», тобто швидкість її ковзання стає рівною нулю, а абсолютна швидкість стає рівною $V_a = 10$ м/с. Із графіка зміни кута ε (рис. 6) видно, що в момент залипання частинки при $t = 1,6$ с він досягає максимального значення $\varepsilon = 85^\circ$, тобто

частинка разом із сегментом обертається по колу, яке практично дорівнює екватору сфери, тобто радіусу сфери R . Виходячи із заданих значень $R=0,5$ м і $\omega=20$ с⁻¹, знаходимо: $V_a=\omega R=10$ м/с, тобто отримане значення швидкості узгоджується із графіком.

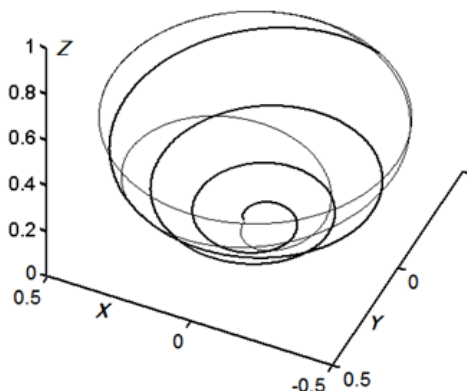


Рис. 4. Відносна (потовщена лінія) і абсолютна траєкторії руху частинки без поверхні сегмента.

Fig. 4. The relative (thick line) and the absolute trajectory of particle motion without the surface of the segment.

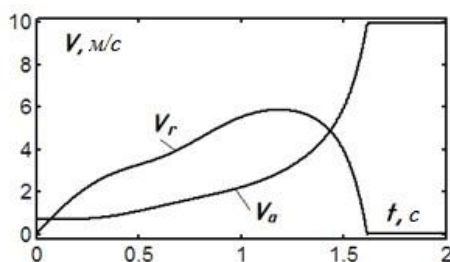


Рис. 5. Графіки відносної V_r і абсолютної V_a швидкостей руху частинки.

Fig. 5. Graphs of relative V_r and absolute V_a velocities of particle motion.

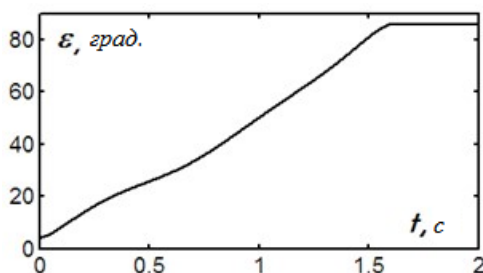


Рис. 6. Графік зміни кута ε .

Fig. 6. Graph of the angle change ε .

Якщо частинка починає свій рух не з нижньої точки сегмента, а дещо вище (наприклад, при $\varepsilon_0=45^\circ$, як показано на рис. 7), то вона швидше досягає верхньої граничної траєкторії, виходячи за межі півсфери. Для цього їй потрібно 0,2 с (рис. 8).

На рис. 9 показаний графік зміни реакції поверхні для частинки масою $m=0,01$ кг.

Рух частинки по внутрішній стінці поверхні, що обертається, має місце в пристроях для витискання соку із перетертих плодів або овочів. Зазвичай там використовується зрізаний конус з отворами в ньому для виходу соку. Рух частинки технологічного матеріалу по внутрішній поверхні конуса відрізняється від

аналогічного руху по поверхні сегмента. Ковзаючи по поверхні конуса, частинка буде підніматися вгору, причому швидкість підйому буде зростати [7]. Для сегмента сфери характерне гальмування швидкості V_r ковзання частинки при її підйомі вгору аж до «залипання» в околі екватора (рис. 5). Але саме у зоні гальмування відбувається найбільш інтенсивне соковиділення, про що свідчить різке зростання тиску на частинку (рис. 9).

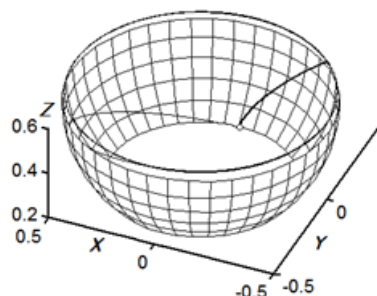


Рис. 7. Відносна (потовщена лінія) і абсолютна траєкторії руху частинки по обмеженій ділянці сегмента.

Fig. 7. Relative (thick line) and absolute trajectory of motion on a bounded area of a segment.

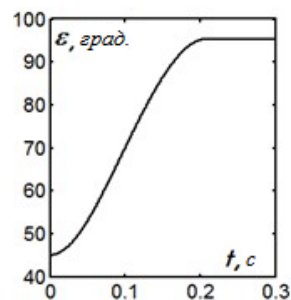


Рис. 8. Графік зміни кута ε для початкового значення $\varepsilon_0=45^\circ$.

Fig. 8. Graph of change of angle ε for initial value $\varepsilon_0=45^\circ$.

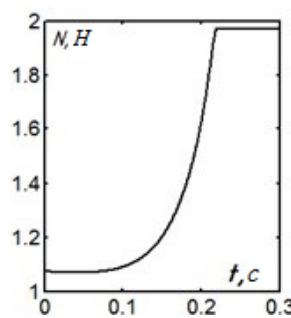


Рис. 9. Графік зміни реакції поверхні для частинки масою $m=0,01$ кг.

Fig. 9. Graph of change of surface reaction for a particle with mass $m=0.01$ kg.

Звичайно, характер руху технологічного матеріалу, яким є мезга, відрізняється від руху частинки. У розглянутій моделі не враховуються перешкоди для руху, якими є отвори у стінці поверхні. Очевидно, при обертанні конуса частина матеріалу рухається вгору і виходить за його межі, не віддавши повністю сік. Інша частина «залипає» і відділяється від поверхні за допомогою механічного пристрою з ручним приво-

дом. Однак поведінка окремої частинки дає якісну картину руху, яка певною мірою може бути перенесена на рух матеріалу. Зокрема, застосування сферичного сегменту дає можливість запобігти самовільному покиданню частиною матеріалу робочої зони.

Висновки

1. Рух частинки по внутрішній шорсткій поверхні сферичного сегмента має свої особливості. Вони стосуються характеру ковзання частинки по поверхні. При попаданні частинки на поверхню в нижній частині сегмента відбувається її розгін із одночасним підйомом вгору. Такий рух характеризується зміною двох швидкостей: відносної, тобто швидкості ковзання, і абсолютної.

2. Відносна швидкість спочатку зростає, а потім зменшується до нуля в момент «залипання» частинки. Абсолютна швидкість частинки весь час зростає і стає постійною після її «залипання». «Залипання» частинки відбувається на висоті, близькій до екватора сфери, причому вона може залипати як нижче, так і вище від нього в залежності від вихідних умов.

Список літератури

1. Pylypaka S., Klendii M., Zaharova T. Movement of the Particle on the External Surface of the Cylinder, Which Makes the Translational Oscillations in Horizontal Planes. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. Part F2. P. 336–345.
2. Pylypaka S., Klendii M., Kremets T., Klendii O. Particle motion over the surface of a cylinder, which performs translational oscillations in a vertical plane. Engineering Journal. 2018. Vol. 22(3). P. 83–92.
3. Batluk V., Basov M., Klymets V. Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow. Econtechmod. An International Quarterly Journal. 2013. Vol. 2. № 3. P. 17–24.
4. Liaposchenko O., Pavlenko I., Nastenka O. The model of crossed movement and gas-liquid flow interaction with captured liquid film in the inertial-filtering separation channels. Separation and Purification Technology. 2017. Vol. 173. P. 240–243.
5. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 2020. Vol. 60, no 4, P. 313–317. <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0313>.
6. 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.
7. Пилипак С. Ф., Захарова Т. Н., Несвидомин А. В. Форма оси гибкой несжимаемой полосы при ее толкании по наклонной шероховатой плоскости с постоянной скоростью. MOTROL. Rzeszow. 2013. Vol. 15. No 4. P. 198–205.

References

1. Pylypaka S., Klendii M., Zaharova T. (2019). Movement of the particle on the external surface of the cylinder, which makes the translational oscillations in horizontal planes. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2. 336–345.
2. Pylypaka S., Klendii M., Kremets T., Klendii O. (2018). Particle motion over the surface of a cylinder, which performs translational oscillations in a vertical plane. Engineering Journal. 22(3). 83–92.
3. Batluk V., Basov M., Klymets V. (2013). Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow. Econtechmod. 2(3). 17–24.
4. Liaposchenko O., Pavlenko I., Nastenka O. (2017). The model of crossed movement and gas-liquid flow interaction with captured liquid film in the inertial-filtering separation channels. Separation and Purification Technology. 173. 240–243.
5. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. (2020). External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 60(4). 313–317. <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0313>.
6. 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. 95(3). 108–118. doi 10.31489/2019M2/108-119.
7. Pilypaka S. F., Zaharova T. N., Nesvidomin A. V. (2013). The shape of the axis of a flexible incompressible strip when it is pushed along an inclined rough plane at a constant speed. MOTROL. Rzeszow. 15(4). 198–205.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЧКИ ПО ВРАЩАЮЩЕМУСЯ СФЕРИЧЕСКОМУ СЕГМЕНТУ

Т. Н. Волина, С. Ф. Пилипак

Аннотация. В статье рассмотрено относительное движение частицы по сферическому сегменту, который вращается вокруг вертикальной оси. Составлены дифференциальные уравнения относительного перемещения частицы, которые решены численными методами. Построено относительную и абсолютную траектории движения частицы и графики изменения относительной и абсолютной скоростей. Выявлено закономерность движения частицы при ее подъеме по поверхности.

Ключевые слова: сферический сегмент, угловая скорость вращения, относительное движение, частица, дифференциальные уравнения, кинематические параметры.

INVESTIGATION OF PARTICLE MOVEMENT ON ROTARY SPHERICAL SEGMENT

T. M. Volina, S. F. Pylypaka

Abstract. The article considers the relative movement of a particle along a spherical segment that rotates around a vertical axis. Differential equations of relative displacement of a particle have been compiled and solved by numerical methods. The relative and absolute particle

trajectories and the graphs of changes in relative and absolute velocities were constructed. The regularity of the particle's movement when it rises on the surface is clarified.

Key words: spherical segment, angular velocity of rotation, relative movement, particle, differential equations, kinematic parameters.

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

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

УДК 631.3-049.32 : 657.471

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕМОНТНОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ

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 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.

Бібл. 28, рис. 3, табл. 1.

Анотація. Ефективність ведення сільського господарства і окремих його секторів в значній мірі залежить від забезпеченості технічними засобами для виконання технологічних процесів виробництва продукції. Зменшення кількості сільськогосподарських машин і обладнання, зниження якісних показників їх використання призводить до скорочення обсягів виробництва продукції аграрної галузі. У зв'язку з постійним розвитком науково-технологічного прогресу, вивчення ринку сільськогосподарської техніки та затрат на ремонт при втраті працездатності вимагає нових досліджень та сучасних наукових підходів. В останні роки залишається актуальним формування напрямів забезпечення надійності сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів на основі аналізу витрат на ремонт.

В роботі наведені результати дослідження динаміки витрат коштів на ремонт сільськогосподарської техніки в період 2015-2019 років. З інформаційних джерел Державної служби статистики України встановлено, що за 2019 рік витрати на ремонт сільськогосподарської техніки склали 2127,5 млн. грн. Максимальні затрати на ремонт сільськогосподарської техніки в 2019 році в Україні серед областей склали 279,55 млн. грн. в Київській області. Витрати коштів на ремонт техніки на Київщині мають розсіювання в межах від 1,726 тис. грн. до 44866,29 тис. грн. При обробці статистичних даних, аграрні підприємства області були умовно розподілені на три градації: I градація – 42 підприємства; II градація – 101 підприємство; III градація – 43 підприємства.

Перспективними напрямками досліджень є аналіз та синтез витрат на ремонт сільськогосподарської техніки, покращення стратегій технічного обслуговування і ремонту. Методики дослідження затрат на ремонт сільськогосподарської техніки повинні базуватись не лише на результати статистичного аналізу, враховувати стан машин в процесі експлуатації, прийняті стратегії ремонту, результати моніторингу технічного стану.

Ключові слова: ремонт, надійність, машина, система технічного обслуговування і ремонту, статистичний аналіз.

Постановка проблеми

Забезпечення ефективної роботи та підвищення надійності сільськогосподарської техніки можливе завдяки її якісному технічному обслуговуванню і ремонту в передпродажний, гарантійний та післягарантійний періоди.

Вивчення інформації Державної служби статистики України показує, що сільське господарство нашої держави, особливо окремі сектори її матеріально-технічне забезпечення, потребують технічного і технологічного удосконалення [22, 24, 25]. Особливо в останні роки спостерігається значне скорочення парку тракторів, комбайнів, базових видів сільськогосподарської техніки, машин та обладнання тваринництва.

Як показує аналіз літературних джерел, в машинно-тракторному парку значну частку складають фізично зношені і морально застарілі машини та обладнання [13, 17, 24, 25]. На фоні скорочення виробництва і продажів вітчизняної сільськогосподарської техніки інтенсивно зростає імпорт зарубіжних аналогів [13, 22].

Ремонт сільськогосподарської техніки в значній мірі залежить від цілого ряду причин, включаючи умови, що декларують заводи-виробники і забезпечують споживачі [9, 12, 23]. Для формування цивілізованих відносин між виробниками та споживачами техніки необхідно враховувати відповідні нормативні акти, що регламентують їх юридичну та матеріальну відповідальність. Необхідно провести аналіз та синтез умов, що формують стратегії проведення ремонтно-обслуговуючих робіт та забезпечення надійності сільськогосподарської техніки, безпосередні затрати на їх реалізацію.

Важливими складовими підвищення ефективності експлуатації сільськогосподарської техніки є врахування цілого ряду компонент, які направлені на забезпечення її працездатності: динаміки затрат на ремонт; покращення стратегій ремонту; використання комплексного системного підходу в підвищенні надійності техніки як складних технічних систем (СТС) «Людина-Машина» («ЛМ») та «Людина-Машина-Середовище» («ЛМС») [15, 19].

Аналіз останніх досліджень

В останні десятиліття в Україні спостерігається сповільнене оновлення машинно-тракторного парку, а залишковий ресурс більшості видів сільськогосподарської техніки не перевищує 20-25% вихідного. Сезонне навантаження на трактори, зернозбиральну та кормозбиральну техніку в 2,5-3 рази перевищує нормативні показники [7, 26]. Аналіз умов експлуатації техніки та накопичений досвід проведення ремонтно-профілактичних робіт показує, що система технічного обслуговування і ремонту (СТОР) сільськогосподарської техніки потребує удосконалення. Серед основних причин можна назвати наступні: збільшення терміну служби з 5,2 до 10 – 15 років при залишковій придатності 30...40%; значне зниження експлуатаційної надійності; відсутність у 50-70% сільських товаровиробників матеріально-технічної бази діагностування, проведення технічного обслуговування і ремонту (ТОР) [7, 9, 25].

Дослідженнями співробітників ГОСНИТИ встановлено, що частка затрат на технічний сервіс машин в аграрній галузі досягає 20-25% від їх балансової вартості, а затрати на ТОР складають 7,5% вартості валової продукції [7]. Слід зазначити, що близько 38...42% від усіх затрат на ТОР тракторів і 56...65% комбайнів припадає на усунення відмов та проведення поточного ремонту [7, 21, 26].

Методологія вибору та управління ефективністю використання сільськогосподарської техніки за техніко-економічними показниками та обґрунтуванням нелінійного характеру витрат на ТОР при експлуатації машин приведено в дослідженнях [5, 6, 12]. Авторами представлено алгоритм вибору оптимальної сільськогосподарської машини та ефективності її використання в аграрному виробництві, який необхідно робити на основі техніко-економічного аналізу для конкретних умов її роботи.

Порівняльна оцінка затрат на підтримання автомобілів в працездатному стані розглянуто в статті [12]. Автор представив результати досліджень американських вчених, які зазначають, що в загальній структурі затрат на ефективне використання вантажних автомобілів в розрахунку на одну милю пробігу, витрати на ТОР відповідно складають 14% і 16%. В статті також проведено аналіз зарубіжного досвіду оцінки затрат на експлуатацію вантажних і легкових автомобілів із врахуванням витрат на технічне обслуговування, заміну шин, паливо. Вказаний напрям досліджень вже реалізовано також для сільськогосподарської техніки на статистичному рівні та в наукових працях.

Слід зауважити, що однією з причин, що склалася в аграрному секторі економіки України є застарілі підходи до організації СТОР парку сільськогосподарської техніки. Особливо зазначені дослідження актуальні для сільськогосподарських машин та обладнання для тваринництва.

Час простоїв з технічних причин мобільних енергетичних засобів (МЕЗ) становить на сьогоднішній день від 25 до 30% від загального робочого часу [26], в результаті чого технічна готовність знижується на 50 - 70%, подовжуються

терміни виконання польових робіт, порушуються агротехнічні та зоотехнічні вимоги, зростають втрати продукції рослинництва і тваринництва.

Як показує аналіз, в сьогоднішніх умовах забезпечення ефективності та працездатності техніки неможливі без вдосконалення існуючих та пошуку нових стратегій, методик та організаційних форм проведення ТОР. Серйозну проблему в підтриманні надійності та забезпеченні працездатності техніки в процесі експлуатації представляє своєчасність і ефективність виконання всіх видів ТОР. Оцінюючи витрати коштів на проведення ТОР МЕЗ, автори статей [6, 12] рекомендують враховувати конкретні умови їх використання та термін служби.

Автори досліджень [5, 6, 12] вказують на необхідність формування адаптивної системи технічного обслуговування і ремонту техніки та використання в методиках розрахунку експлуатаційних затрат інформації про стан техніки та умови її використання.

Методичні підходи управління надійністю техніки для тваринництва в умовах експлуатації, як зазначається в статті [8, 9, 10, 20], передбачають розробку СТОР з оптимальними доремонтними і міжремонтними ресурсами машин. Система ТОР класифікована на три основні напрями проведення ремонту: за відмови; згідно планово-запобіжної системи; згідно стану машини.

Один із значущих шляхів збереження агротехнічного потенціалу сільськогосподарських підприємств в нашій державі є вторинний ринок техніки країні [10, 27, 28]. Враховуючи зарубіжний досвід реалізації старої техніки і стан машинно-тракторного парку аграрних підприємств в Україні, відновлена техніка користується попитом у вітчизняного сільськогосподарського виробника [10, 27, 28]. Важливим моментом для організації процесу реалізації вживаної сільськогосподарської техніки в Україні є дослідження рентабельності капітально-відновлювального ремонту та встановлення витрат на його проведення.

В сучасних умовах розвитку вітчизняної аграрної економіки, при розрахунку витрат на ТОР іноземної техніки рекомендується застосовувати нормативи відрахувань згідно міжнародного стандарту ASABE [1]. Вказаний стандарт, як відмічено в [1], використовується у багатьох країнах світу, а для сільськогосподарської техніки вітчизняного виробництва передбачає введення коефіцієнтів, що затверджені чинними нормативними актами.

Ідеологія впровадження сучасних підходів в дослідженнях механіко-ергономічних систем при проведенні ТОР машин аграрного виробництва знайшла своє відображення в наукових дослідженнях [15]. Автор доводить ефективність використання МЕЗ без капітального ремонту в межах 7000-7500 мото-год. у першого власника з подальшою реалізацією ремонтному підприємству, яке після виконання відновлювальних робіт забезпечить ресурс не менше 0,8 і реалізує його наступному власнику за меншою ціною. Автор дисертаційної роботи підтверджує актуальність і ефективність проведення досліджень затрат на проведення ТОР [15]. Особливу актуальність

представляють собою дослідження СТС «ІМ» при відновленні працездатності техніки.

В статті [18] зазначено, що ТОР та усунення несправностей сучасної сільськогосподарської техніки в гарантійний період її експлуатації виконується силами дилерських сервісних центрів. Але разом з тим, світова практика і вітчизняний досвід розвитку фірмового обслуговування показують, що в післягарантійний період експлуатації машин більша частина трудомісткості робіт з ТОР виконується власниками фермерських підприємств або ж операторами машин аграрних підприємств самостійно. Автори статті [10] звертають увагу на методику з розрахунку основних вартісних показників на ТОР машин для різних виконавців робіт і кількісного складу парку аграрних підприємств.

В цьому аспекті актуальними є також дослідження [16], в яких проведено аналіз питомих витрат на пошук несправностей вантажних автомобілів та порівняльний аналіз зазначених витрат і ефективності застосування динамічної стратегії автомобілів КАМАЗ. Автором встановлено, що для динамічної СТОР в порівнянні з планово-попереджувальною (ППС), середнє напрацювання на відмову вантажних автомобілів може збільшитися на 21,7%. Значущим отриманим науковим результатом в роботі [16] є розробка теорії ймовірно-логічного методу пошуку несправностей і динамічної системи ТО і поточного ремонту автомобілів на його основі. Як зазначено в науковій роботі, представлена система забезпечує підвищення ефективності технічної експлуатації автомобілів та зниження питомих сумарних витрат на 32,1%.

Практичний інтерес представляють дослідження, які приведені в статті [3]. В роботі наведена оцінка вартості устаткування до і після капітального ремонту. Використання представленої методики дозволяє оцінити рентабельність капітального ремонту, зіставити його економічний результат, розрахувати приріст вартості устаткування з витратами на відновлення працездатності. Це дозволяє прийняти обґрунтоване управлінське рішення щодо проведення ремонту кожної конкретної одиниці устаткування.

Необхідно звернути увагу на те, що майже невикористаним резервом підвищення працездатності сучасної сільськогосподарської техніки, є застосування нових інформаційних технологій, які дозволяють обробляти інформаційні потоки та формувати базу даних технічної експлуатації машин. На сьогодні така база включає в себе інформаційно-довідкові матеріали, інформаційні системи діагностики і прогнозування, системи аналізу та синтезу витрат на забезпечення працездатності [4, 5, 7, 26]. У зв'язку із зазначеним, проблема вдосконалення і підвищення ефективності систем підтримки і відновлення працездатного стану сільськогосподарської техніки за рахунок аналізу витрат на ремонт, удосконалення стратегій і технологічних методів організації СТОР, впровадження нових інформаційних технологій має важливе наукове і практичне значення.

Для реалізації зазначених напрямів досліджень можна скористатись інформацією про зміст та функції

моніторингу в аграрній сфері, що відображені в багатьох наукових дослідженнях [4, 5, 14, 18] та матеріалах Державної служби статистики України [26]. Ефективним є напрям проведення моніторингу стану сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів базуючись на статистичний аналіз функціонування ремонтної служби України.

Мета досліджень

Мета досліджень полягає у підвищенні надійності сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів на основі дослідження затрат на підтримання працездатності та покращення функціонування ремонтної служби.

Результати досліджень

Враховуючи широке коло питань, що виникають в процесі проведення досліджень, виходячи з аналізу та синтезу інформації щодо ефективності підтримання працездатності та забезпечення надійності сільськогосподарської техніки, реалії вказують на те, що ринок сільськогосподарської техніки в нашій державі залишається одним з найбільш перспективних у світі [21]. Відмічається постійне зростання попиту на сільськогосподарські машини та обладнання, а це привертає до України значну кількість інвесторів та іноземних виробників.

В цих умовах не можна не звернути увагу на стан забезпечення сервісного обслуговування техніки, і особливо на ремонт. Особливе місце в останні десятиліття займають процеси світової глобалізації, які реалізуються в сільськогосподарському машинобудуванні шляхом консолідації галузі та формуванні кількох десятків великих та багатьох малих міжнародних компаній на ринку техніки. Разом з тим, як показує аналіз досліджень стану матеріально-технічного забезпечення аграрної галузі, поза увагою вітчизняних вчених залишилися питання аналізу та синтезу стратегій на забезпечення працездатності машин, та зменшення витрат на ремонт сільськогосподарської техніки. Усунення несправностей та відмов може відбуватися за різними стратегіями СТОР [9, 20, 27]: за вимогою після відмови; за регламентною періодичністю, згідно планово-попереджувальної системи ТО і ремонту; прогнозування відмов за технічним станом згідно з результатами діагностування. Кожна з представлених стратегій СТОР має свої переваги та недоліки, а також різну вартість для її реалізації.

В Україні в останнє десятиліття спостерігається подальше фізичне й моральне старіння сільськогосподарської техніки, суттєво скоротився парк тракторів, комбайнів, інших сільськогосподарських машин та обладнання. Близько 80% наявної у сільськогосподарських підприємствах різних форм власності техніки відпрацювало амортизаційний термін експлуатації та потребує значних витрат на підтримання її у працездатному стані.

Проведено дослідження динаміки витрат коштів на ремонт сільськогосподарської техніки, які отримані за результатами Державної служби статистики України [27]. За період 2015-2019 років рівень забезпечення працездатності сільськогосподарської техніки значно погіршився. Станом на 1 січня 2020 року, (тобто за 2019 рік) витрати на ремонт сільськогосподарської техніки склали 2127,5 млн. грн. (рис. 1). Як показує аналіз витрат на ремонт

сільськогосподарської техніки за період з 2015 року по 2018 рік, зафіксоване зростання названого показника з кожним попереднім роком в межах від 129,9% до 164,4%. І лише у 2019 році намітилась тенденція зменшення вказаних витрат на ремонт сільськогосподарської техніки у порівнянні з 2018 роком – на 94,7%.

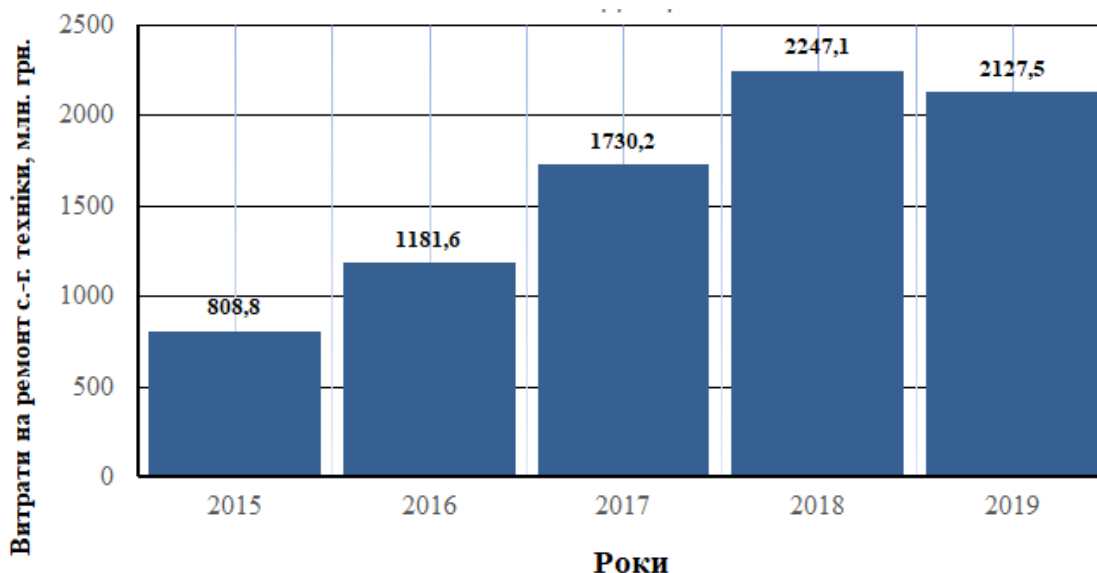


Рис. 1. Динаміка витрат коштів на ремонт сільськогосподарської техніки протягом 2015-2019 років.

Fig. 1. Dynamics of expenditures on repair of agricultural equipment during 2015-2019.

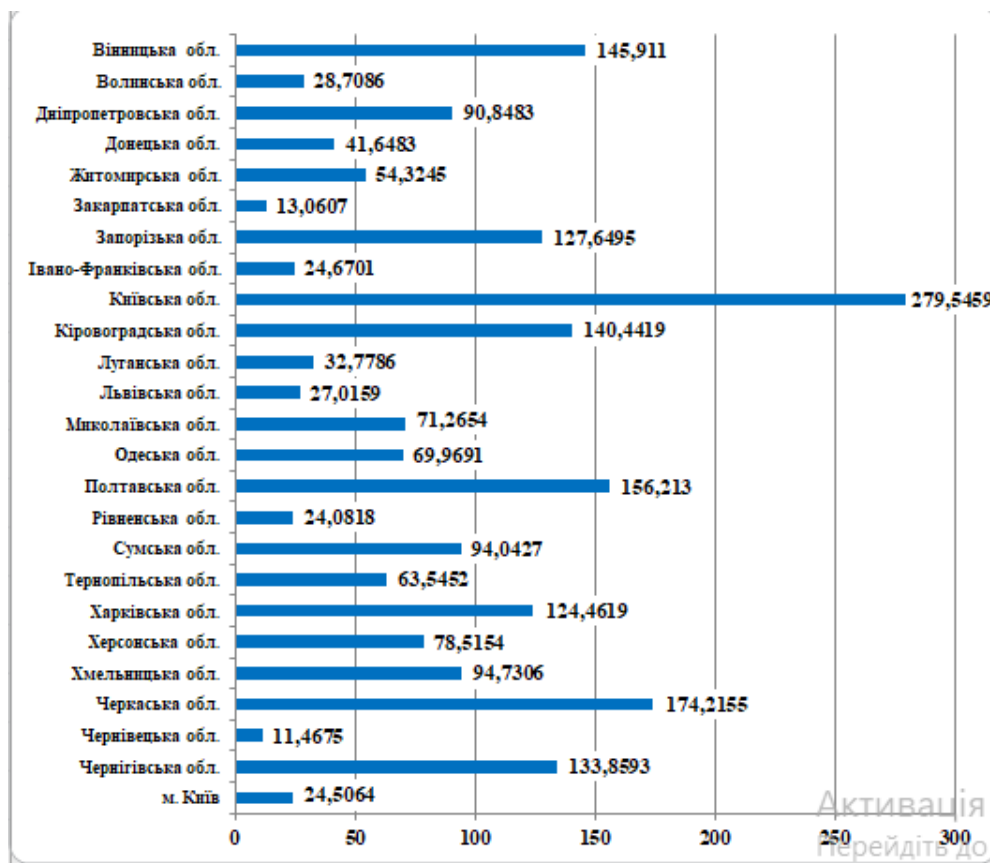


Рис. 2. Динаміка витрат на ремонт сільськогосподарської техніки за областями.

Fig. 2. Dynamics of expenditures on repair of agricultural machinery by region.

Також, досліджено динаміку витрат на ремонт сільськогосподарської техніки за областями України. З аналізу інформаційних джерел Державної служби статистики України встановлено, що витрати ремонт сільськогосподарської техніки за областями змінюються в широких межах: від 11,47 млн. грн. в Чернівецькій та 13,06 млн. грн. в Закарпатській області до 279,55 млн. грн. в Київській області та 174,2 млн. грн. в Черкаській області. Однією з причин, що визначає значне розсіювання витрат є наявність у зазначених областях земель сільськогосподарського призначення, відповідного машинно-тракторного парку, стану його зносу.

Проведено дослідження витрати коштів на ремонт сільськогосподарської техніки в аграрних підприємствах Київщини за 2019 рік, які отримані за результатами аналізу статистичних даних Головного управління статистики у Київській області. Згідно результатів досліджень було встановлено, що звіти в

яких відображені витрати коштів на ремонт сільськогосподарської техніки подали 189 аграрних підприємств Київської області.

При цьому, слід відмітити значне розсіювання зазначених показників. Виходячи з отриманих статистичних даних, аграрні підприємства області були умовно розподілені на три характерні градації: I градація – 42 підприємства; II градація – 101 підприємство; III градація – 43 підприємства. Дослідженнями було встановлено, що витрати коштів на ремонт сільськогосподарської техніки мають розсіювання в межах від 1,726 тис. грн. до 44866,29 тис. грн.

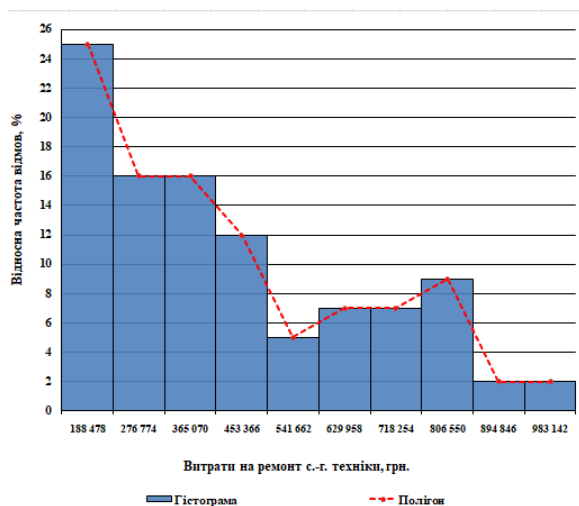
Результати обробки статистичної інформації про динаміку витрат на ремонт сільськогосподарської техніки аграрних підприємств Київської області представлені в таблиці 1.

Результати обробки статистичної інформації для II і III градаціями наведені на рис. 3.

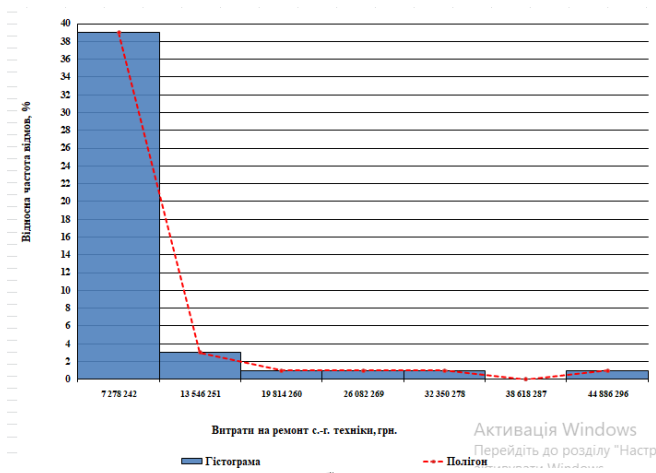
Таблиця 1. Результати обробки статистичної інформації про динаміку витрат на ремонт сільськогосподарської техніки аграрних підприємств Київської області.

Table 1. The results of processing statistical information on the dynamics of costs for the repair of agricultural machinery of agricultural enterprises of Kyiv region.

Назва показника	I градація	II градація	III градація
Кількість сільськогосподарських підприємств	42	101	45
Межі розсіювання випадкової величини	1,72 тис. грн. - 95,0 тис. грн.	100,18 тис. грн. - 983,14 тис. грн.	7278,2 тис. грн. - 44886,7 тис. грн.
Середнє значення випадкової величини	25,6 тис. грн.	215,17 тис. грн.	4865 тис. грн.
Середнє квадратичне відхилення випадкової величини	12,9 тис. грн.	112,93 тис. грн.	3607,7 тис. грн.
Коефіцієнт варіації	0,55	0,52	0,74
Теоретичний закон розподілу	закон розподілу Вейбулла-Гнеденко	закон розподілу Вейбулла-Гнеденко	закон розподілу Вейбулла-Гнеденко



а)



б)

Рис. 3. Результати обробки статистичної інформації про динаміку витрат на ремонт сільськогосподарської техніки аграрних підприємств Київської області за II (а) і III (б) градаціями.

Fig. 3. The results of processing statistical information on the dynamics of costs for repair of agricultural machinery of agricultural enterprises in the Kiev region for the second (a) and third (b) gradations.

Найбільша кількість підприємств входить до II градації, що найкраще характеризують динаміку витрат на ремонт сільськогосподарської техніки. За результатами обробки статистичної інформації II градації було встановлено, що межі розсіювання випадкової величини складають від 100,18 тис. грн. до 983,14 тис. грн.; середнє значення випадкової становить – 215,17 тис. грн.; середнє квадратичне відхилення – 112,93 тис. грн., коефіцієнт варіації – 0,52; теоретичний закон розподілу – закон розподілу Вейбулла-Гнеденко.

Висновки

1. Ефективне функціонування аграрних підприємств стане можливим лише за умови оновлення матеріальної і технологічної бази, збільшення інтелектуалізації техніки та впровадження інноваційних технологічних процесів, які стають визначальним фактором підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції. Дослідження, які спрямовані на забезпечення працездатності сільськогосподарської техніки на основі дослідження витрат на ремонт мають важливе наукове і практичне значення.

2. Уточнено динаміку витрат коштів на ремонт сільськогосподарської техніки за останні п'ять років. Встановлено, що вказані витрати становлять за 2019 рік 2127,5 млн. грн. Серед областей, найбільші витрати припадають на Київську область і складають 279,5 млн. грн.

3. За результатами обробки статистичної інформації було встановлено, що межі розсіювання випадкової величини для II градації складають від 100,18 тис. грн. до 983,14 тис. грн., середнє значення випадкової становить – 215,17 тис. грн.; середнє квадратичне відхилення – 112,93 тис. грн.

4. Методики дослідження затрат на ремонт сільськогосподарської техніки повинні базуватись не лише на результати статистичного аналізу, але й враховувати термін експлуатації, прийняті стратегії технічного обслуговування і ремонту, результати моніторингу технічного стану.

5. Поряд з представленими в статті напрямками, ще недостатньо досліджень, які були б направлені на вирішення комплексної проблеми – аналіз та синтез витрат на ремонт сільськогосподарської техніки, покращення стратегій СТОР.

Список літератури

1. Commodity Costs and Returns estimation handbook. A report of the AAEA Task Force on commodity Casts and Returns. 2000. Ames. Iowa. 2000. c/5-1-5-62.

2. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 2019. Vol. 18. P. 291-298.

3. Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T. «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. P. 199-213.

4. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. P. 106–121.

5. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3(105). P. 19-29.

6. Аулін В. В., Лівіцький О. М., Замота О. М. Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград. 2016. Вип. 29. С. 3–12.

7. Бердников И. Е. Разработка диагностико-информационной подсистемы технического сервиса для обеспечения эксплуатационной надежности транспортно-технологических машин: автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. 05.02.13. Чита. 2017. 22 с.

8. Rogovskii I. L., Stepanenko S. P., Novitskii A. V., Rebenko V. I. The mathematical modeling of changes in grain moisture and heat loss on adsorption drying from parameters of grain dryer. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. 082057 doi:10.1088/1755-1315/548/8/082057.

9. Большаков В. Н., Новицький А. В., Тарасенко С. Є. Правове забезпечення проведення моніторингу надійності сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2014. Вип. 196, ч. 2. С. 179–187.

10. Власенко В. В. Прогнозирование трудозатрат на техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств. Автомобильный транспорт. 2012. №30. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognostirovanie-trudozatrat-na-tehnicheskoe-obsluzhivanie-i-remont-avtotransportnyh-sredstv>.

11. Губін В. В. Шляхи відтворення основних фондів сільськогосподарських підприємств. Електронне фахове наукове видання. Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського. 2015. Вип. 4. С. 136–140.

12. Kalinichenko D., Rogovskii I. Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105-115.

13. Захарчук О. В. Технічне забезпечення сільськогосподарських підприємств в Україні. Економіка АПК. 2019. №2. С. 48–56.

14. Котенко С. С., Перепелиця Н. М., Грицишин М. І. Теоретико-методичні аспекти економічної оцінки технічного обслуговування та ремонту

сільськогосподарської техніки. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2015. №3. С. 85–93.

15. Липкович И. Э. Механико-эргономическое обоснование человеко-машинных систем в агроинженерной сфере растениеводства : автореф. дис. ... доктора техн. наук. 05.20.01. 05.20.03. Краснодар. 2004. 48 с.

16. Лянденбургский В. В. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта автомобилей на основе инновационных методов диагностирования: монография. Пенза. ПГУАС. 2015. 200 с.

17. Науменко О. А., Петруша Є. З., Нагорний С. А. Матеріально-технічна база і виробництво продукції тваринництва у фермерських господарствах. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. Вип. 144. С. 97–102.

18. Никитченко С. Л., Смыков С. В., Жилискова Н. П. Выбор исполнителей и средств технического сервиса машин в сельскохозяйственном производстве. Вестник аграрной науки Дона. 2015. №30. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vyborispolniteley-i-sredstv-tehnic-hes-kogo-servisa-mashin-v-selskohozyaystvennom-proizvodstve>.

19. Новицкий А. В., Думенко К. Н. Исследование надёжности системы «человек-машина» при условии развития составляющей «человек-оператор». Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. Lublin. 2014. Vol. 16. № 2. P. 117–121.

20. Новицкий А. В. Метод оцінки роботоздатності кормоподібних машин. Механізація сільськогосподарського виробництва. Київ. 1998. Т. IV. С. 63–68.

21. Новицкий А. В. Моніторинг тенденцій розвитку системи технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків, 2014. Вип. 2. С. 41–48.

22. Новицкий А. В., Банний О. О. Надійність сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів з досвіду зарубіжних компаній. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 2. P. 115–124.

23. Новицкий А. В., Новицкий 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.

24. Новицкий А. В., Ружило З. В. Моніторинг забезпечення молочного скотарства машинами та обладнанням. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2014. Вип. 1. С. 56–63.

25. Новицкий А. В., Соломка В. О., Соломка О. В. Моніторинг забезпечення сільськогосподарських підприємств технікою для кормовиробництва. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія:

техніка та енергетика АПК. Київ. 2014. Вип. 196, ч. 1. С. 376–382.

26. Озорнин С. П. Повышение работоспособности мобильных машин в структурах агропромышленного комплекса на основе ситуационно-комбинированного обслуживания и ремонта: автореф. дис. на соиск. ученой степени докт. техн. наук. 05.20.03. Новосибирск. 2005. 39 с.

27. Придбання підприємствами матеріально-технічних ресурсів для виробничих потреб у 2015 році. (2016, 2017, 2018, 2019). Держстат України, 1998-2019.

28. Ружило З. В., Новицкий А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2016. Вип. 2. С. 223–231.

References

1. Commodity Costs and Returns estimation handbook. (2000). A report of the AAEA Task Force on commodity Casts and Returns. 2000. Ames. Iowa 2000 c/5-1-5-62.

2. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 18. 291–298.

3. Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T. (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. 199–213.

4. Novitskiy A., Karabinhosh S. (2018). Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 9(2). 106–121.

5. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3(105). 19-29.

6. Aulin V. V., Livicjkyj O. M., Zamota O. M. (2016). Methodology of selection and management of efficiency of use of equipment in agricultural production. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation. Kirovograd. 29. 3–12.

7. Berdnykov Y. E. (2017). Development of diagnostic and information subsystem of technical service to ensure operational reliability of transport and technological machines: author's ref. dis. scientific degree of Cand. tech. Science. 02.05.13. Chita. 22.

8. Rogovskii I. L., Stepanenko S. P., Novitskii A. V., Rebenko V. I. (2020). The mathematical modeling of changes in grain moisture and heat loss on adsorption drying from parameters of grain dryer. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 548. 082057 doi:10.1088/1755-1315/548/8/082057.

9. Boljshakov V. N., Novycjkyj A. V., Tarasenko S. Je. (2014). Legal support for monitoring the reliability of agricultural machinery. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energy of agro-industrial complex. Kyiv. 196(2). 179–187.
10. Vlasenko V. V. (2012). Forecasting of labor costs for maintenance and repair of vehicles. Road transport. 30. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-trudozatrat-na-tehnicheskoe-obsluzhivanie-i-remont-avtotransportnyh-sredstv>.
11. Gubin V. V. (2015). Ways of reproduction of fixed assets of agricultural enterprises. Electronic professional scientific publication. Mykolayiv National University named after V. O. Sukhomlynsky. 4. 136–140.
12. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2018). Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 18(1). 105–115.
13. Zakharchuk O. V. (2019). Technical support of agricultural enterprises in Ukraine. Economics of agro-industrial complex. 2. 48–56.
14. Kotenko S. S., Perepelycja N. M., Ghrycshyn M. I. (2015). Theoretical and methodological aspects of economic evaluation of maintenance and repair of agricultural machinery. Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes. Kharkiv. 3. 85–93.
15. Lypkovych Y. E. (2004). Mechanical and ergonomic substantiation of human-machine systems in the agro-engineering sphere of plant growing: author's ref. dis. ... Doctor of technical sciences Science. 05.20.01. 05.20.03. Krasnodar. 48.
16. Ljandenburskyj V. V. (2015). Improving the system of maintenance and repair of cars based on innovative diagnostic methods: a monograph. Penza. PGUAS. 200.
17. Naumenko O. A., Petrusha Je. Z., Naghornyj S. A. (2014). Material and technical base and production of livestock products on farms. Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. 144. 97–102.
18. Nykytchenko S. L., Smykov S. V., Zhyljaskova N. P. (2015). Selection of executors and means of technical service of machines in agricultural production. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 30. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vyborispolniteley-i-sredstv-tehnicheskogo-servisa-mashin-v-selskohozyaystvennom-proizvodstve>.
19. Novycjkyj A. V., Dumenko K. N. (2014). Study of the reliability of the "man-machine" system under the condition of the development of the "man-operator" component. Motrol. Motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. Lublin. 16(2). 117–121.
20. Novycjkyj A. V. (1998). Method of assessing the efficiency of feed grinders. Mechanization of agricultural production. Kyiv. IV. 63–68.
21. Novycjkyj A. V. (2014). Monitoring of development trends in the system of maintenance and repair of agricultural machinery. Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes. Kharkiv. 2. 41–48.
22. Novycjkyj A. V., Bannyj O. O. (2020). Reliability of agricultural machinery in the system of innovation processes from the experience of foreign companies. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(2). 115–124.
23. Novycjkyj A. V., Novycjkyj Ju. A. (2017). Technical assessment of consumer qualities of agricultural machinery. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energy of agro-industrial complex. Kyiv. 264. 293–303.
24. Novycjkyj A. V., Ruzhylo Z. V. (2014). Monitoring of dairy cattle breeding with machines and equipment. Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes. Kharkiv. 1. 56–63.
25. Novycjkyj A. V., Solomka V. O., Solomka O. V. (2014). Monitoring the provision of agricultural enterprises with equipment for fodder production. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energy of agro-industrial complex. Kyiv. 196(1). 376–382.
26. Ozornyn S. P. (2005). Improving the efficiency of mobile machines in the structures of the agro-industrial complex on the basis of situational-combined maintenance and repair: author's ref. dis. degree of Dr. tech. Science. 05.20.03. Novosibirsk. 39.
27. Acquisition by enterprises of material and technical resources for production needs in 2015. (2016, 2017, 2018, 2019). State Statistics Service of Ukraine, 1998–2019.
28. Ruzhylo Z. V., Novycjkyj A. V. (2016). Review of theoretical studies of the reliable operation of "LMS" systems under the influence of maintenance and repair. Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes. Kharkiv. 2. 223–231.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕМОНТНОЙ СЛУЖБЫ УКРАИНЫ

А. В. Новицкий, О. О. Банний

Аннотация. Эффективность ведения сельского хозяйства и отдельных его секторов в значительной степени зависит от обеспеченности техническими средствами для выполнения технологических процессов производства продукции. Уменьшение количества сельскохозяйственных машин и оборудования, снижение качественных показателей их использования приводит к сокращению объемов производства продукции аграрной отрасли. В связи с постоянным развитием научно-технического прогресса, изучение рынка сельскохозяйственной техники и затрат на ремонт при потере работоспособности требует новых исследований и современных научных подходов. В последние годы остается актуальным формирование направлений обеспечения надежности сельскохозяйственной техники в системе инновационных процессов на основе анализа затрат на ремонт.

В работе приведены результаты исследований динамики расходов средств на ремонт сельскохозяйственной техники в период 2015–2019 годов. Из информационных источников

Государственной службы статистики Украины установлено, что в 2019 году расходы на ремонт сельскохозяйственной техники составили 2127,5 млн. грн. Максимальные затраты на ремонт сельскохозяйственной техники в 2019 году в Украине среди областей составили 279,55 млн. грн. в Киевской области. Расходы средств на ремонт сельскохозяйственной техники в Киевской области имеют рассеяния в пределах от 1,726 тыс. грн. до 44866,29 тыс. грн. При обработке статистических данных аграрные предприятия области были условно разделены на три градации: I градация – 42 предприятия; II градация – 101 предприятие; III градация – 43 предприятия.

Перспективными направлениями исследований являются анализ и синтез расходов на ремонт сельскохозяйственной техники, улучшение стратегий технического обслуживания и ремонта. Методики исследования затрат на ремонт сельскохозяйственной техники должны основываться на результатах статистического анализа, учитывать состояние машин в процессе эксплуатации, принятые стратегии ремонта, результаты мониторинга технического состояния.

Ключевые слова: ремонт, надежность, машина, система технического обслуживания и ремонта, статистический анализ.

improvement of maintenance and repair strategies. The methods of research of agricultural machinery repair costs should be based on the results of statistical analysis, take into account the state of machines in operation, the repair strategies adopted, the results of technical condition monitoring.

Key words: reliability: repair, reliability, machine, maintenance and repair system, statistical analysis.

А. В. Новицький ORCID 0000-0001-7789-8531.

О. О. Банний ORCID 0000-0003-0505-166X.

STATISTICAL ANALYSIS OF FUNCTIONING OF REPAIR SERVICE OF UKRAINE

A. V. Novytskyi, O. O. Bannyi

Abstract. The efficiency of agriculture and its individual sectors largely depends on the provision of technical means for technological processes of production. Reducing the number of agricultural machinery and equipment, reducing the quality indicators of their use leads to a reduction in the volume of production of the agrarian industry. In connection with the constant development of scientific and technological progress, the study of the market of agricultural machinery and repair costs for loss of performance requires new research and modern scientific approaches. In recent years, the formation of directions to ensure the reliability of agricultural machinery in the system of innovation processes based on the analysis of repair costs remains relevant.

The paper presents the results of research on the dynamics of expenditures on repair of agricultural machinery in the period 2015-2019. From the information sources of the State Statistics Service of Ukraine it was found that in 2019 the costs of repair of agricultural equipment amounted to 2127.5 million UAH. The maximum expenses for repair of agricultural equipment in 2019 in Ukraine among regions was 279.55 million UAH in Kyiv region. Expenditures of funds for repair of agricultural equipment in Kyiv region have a dispersion in the range from 1,726 thousand UAH to 44866.29 thousand UAH. During the processing of statistical data, the agricultural enterprises of the region were conditionally divided into three gradations: I grade – 42 enterprises; II grade – 101 enterprises; III grade – 43 enterprises.

Prospective directions of research are the analysis and synthesis of costs for repair of agricultural machinery,

УДК 621.87

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ БІОДИЗЕЛЯ ВОДНИМ РОЗЧИНОМ ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ

В. М. Поліщук¹, Д. А. Дерев'янка², С. Є. Тарасенко¹, Є. О. Антипов¹

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

²Житомирський національний агроєкологічний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: polischuk.v.m@gmail.com; derevyanko.dmutro@gmail.com; setarassenko@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.

Бібл. 18, рис. 15, табл. 0.

Анотація. Виробництво метилових ефірів жирних кислот (МЕЖК), які ще називають біодизелем, за традиційною технологією відбувається за наявності лужного гомогенного каталізатора, який не вступає в реакцію, а тільки її прискорює, залишаючись в виготовленому МЕЖК і викликаючи корозію двигуна. Очищенню МЕЖК від гомогенного каталізатора повинна передувати його нейтралізація. Для цього використовується водний розчин неорганічних (соляна, сірчана, фосфорна тощо) і органічних (оцтова, лимонна) кислот. Метою дослідження є визначення встановлення оптимальних і раціональних параметрів нейтралізації МЕЖК. Дослідження ефективності нейтралізації МЕЖК проводились шляхом його перемішування з водним розчином лимонної кислоти (об'ємний спосіб) та шляхом розпилення водного розчину лимонної кислоти над шаром МЕЖК (аерозольний спосіб). Дослідження впливу параметрів мішалки на лужність МЕЖК, що піддається нейтралізації, проводились при температурах 20°C, 40°C, 60°C і 80°C і частотах обертання валу мішалки 200, 350, 500 і 650 об./хв. Час перемішування становив 5 хв. Дослідження впливу параметрів розпилювача на лужність МЕЖК проводилось шляхом розпилювання 6 мл водного розчину 1% лимонної кислоти на 100 мл МЕЖК через відцентровий повноконусний розпилювач "Disc and Core". Час розпилення становив 1,5-3 с при тиску 0,15-0,25 ат. Експериментально встановлено, що нейтралізацію біодизеля доцільно здійснювати об'ємним способом при температурі 40°C і раціональній частоті обертання валу мішалки 240-410 об./хв., при цьому оптимальна частота обертання валу мішалки становить 323 об./хв.

Ключові слова: біодизель, метиловий ефір жирних кислот, МЕЖК, очищення, нейтралізація, об'ємний спосіб, аерозольний спосіб, кислота, солі кислот

Постановка проблеми

При виробництві метилового ефіру жирних

кислот (МЕЖК), або як його ще називають – біодизеля, за традиційною технологією для прискорення реакції метанолізу обов'язково застосовується каталізатор (головним чином, лужний гомогенний), який, однак, сам не вступає в реакцію метанолізу, а тільки її прискорює. Тому у виготовленому біодизелі він залишається повністю, викликаючи корозію двигуна. Продукти корозії, потрапляючи в зазор між циліндром та поршнем, призводять до їх абразивного зношення. В разі потрапляння продуктів корозії в паливну систему вони можуть забивати паливні фільтри, або зовсім блокувати роботу паливної апаратури внаслідок неможливості розпилення палива через форсунки.

Одним із способів видалення каталізатора із дизельного біопалива при традиційній технології його виробництва є його нейтралізація органічними або неорганічними кислотами з наступним видаленням утворених солей.

Аналіз літературних джерел

Для очищення біодизеля від залишків каталізатора розроблені різні способи, основними серед яких є так звані, "мокре" і "сухе" очищення біодизеля.

"Сухі" методи очищення досить ефективні, однак вартість магнезолу і іонообмінних смол досить висока, що значно підвищує собівартість виробленого біодизеля. Крім того, виробники іонообмінних смол рекомендують не перевищувати концентрацію 500 г/т мила в неочищеному біодизелі, інакше якість очищення знижується. Тому для зменшення затрат рекомендується проводити попереднє очищення біодизеля іншими методами. Крім того, якщо біодизель сильно забруднений, іонообмінні смоли швидко втрачають свої властивості і погано піддаються регенерації.

Мокре водяне очищення біодизеля забезпечує ефективне його очищення від гомогенного каталізатора, однак при цьому використовується значна кількість води, яка в процесі очищення

забруднюється і створює екологічні проблеми при скиданні її в каналізацію [1].

Результати експериментальних досліджень нейтралізації біодизеля описані в роботах [2-12]. Встановлено, що для нейтралізації біодизеля застосовуються як неорганічні (соляна, сірчана, ортофосфорна), так і органічні (лимонна, оцтова) кислоти, діоксид вуглецю. Найбільш ефективними є ортофосфорна і лимонна кислоти. Дослідження проводились в широкому спектрі температур (від 20°C до 70°C) при обов'язковому перемішуванні. Для перешкодження утворенню емульсії при нейтралізації біодизеля застосовується дистильована вода.

Разом із тим, технологія і технічні засоби проведення нейтралізації в літературних джерелах висвітлені слабо, зустрічається лише згадка про те, що проводились дослідження нейтралізації біодизеля при температурі 20°C, 55°C, 65°C, 70°C і 80°C, а також, що в одному із дослідів нейтралізація здійснювалась шляхом перемішування біодизеля механічною мішалкою з підкисленою водою при швидкості перемішування 1000 об./хв.

Мета досліджень

Мета дослідження – встановлення оптимальних і раціональних параметрів нейтралізації МЕЖК.

Результати досліджень

Проводились дослідження ефективності нейтралізації біодизеля шляхом його перемішування з водним розчином лимонної кислоти та шляхом розпилення водного розчину лимонної кислоти над шаром біодизеля.

Оскільки при дослідженні внаслідок відсутності спеціального спектрометра ми не мали можливості визначати вміст лужних металів в біодизелі, було вирішено визначати лужність біодизеля, яка не повинна перевищувати 5 мг/кг. Методика визначення лужності палива наведена в [15-18].

Методика експериментального дослідження нейтралізації МЕЖК шляхом його перемішування з водним розчином лимонної кислоти. Метилловий ефір для дослідження виробляється із рижійової олії (83%), до якого додається метилат калію (17%). Метилат калію готується при співвідношенні метанолу до КОН як 10 до 0,6. Компоненти перемішуються на магнітній мішалці (рис. 1, а) при температурі 40°C протягом 15 хв., після чого продукти реакції переливаються в ділильну лійку (рис. 1, б), де вони протягом двох годин розділяються на метиловий ефір і сирий гліцерин.

В результаті отримується 82% МЕЖК і 18% сирого гліцерину. Сирий гліцерин зливається, а з метиловий ефір шляхом дистиляції при температурі 65°C при постійній аерації повітрям видаляється надлишок метанолу (0,9% від об'єму МЕЖК).



Рис. 1. Виготовлення МЕЖК: а – перемішування реагентів на магнітній мішалці; б – розділення продуктів реакції на метиловий ефір і сирий гліцерин.

Fig. 1. Production of methyl esters of fatty acids: a – mixing of reagents on a magnetic stirrer; b – separation of reaction products to methyl ether and crude glycerin.

Визначення впливу параметрів мішалки на лужність МЕЖК при його очищенні проводиться на лабораторній установці, яка складається із рідинного термостата ТЖ-ТС-01/16 і верхньоприводної мішалки EUROSTAR digital.

Досліджуваний зразок очищеного від метанолу МЕЖК об'ємом 300 мл наливається в лабораторний стакан місткістю 0,5 л, який закріплюється на штативі, і поміщається в воду, наліту в рідинний термостат (рис. 2).

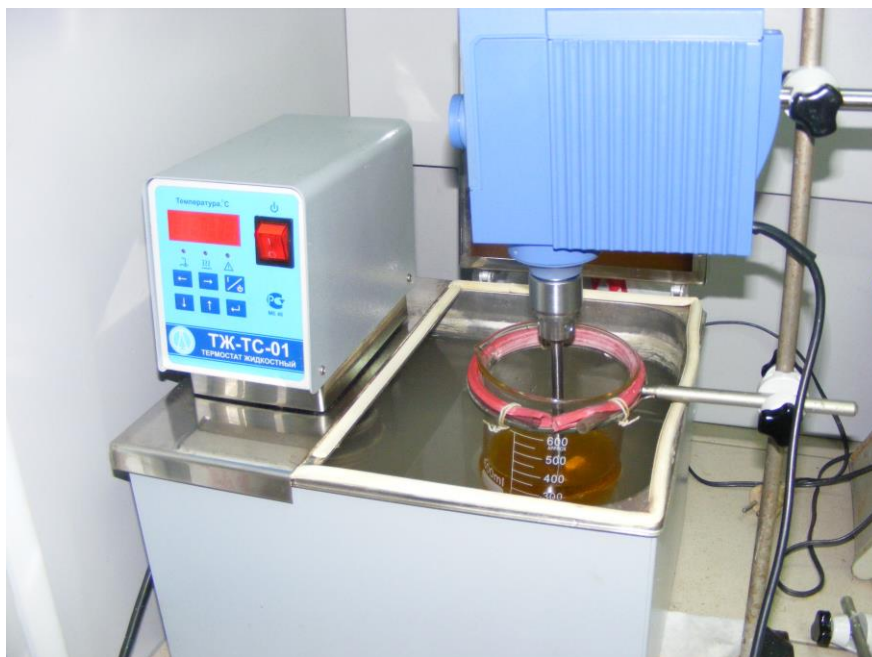


Рис. 2. Лабораторна установка для визначення впливу параметрів мішалки на лужність МЕЖК.

Fig. 2. Laboratory installation to determine the effect of the stirrer parameters on the alkalinity of methyl esters of fatty acids.

На тому ж штативі закріплюється верхньоприводна мішалка із чотирилопатевою мішалкою із похилими лопатями. За допомогою

регулятора виставляється необхідна частота обертання валу мішалки (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Верхньоприводна мішалка EUROSTAR digital із заданою частотою обертання валу: а – 201 об./хв.; б – 647 об./хв.

Fig. 3. Upper drive mixer EUROSTAR digital with a given shaft speed: а – 201 rpm; б – 647 rpm.

До МЕЖК доливається 1% водний розчин лимонної кислоти у співвідношенні 5,5 мл на 100 мл МЕЖК. Тобто до 300 мл МЕЖК доливається 16,5 мл 1% водний розчин лимонної кислоти.

Дослідження впливу параметрів мішалки на лужність МЕЖК, що піддається нейтралізації, проводиться при температурах МЕЖК 20°C, 40°C, 60°C і 80°C (рис. 4), і частотах обертання валу

мішалки 200; 350; 500 і 650 об./хв. (рис. 5). Час перемішування становить 5 хв.

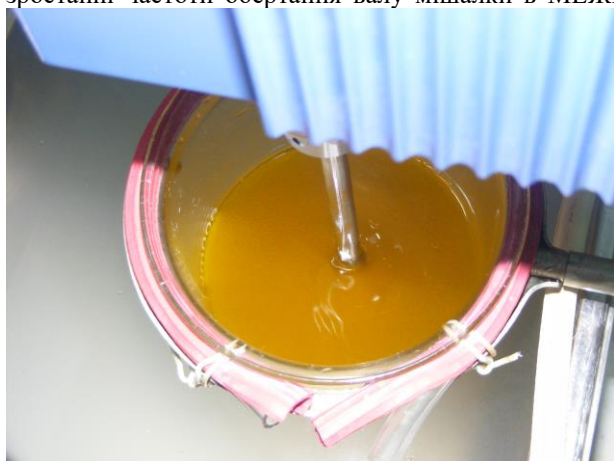


Рис. 4. Виставлення температури 40°C на рідинному термостаті ТЖ-ТС-01/16.

Fig. 4. Setting the temperature to 40°C on the liquid thermostat TZh-TS-01/16.

Як видно із рис. 5, частота обертання валу мішалки 200 об./хв. не викликає збурень МЕЖК, а його рух в стакані близький до ламінарного. При зростанні частоти обертання валу мішалки в МЕЖК

з'являється воронка, глибина якої збільшується при зростанні частоти обертання валу мішалки, і при 650 об./хв. дно воронки майже сягає лопатей мішалки.



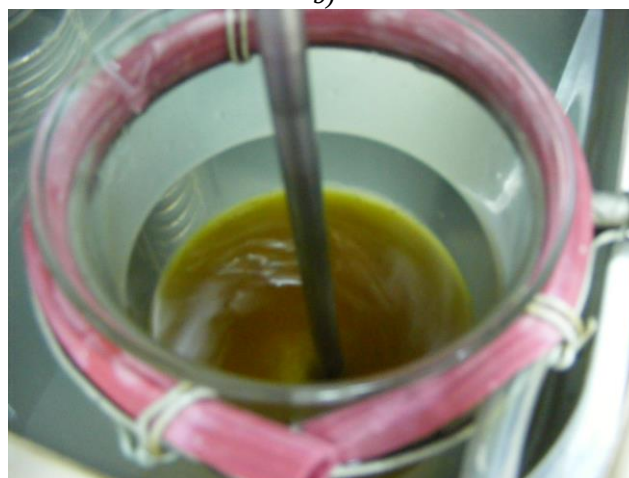
a)



b)



c)



d)

Рис. 5. Нейтралізація МЕЖК при перемішуванні з частотою обертання валу мішалки: а – 200 об./хв.; б – 350 об./хв.; с – 500 об./хв.; d – 650 об./хв.

Fig. 5. Neutralization of methyl esters of fatty acids with stirring with the frequency of rotation of the stirrer shaft: a – 200 rpm; b – 350 rpm; c – 500 rpm; d – 650 rpm.

Метилловий ефір після нейтралізації переливається в ділильні лійки (рис 6, а) або поліетиленові пляшки (рис. 6, б) і відстоюється протягом 2-3 діб (при збільшенні температури докілька час відстоювання зменшується).

Відстоювання МЕЖК в поліетиленових пляшках здійснюється у випадку, якщо кількості наявних ділильних лійок і штативів, на які вони кріпляться, не вистачає для відстоювання всіх проб.



а)



б)

Рис. 6. Відстоювання нейтралізованого біодизеля: а – в ділильних лійках; б – при переливанні в поліетиленові пляшки

Fig. 6. Defending of neutralized biodiesel: a – in separating funnels; b – in transfused into plastic bottles.

Під час відстоювання на дні пляшки чи лійки осідає соапсток – сіль (цитрат) калію, мило, утворене в результаті нейтралізації гідроксиду калію лимонною

кислотою (рис. 7), а метилловий із мутного стає прозорим.



Рис. 7. Осідання цитрату калію на дно поліетиленової пляшки.

Fig. 7. Deposition of potassium citrate on the bottom of a plastic bottle.

Освітлений метилловий ефір зливається. Зливання МЕЖК із ділильної лійки здійснюється наступним чином. Під ділильну лійку підставляється посудина, відкривається кран на ділильній лійці і з неї зливається цитрат калію. Повнота зливання цитрату калію контролюється візуально. При відсутності цитрату калію в ділильній лійці кран на ній закривається. Посудина з цитратом калію з-під ділильної лійки забирається і під неї підставляється чиста посудина. Кран на ділильній лійці відкривається і з неї зливається в посудину весь метилловий ефір.

Зливання відстояного МЕЖК із поліетиленової пляшки здійснюється через її горловину шляхом перекидання пляшки, не допускаючи при цьому

потрапляння в метилловий ефір цитрату калію, який накопився на дні пляшки.

В отриманих зразках нейтралізованого МЕЖК визначається його лужність.

Методика експериментального дослідження нейтралізації МЕЖК шляхом розпилення на нього водного розчину лимонної кислоти. Визначення впливу параметрів розпилювача на лужність біодизеля визначається на експериментальній установці, яка складається із гідравлічного насоса, сконструйованого із бака садового обприскувача, компресора "Атлант" від холодильника для підтримання заданого тиску і розпилювача "Disc and Core", встановленого в корпусі з відсікачем (рис. 8). Тиск рідини контролюється манометром (рис. 9).



Рис. 8. Експериментальна установка для визначення впливу параметрів розпилювача на лужність МЕЖК.

Fig. 8. Experimental setup to determine the effect of nebulizer parameters on the alkalinity of fatty acid methyl esters.



Рис. 9. Індикація тиску 1% водного розчину лимонної кислоти при її розпилюванні в досліджуваний зразок МЕЖК.

Fig. 9. Indication of the pressure of 1% aqueous solution of citric acid when it is sprayed into the test sample of methyl esters of fatty acids.

Вплив параметрів розпилювача на лужність МЕЖК визначається шляхом розпилювання 6 мл водного розчину 1% лимонної кислоти на 100 мл МЕЖК через відцентровий повноконусний розпилювач "Disc and Core" фірми TeeJet в складі

корпуса з одною насадкою QJ17560A-NJB, байонетного ковпачка CP 26277-1-NY, сердечника-турбулізатора DC-CER, керамічного диска з отвором DCER-2 та гумового ущільнювача CP-18999 (рис. 10).



Рис. 10. Відцентровий повноконусний розпилювач "Disc and Core" [66]: 1 – корпус з одною насадкою QJ17560A-NJB; 2 – байонетний ковпачок CP 26277-1-NY; 3 – сердечник-турбулізатор DC-CER; 4 – диск з отвором керамічний DCER-2; 5 – гумовий ущільнювач CP-18999.

Fig. 10. Centrifugal full-cone sprayer "Dis and Core" [66]: 1 – housing with one nozzle QJ17560A-NJB; 2 – bayonet cap SR 26277-1-NY; 3 – core turbulizer DC-SER; 4 – disk with a hole ceramic DCER-2; 5 – rubber seal SR-18999.

Досліджуваний зразок очищеного від метанолу МЕЖК об'ємом 300 мл наливається в лабораторний стакан місткістю 500 мл, який закріплюється на штативі, і помішається в воду, наліту в рідинний

термостат ТЖ-ТС-01/16. В досліджуваний зразок МЕЖК розпилюється 18 мл водного розчину 1% лимонної кислоти за допомогою розпилювача, закріпленого на тому ж штативі (рис. 11).



Рис. 11. Розпилення водного розчину 1% лимонної кислоти в досліджуваний зразок МЕЖК.

Fig. 11. Spraying an aqueous solution of 1% citric acid in the test sample of methyl esters of fatty acids.

Час розпилювання визначається експериментально шляхом вимірювання об'єму розпиленої рідини, яка збирається в лабораторному

стакані (рис. 12, а) протягом певного проміжку часу, що фіксується за допомогою секундоміра "Агат" (рис. 12, б).



а)



б)

Рис. 12. Експериментальне визначення часу розпилювання водного розчину 1% лимонної кислоти: а – розпилення розчину в лабораторний стакан; б – фіксація часу розпилювання.

Fig. 12. Experimental determination of the time of spraying an aqueous solution of 1% citric acid: а – spraying the solution into a laboratory beaker; б – fixing the sawing time.

Час розпилення становить 1,5 с при тиску 0,25 ат, 2 с при тиску 0,2 ат, 2,5 с при тиску 0,15 ат і 3 с при тиску 0,1 ат.

При заданому тиску протягом фіксованого часу проводиться розпилення 1% лимонної кислоти в досліджуваний зразок МЕЖК (рис. 13).

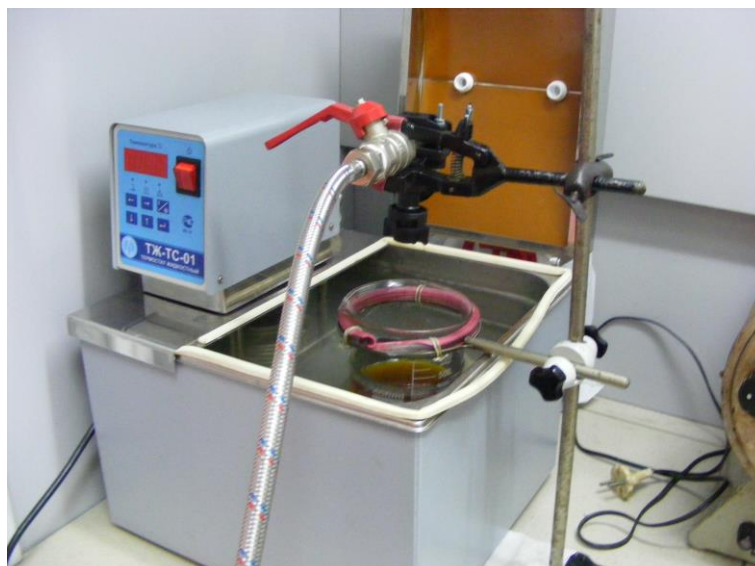


Рис. 13. Розпилення 1% лимонної кислоти в досліджуваний зразок МЕЖК для визначення впливу параметрів розпилювача на лужність МЕЖК.

Fig. 13. Spraying 1% citric acid in the test sample of methyl esters of fatty acids to determine the effect of spray parameters on the alkalinity of methyl esters of fatty acids.

Результати визначення впливу параметрів мішалки на ефективність нейтралізації МЕЖК при

його перемішуванні з розчином лимонної кислоти відображені на рис. 14.

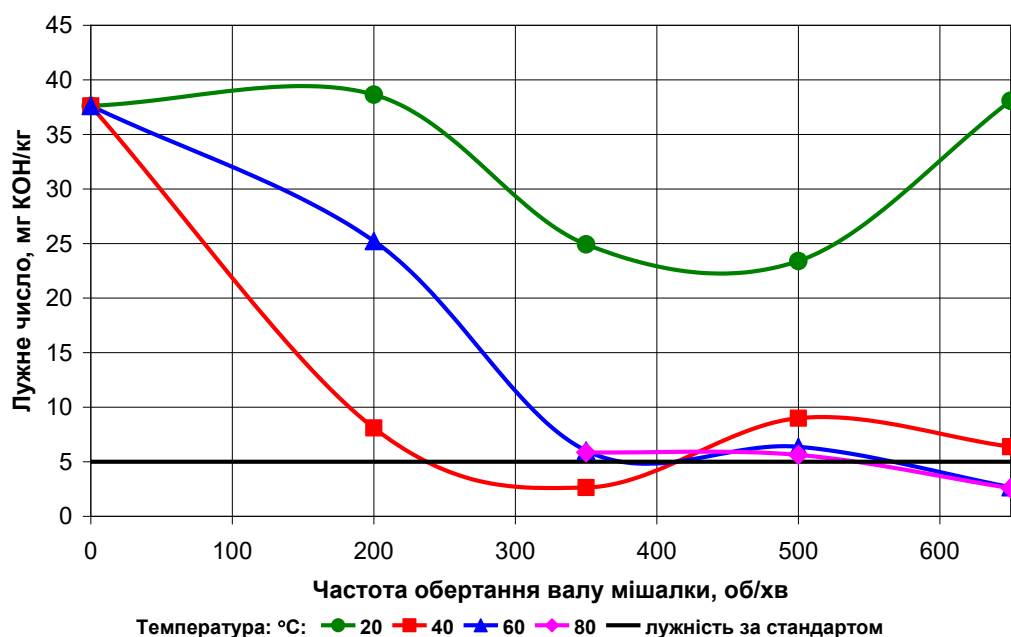


Рис. 14. Залежність лужності МЕЖК від частоти обертання мішалки при його нейтралізації.

Fig. 14. The dependence of the alkalinity of the setyl esters of fatty acids on the speed of the stirrer during its neutralization.

Початкова лужність МЕЖК становила 37,9 мг/кг. Як видно із рис. 14, зниження лужності МЕЖК спостерігається при підвищенні температури, за якої проходить процес нейтралізації. При температурі нейтралізації 20°C не вдається досягти лужності МЕЖК

нижче 5 мг/кг (згідно стандарту DIN 51606 [14]) при будь-яких значеннях частоти обертання валу мішалки.

Залежність лужності МЕЖК від частоти обертання мішалки при його нейтралізації за температури 40°C апроксимується виразом:

$$ЛЧ = -1,41 \cdot 10^{-9} \cdot n^4 + 1,37 \cdot 10^{-6} \cdot n^3 - 1,08 \cdot 10^{-4} \cdot n^2 - 0,169 \cdot n + 37,6 \quad \text{при } R^2=0,9998, \quad (1)$$

де ЛЧ – лужне число, мг КОН/кг; n – частота обертання, c^{-1} .

Коефіцієнт детермінації рівняння регресії (1),

визначений за [15, с. 13, (25)], вказує на те, що отримане рівняння регресії досить точно відображає експериментальні дані. При перевірці за критерієм

Фішера [16, с. 201, (8.52)] встановлена значимість коефіцієнту детермінації. Перевірка за критерієм Стюдента [16, с. 201, (8.55)] показала, що всі коефіцієнти рівняння регресії (1), крім коефіцієнту $1,41 \cdot 10^{-9}$, значимі. Коефіцієнт $1,41 \cdot 10^{-9}$ ненадійний, однак використання полінома 3-го порядку веде до зменшення точності апроксимації ($R^2=0,9926$).

Функція $ЛЧ=f(n)$ була досліджена на екстремум $ЛЧ \rightarrow \min$ методом дихотомії на ПК в програмі MATHCAD. Алгоритм дослідження $ЛЧ=f(n)$ на екстремум $ЛЧ \rightarrow \min$ в програмі MATHCAD наведена в додатку Т. Встановлено, що оптимальна частота обертання валу механічної мішалки при температурі нейтралізації 40°C, при якій лужне число біодизеля мінімальне (3,7 мг/кг), становить $n=323$ об./хв. Допустима раціональна частота обертання валу мішалки, при якій лужність МЕЖК стає нижче 5 мг/кг, знаходиться в межах 240-410 об./хв.

При збільшенні температури нейтралізації точка оптимізації зміщується до більших частот обертання валу мішалки. Так, при температурах 60°C і 80°C лужність біодизеля нижче 5 мг/кг спостерігається вже при частоті обертання валу мішалки 550 об./хв. При збільшенні частоти обертання валу мішалки лужність нейтралізованого біодизеля знижується. Встановити

крайню праву точку раціонального діапазону нейтралізації не є можливим, оскільки досліди з частотою обертання валу мішалки понад 650 об./хв. не проводились.

В дослідах також спостерігалось певне збільшення лужності біодизеля при частоті обертання валу мішалки 500 об./хв., що характерно для температури нейтралізації 40°C. Однак при температурі нейтралізації 60°C і 80°C лужність нейтралізованого біодизеля при частоті обертання валу мішалки 500 об./хв. близька до значення, вказаного в стандарті.

Результати експериментального дослідження нейтралізації МЕЖК шляхом розпилення на нього водного розчину лимонної кислоти наведені на рис. 15. Початкова лужність МЕЖК при досліді становила 37,9 мг/кг. Як видно із рис. 15, при збільшенні тиску в розпилювачі і зростанні температури досліджуваного зразка лужність МЕЖК знижується, однак на всьому діапазоні досліджуваних тисків і температур не опускається нижче 5 мг/кг згідно стандарту DIN 51606. Тому застосування розпилення рідини для нейтралізації МЕЖК не є ефективним.

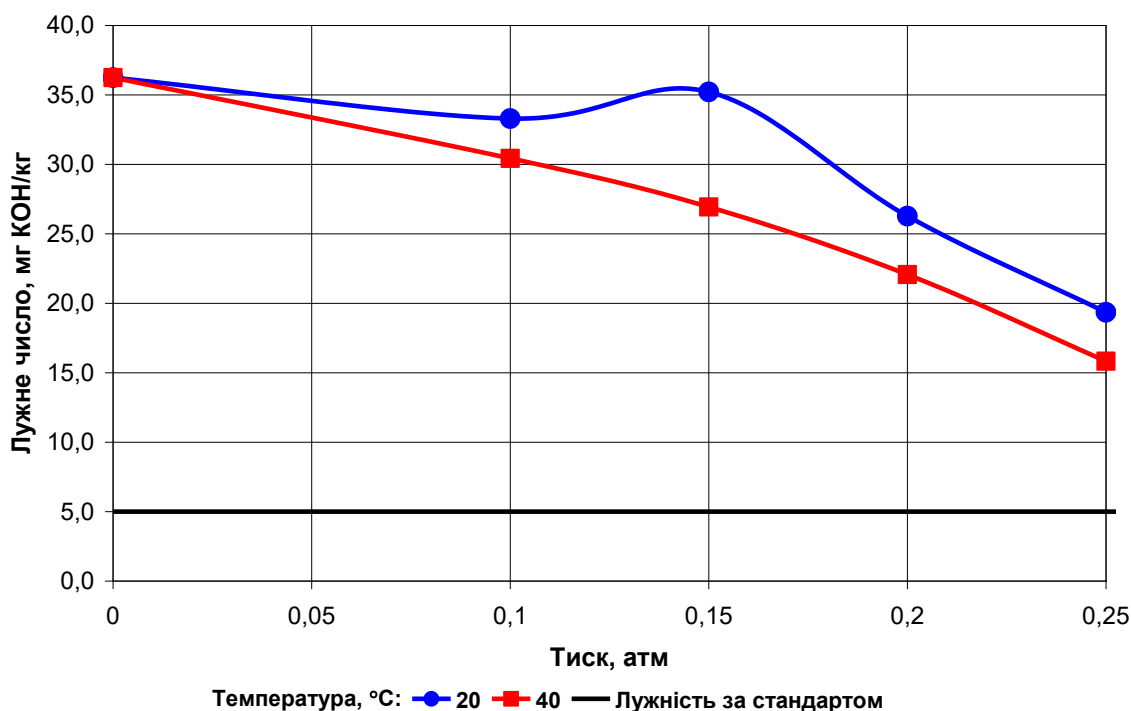


Рис. 15. Залежність лужності МЕЖК від тиску розпилювача при його нейтралізації.

Fig. 15. The dependence of the alkalinity of methyl esters of fatty acids on the pressure of the spray during its neutralization.

Висновки

1. Експериментально встановлено, що нейтралізацію біодизеля доцільно здійснювати об'ємним способом при температурі 40°C і раціональній частоті обертання валу мішалки 240-410 об./хв., при цьому оптимальна частота обертання валу мішалки становить 323 об./хв.

Список літератури

1. Atadashi I. M., Aroua M. K., AbdulAziz A. R., Sulaiman N. M. N. Refining technologies for the purification of crude biodiesel. *Applied Energy*. 2011. Vol. 88. Iss. 12. P. 4239–4251. doi: 10.1016/j.apenergy.2011.05.029.
2. Akgun N., Iscan E. Effects of process variables for biodiesel production by transesterification. *European*

Journal of Lipid Science and Technology. 2007. Vol. 109. Iss. 5. P. 486–492. doi: 10.1002/ejlt.200600210.

3. Casas A., Perez A., Ramos M. J. Catalyst removal after the chemical Interesterification of sunflower oil with methyl acetate. Organic process research & development. 2017. Vol. 21. Iss. 9. P. 1253–1258. doi: 10.1021/acs.oprd.7600108.

4. Esipovich A. L., Rogozhin A. E., Belousov A. S., Kanakov E. A., Danov S. M. A comparative study of the separation stage of rapeseed oil transesterification products obtained using various catalysts. Fuel Processing Technology. 2018. Vol. 173. P. 153–164. doi: 10.1016/j.fuproc.2018.01.023.

5. Glisic S. B., Skala D. U. Design and optimisation of purification procedure for biodiesel washing. Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly. 2009. Vol. 13, Iss. 3. P. 159–168. doi: 10.2298/CICEQ0903159G.

6. Gomes M. G., Santos D. Q., de Moraes L. C., Pasquini D. Purification of biodiesel by dry washing, employing starch and cellulose as natural adsorbents. Fuel. 2015. Vol. 155. Iss. 1–6. doi: 10.1016/j.fuel.2015.04.012.

7. Hajek M., Skopal F. Treatment of glycerol phase formed by biodiesel production. Bioresource Technology. 2010. Vol. 101. Iss. 9. P. 3242–3245. doi: 10.1016/j.biortech.2009.12.094.

8. Hajek M., Skopal F., Vavra A., Kocik J. Transesterification of rapeseed oil by butanol and separation of butyl ester. Journal of cleaner production. 2017. Vol. 155. Iss. 1. P. 28–33. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.007.

9. Karaosmanoglu F., Cigizoglu K. B., Tuter M., Ertekin S. Investigation of the refining step of biodiesel production. Energy & Fuels. 1996. Vol. 10. Iss. 4. P. 890–895. doi: 10.1021/ef9502214.

10. Sadhukhan S., Sarkar U. Production of purified glycerol using sequential desalination and extraction of crude glycerol obtained during trans-esterification of Crotalaria juncea oil. Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 108. P. 450–458. doi: 10.1016/j.enconman.2016.03.088.

11. Sandhya K. V., Abinandan S., Vedaraman N., Velappan K. C. Extraction of fleshing oil from waste limed fleshings and biodiesel production. Waste Management. 2016. Vol. 48. P. 638–643. doi: 10.1016/j.wasman.2015.09.033.

12. Vavra A., Hajek M., Skopal F. The removal of free fatty acids from methyl ester. Renewable energy. 2017. Vol. 103. P. 695–700. doi: 10.1016/j.renene.2016.10.084.

13. ГОСТ 11362-96. Нефтепродукты и смазочные материалы. Число нейтрализации. Метод потенциометрического титрования. Действителен от 01.07.1997. М.: Стандартинформ, 1996. 18.

14. DIN V 51606-1994. Liquid fuels; diesel fuel of vegetable oil methylester (PME); requirements. Publication Date 01.06.1994. Berlin, Germany: German Institute for Standardization, 1994. 3 p.

15. Карп Д. Б. Эконометрика: основные формулы с комментариями: учебно-методическое пособие. Владивосток: Изд-во ДВГАЭУ. 2004. 50 с.

16. Ферстер Э., Ренц Б. Методы

корреляционного и регрессионного анализа: рук. для экономистов. Пер. с нем. В. М. Ивановой. М.: Финансы и статистика, 1983. 302 с.

17. Romaniuk W., Polishchuk V., Marczuk A., Titova L., Rogovskii I., Borek K. Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering (wir.ptir.org). Krakow. Poland. 2018. Vol. 22. №1. P. 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.

18. Rogovskii I. L., Polishchuk V. M., Titova L. L., Sivak I. M., Vyhovskyi A. Yu., Drahnev S. V., Voinash S. A. Study of biogas during fermentation of cattle manure using a stimulating additive in form of vegetable oil sediment. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020. Vol. 15. Issue 22 (20th November). P. 2652–2663.

References

1. Atadashi I. M., Aroua M. K., Abdul Aziz A. R., Sulaiman N. M. N. (2011). Refining technologies for the purification of crude biodiesel. Applied Energy. 88(12). 4239–4251. doi: 10.1016/j.apenergy.2011.05.029.

2. Akgun, N., Iscan, E. (2007). Effects of process variables for biodiesel production by transesterification. European Journal of Lipid Science and Technology. 109(5). 486–492. doi: 10.1002/ejlt.200600210.

3. Casas A., Perez A., Ramos M. J. (2017). Catalyst removal after the chemical interesterification of sunflower oil with methyl acetate. Organic process research & development. 21(9). 1253–1258. doi: 10.1021/acs.oprd.7600108.

4. Esipovich A. L., Rogozhin A. E., Belousov A. S., Kanakov E. A., Danov S. M. (2018). A comparative study of the separation stage of rapeseed oil transesterification products obtained using various catalysts. International Conference on Coal Science and Technology (ICCS and T) / Australia-China Symposium on Energy (ACSE), Sep. 25–29, 2017, Beijing, China. Fuel Processing Technology. 173. 153–164. doi: 10.1016/j.fuproc.2018.01.023.

5. Glisic S. B., Skala D. U. (2009). Design and optimization of purification procedure for biodiesel washing. Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly. 13(3). 159–168. doi: 10.2298/CICEQ0903159G.

6. Gomes M. G., Santos D. Q., de Moraes L. C., Pasquini D. (2015). Purification of biodiesel by dry washing, employing starch and cellulose as natural adsorbents. Fuel. 155. 1–6. doi: 10.1016/j.fuel.2015.04.012.

7. Hajek M., Skopal F. (2010). Treatment of glycerol phase formed by biodiesel production. Bioresource Technology. 101(9). 3242–3245. doi: 10.1016/j.biortech.2009.12.094.

8. Hajek M., Skopal F., Vavra A., Kocik J. (2017). Transesterification of rapeseed oil by butanol and separation of butyl ester. Journal of cleaner production. 155(1). 28–33. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.007.

9. Karaosmanoglu F., Cigizoglu K. B., Tuter M., Ertekin S. (1996). Investigation of the refining step of biodiesel production. Energy & Fuels. 10(4). 890–895.

doi: 10.1021/ef9502214.

10. *Sadhukhan S., Sarkar U.* (2016). Production of purified glycerol using sequential desalination and extraction of crude glycerol obtained during transesterification of *Crotalaria juncea* oil. *Energy Conversion and Management*. 118. 450-458. 10.1016/j.enconman.2016.03.088.

11. *Sandhya K. V., Abinandan S., Vedaraman N., Velappan K. C.* (2016). Extraction of fleshing oil from waste limed fleshings and biodiesel production. *Waste Management*. 48. 638-643. doi: 10.1016/j.wasman.2015.09.033.

12. *Vavra A., Hajek M., Skopal F.* (2017). The removal of free fatty acids from methyl ester. *Renewable energy*. 103. 695-700. 10.1016/j.renene.2016.10.084.

13. Petroleum products and lubricants. The neutralization number. Method of potentiometric titration. (1996). GOST 11362-96 from 1d July 1997. Moscow: Standartinform.

14. Liquid fuels; diesel fuel of vegetable oil methylester (PME). (1994). DIN V 51606-1994. from 1d July 1994. Berlin, Germany: German Institute for Standardization. 3.

15. *Karp D. B.* (2004). *Econometrics*. Vladivostok: DVGAV. 50.

16. *Förster E., Rönz B.* (1979). *Methoden der Korrelations und Regressionsanalyse*. Berlin: Verlag die Wirtschaft. 302.

17. *Romaniuk W., Polishchuk V., Marczuk A., Titova L., Rogovskii I., Borek K.* (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering (wir.ptir.org)*. Krakow. Poland. 22(1). 105-125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.

18. *Rogovskii I. L., Polishchuk V. M., Titova L. L., Sivak I. M., Vyhovskiy A. Yu., Drahnev S. V., Voinash S. A.* (2020). Study of biogas during fermentation of cattle manure using a stimulating additive in form of vegetable oil sediment. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 15(22). 2652-2663.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ БИОДИЗЕЛЯ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ

В. Н. Полищук, Д. А. Деревянко, С. Е. Тарасенко, Е. А. Антипов

Аннотация. Производство метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК), которые еще называют биодизелем, по традиционной технологии происходит при наличии щелочного гомогенного катализатора, который не вступает в реакцию, а только ее ускоряет, оставаясь в изготовленном МЭЖК и вызывая коррозию двигателя. Очистке МЭЖК от гомогенного катализатора должна предшествовать его нейтрализация. Для этого используется водный раствор неорганических (соляная, серная, фосфорная и др.) и органических (уксусная, лимонная) кислот. Целью исследования является определение оптимальных и рациональных параметров нейтрализации МЭЖК. Исследование эффективности нейтрализации МЭЖК проводилось путем его

перемешивания с водным раствором лимонной кислоты (объемный способ) и путем распыления водного раствора лимонной кислоты над слоем МЭЖК (аэрозольный способ). Исследование влияния параметров мешалки на щелочность МЭЖК, что подвергается нейтрализации, проводилось при температурах 20°C, 40°C, 60°C и 80°C и частотах вращения вала мешалки 200, 350, 500 и 650 об./мин. Время перемешивания составляло 5 мин. Исследование влияния параметров распылителя на щелочность МЭЖК проводилось путем распыления 6 мл 1% водного раствора лимонной кислоты на 100 мл МЭЖК через центробежный полноконусный распылитель "Disc and Core". Время распыления составляло 1,5-3 с при давлении 0,15-0,25 ат. Экспериментально установлено, что нейтрализацию биодизеля целесообразно осуществлять объемным способом при температуре 40°C и рациональной частоте вращения вала мешалки 240-410 об./мин., при этом оптимальная частота вращения вала мешалки составляет 323 об./мин.

Ключевые слова: биодизель, метиловый эфир жирных кислот, МЭЖК, очистка, нейтрализация, объемный способ, аэрозольный способ, кислота, соли кислот.

STUDY OF METHODS FOR NEUTRALIZING BIODIESEL WITH AQUEOUS SOLUTION OF CITRIC ACID

V. M. Polishchuk, D. A. Derevianko, S. Ye. Tarasenko, Ye. O. Antypov

Abstract. The production of methyl esters of fatty acids, also called biodiesel, by traditional technology occurs in the presence of an alkaline homogeneous catalyst, which does not react, but only accelerates it, remaining in the manufactured methyl ester of fatty acids and causing engine corrosion. Purification of methyl esters of fatty acids from a homogeneous catalyst must be preceded by its neutralization. An aqueous solution of inorganic (hydrochloric, sulfuric, phosphoric, etc.) and organic (acetic, citric) acids is used for this purpose. The aim of the study is to determine the establishment of optimal and rational parameters for the neutralization of methyl esters of fatty acids. Studies of the effectiveness of neutralization of methyl esters of fatty acids were performed by mixing it with an aqueous solution of citric acid (volumetric method) and by spraying an aqueous solution of citric acid over a layer of methyl ester of fatty acids (aerosol method). Investigations of the influence of the stirrer parameters on the alkalinity of the neutralized methyl ester of fatty acids were performed at temperatures of 20°C, 40°C, 60°C and 80°C and stirrer shaft speeds of 200, 350, 500 and 650 rpm. The stirring time was 5 minutes. The study of the effect of nebulizer parameters on the alkalinity of fatty acid methyl ester was performed by spraying 6 ml of an aqueous solution of 1% citric acid per 100 ml of fatty acid methyl ester through a centrifugal full-cone spray "Dis and Core". The spraying time was 1.5-3 s at a pressure of 0.15-0.25 at. It is experimentally established that the neutralization of biodiesel should be carried out in a three-dimensional way at a temperature of 40°C and a rational speed of the stirrer

shaft 240-410 rpm/min., While the optimal speed of the stirrer shaft is 323 rpm/min.

Key words: biodiesel, fatty acid methyl ester, FAME, purification, neutralization, volumetric method, aerosol method, acid, acid salts.

В. М. Поліщук ORCID 0000-0002-9654-9051.

Д. А. Дерев'янка ORCID 0000-0001-8487-2153.

С. Є. Тарасенко ORCID 0000-0002-4829-0559.

Є. О. Антипов ORCID 0000-0003-0509-4109.

УДК 378.147.88–057.87

QUALITY IMPROVEMENT OF PRACTICAL TRAINING ON THE SUBJECT "THE ROAD TRAFFIC REGULATIONS"

I. O. Kolosok

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

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

Corresponding author: kolosoc@online.ua.

Article history: Received – January 2021, Accepted – June 2021, Published – 30 July 2021.

Bibl. 10, fig. 2, tabl. 0.

Abstract. In recent decades, the world has seen a rapid increase in the number of vehicles and an increase in traffic, which leads to an increase in the number of road accidents and their negative consequences. For example, according to the World Health Organization (WHO), road traffic injuries are one of the biggest health problems today. Road accidents are projected to be one of the top five causes of death in the world in 2030. In Ukraine, the level of deaths and injuries due to road accidents is one of the highest in Europe, and the level of road safety remains extremely low, as repeatedly pointed out in their reports by experts from the WHO, the World Bank and other international institutions. More than 26 % of those killed and 15 % injured in road accidents in 2019 are pedestrians (1,414 people died and 8,455 people were injured). In 2019 alone, 329 children under the age of 18 died on the roads of Ukraine and 7,906 children were injured. Accidents in Ukraine are the first most common cause of death for young people aged 15 to 24 and the second most common cause of death for children aged 5 to 14. Thus, in 2019, compared to 2018, the number of road accidents increased by 7 %, as well as the number of dead and injured persons by 4.2 % and 6.3 %, respectively. Ukraine is also one of the leaders among EU countries in terms of specific indicators of accidents and consequences of road accidents. Thus on average in the EU member states (according to 2017 data) there are 5 fatalities in road accidents per 100 thousand populations, while in Ukraine this figure is (according to 2017 data) 12.5 people, respectively, which is more than the European average. 150 %. It is also important to note that in the absence of quality data collection on injuries and deaths due to road accidents, these indicators may not reflect the present figures. A significant number of road accidents that occurred in Ukraine during 2017-2019, as well as people injured in them, affect the economy and health care of Ukraine.

Studies conducted by many countries establish a general rule that every death costs about 70 gross domestic products per person, and every serious injury to a person amounts to about 17 gross domestic products per person. If we apply this rule to the indicators given above, it becomes clear that the cost estimate of socio-economic losses of Ukraine (excluding material costs associated with property damage and reduced productivity) from these accidents

and their consequences in 2019 alone is about 4.79 billion US dollars (3.18 % of Ukraine's gross domestic product).

The main reasons for this situation are the insufficient level of road safety; improper maintenance of vehicles; low level of discipline of road users; inconsistency of the state of the road network with the level of traffic intensity; insufficient introduction of the latest technologies and technical means of traffic organization; low level of training of future drivers. The article considers the problems of the educational process related to improving the quality of practical training of students in the discipline "Traffic Rules" and suggests effective ways to solve them by differentiating approaches to managing the cognitive activity of students.

Key words: cognitive activity, exercises, emotional sphere of thinking, figurative sphere of thinking, motive, perception, practical tasks, the conceptual and logical sphere of thinking.

Introduction

Teaching the subject "The Road Traffic Regulations" at the engineering faculties of agricultural universities requires a special attitude from the teacher to the student audience.

This feature is to take into account the unequal readiness of students to perceive the material to be mastered. Some students know the rules of the road well, as they have received training in driver training courses and have experience in their use both while driving and as a pedestrian.

Formulation of problem

This is one of the most important factors that help the student during his studies. Some students have a fairly rough idea of the rules and use the knowledge gained before entering the university on traffic rules, which apply only to pedestrians.

The experience of teaching the discipline "The Road Traffic Regulations", gained in the process of theoretical and practical training, taking into account the listed

objective circumstances, gives grounds to apply an individual approach to students during their studies.

Analysis of recent research results

Solving the problem of improving the quality of professional training of highly qualified specialists in connection with the scientific developments of such well-known scientists as S. Arkhangelsky, S. Batisheva, A Djomyna, B. Yesipova, S. Zinovieva, O. Kondratiuka, G. Kostyuk, Y. Myleriana, S. Rubinstein, N. Talizina, D. Thorzhevsky, S. Shaporinsky and others. Solving topical issues of practical training of students in universities were engaged in I.Y. Blozva, A. Bugerko, D. Voitiuk, V. Gaponenko, A. Gumeniuk, A. Djomyn, G. Zhyvolup, V. Krasynikov, P. Laush, P. Luzan, I. Palamar, V. Ryabets, D. Smetanin, P. Yaroshenko, L. Yaroshenko and others.

Purpose of research

Determining the characteristics of the method of practical training of students during their study of the subject "The Road Traffic Regulations" and its improvement, considering the special of students' perception of the starting material.

Research results

In order to get a clearer idea of the peculiarity of students' perception of the subject "The Road Traffic Regulations" according to the level of previously acquired knowledge of the rules, we divided the second-year students in field of study "Transport Technologies" in National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, where observations were conducted, into three subgroups:

- 1) students who are partially known with certain provisions of road traffic regulations and have to experience in their use as a pedestrian;
- 2) students who before studying at the university had the opportunity to study road traffic regulations in driver courses, but they have no experience of their use as a driver of a vehicle, only as a pedestrian.
- 3) students who before studying at the university had the opportunity to study road traffic regulations in driver training courses, have the appropriate driver's license and have experience in applying the rules as road user.

Students of the third subgroup who studied at driver training courses and received the appropriate certificate have an advantage when studying according to the level of previously acquired knowledge. Students of the third subgroup who studied at driver training courses and received the appropriate certificate have an advantage when studying according to the level of previously acquired knowledge. It is so much easier to work with such students, because they have basic knowledge, are fluent in answering the terms of traffic rules and, of

course, have no difficulty in passing a test or exam in the discipline.

Difficulties in studying the discipline arise in students of the first two subgroups. These difficulties in each subgroup differ like the manifestation.

Students in the first subgroup, who are partially familiar with certain provisions of the traffic rules and have experience in their application only as a pedestrian, make up about 60%, in some cases up to 70% of the total number on the course. These students are familiar with traffic rules in preparation for school or because of their curiosity. Difficulties used in the early stages of learning by students in this subgroup are related to the lack or absence of experience in perceiving information about the rules. To avoid difficulties in cognitive activity, this is due to the student's insufficient level of prior training.

The level of preliminary preparation of students for the conscious study of the material is determined mainly by personal experience. The level of preliminary preparation of students for the conscious study of the material is determined mainly by personal experience. And experience in cognitive activity is characterized by certain knowledge, skills and abilities that are needed for the formation of new knowledge and skills [3].

According to scientists, the level of preparation of students for the conscious acquisition of knowledge is determined by the presence of such necessary basic concepts, cognitive changes and navigation and memory readiness during their implementation. It should be noted the scientific developments of S. Arkhangelsky, V. Vergasov, A. Demin, I. Lerner, M. Skatkin, V. Slastyonin, T. Shamova, G. Schukina in which scientists considered certain cognitive skills that contribute to the acquisition of new educational information. The objection of special scientific research to identify the necessary cognitive values and skills that students have to master the knowledge of traffic rules in the process of practical training were almost not conducted. Thus, the task of our study is to identify the necessary cognitive values and skills that must be formed in students for their conscious mastery of educational information.

In our opinion, the use of cognitive names is a necessary condition for successful mastering by students of knowledge of the rules [1-10]:

1. The presence of skills to perceive flat educational drawings in the form of spatial images of sections of roads and intersections.

To develop students' ability to perceive flat educational drawings in the form of spatial images of road sections and intersections, it is advisable to use the techniques of comparing drawings on educational posters, textbooks and test tasks in tickets with specific sections of roads and intersections on street roads at the initial period of studying traffic rules. settlement network (fig. 1).

To this end, we offer students exercises through conversation:

- the poster shows a drawing of a section of road that has two lanes for traffic in one direction; give an example of such a section of road that is located in our neighbourhood;
- draw on the board a section of the road that you named and show in the picture its main elements;

- arrange the vehicles in the picture as shown on the poster.

2. The presence of skills to imagine the trajectories of vehicles on posters and drawings in test tasks in exam tickets.



Fig. 1. Skills formation.

We offer students to develop the ability to imagine the trajectories of vehicles in the pictures in the test tasks in tickets and fees by performing practical exercises in business during use using models. The models in the practical classes are special boards, which depict parts of roads and cars are fixed with the help of magnets.

For example, when students study the content of traffic rules in the section "Start of traffic and change its direction", students perform the following tasks:

- place vehicles moving in adjacent lanes in one direction on the carriageway of a four-lane road as shown on the poster;
- demonstrate the trajectory of vehicles in the case of adjustment one of them to an adjacent lane, which moves another vehicle as shown on the poster;
- demonstrate, without using a poster, the trajectories of vehicles in the case of their simultaneous adjustment.

During the interview, we correct the students' answers and, if necessary, give additional explanations using the training manuals (fig. 2).



Fig. 2. Conversation with a student.

Completely different difficulties are found in students of the second subgroup who have knowledge gained in driver training courses. In the process of perceiving the knowledge, they differ significantly from the

representatives of the first subgroup, because they have already studied the rules of the road and are relatively easy to navigate in the training material.

However, the behaviour of students of the second subgroup differs significantly from the rest in practical classes, they inattentively listen to the teacher, are distracted, sometimes interfere with others to perceive educational information. There are difficulties in the defence of reports on practical work when the student's answer to the questions posed by the teacher contains many blunders. Thus, learning difficulties that arise in students of the second subgroup are based on their own misconceptions about the level of their knowledge and skills, unwillingness to work with the group in class, use textbooks and reference books. To direct the cognitive activity of such students to the active assimilation of the necessary educational information, the teacher must timely restore the driving force of the learning process. To do this, we create a situation that will allow the student to discover the true level of their knowledge. It is implemented during the teacher's conversation with students or during the performance of a set of practical tasks, which will allow without the intervention of the teacher to assess the level of their knowledge. Practical tasks, for example, when studying the topic "Traffic regulation. Forbidden signs" are given as follows:

- give the exact name of the road sign on which the sign points;
- name the conditions of use of this road sign;
- provide a list of vehicles that do not enhance the effect of this road sign;
- give an example of the use of this sign in real road conditions;
- give the correct answer to the test questions.

Consider some aspects that affect the cognitive activity of students of these subgroups in practical classes. It is known that any human activity is not only characterized by the presence of meaningful goals but also motivated. The purpose of the activity is what it is aimed at and what should be its direct result. The reason is what determines a person's desire to do so, and not any other goal. This term refers to the motivating reasons that determine the purposeful activities of people. For students of these subgroups, the motivating reasons or motives for learning is the need to learn something new. But the question arises: why this need for students of the first and third subgroups causes motivation to acquire knowledge and for students of the second subgroup this motivation is lost?

As a result of satisfaction or dissatisfaction of human needs, certain emotions arise. Psychologists claim that in cognitive terms a person has three main areas of mental activity:

- conceptual and logical;
- figurative;
- emotional [9].

The conceptual and logical sphere of thinking allows the student to perceive and understand patterns, laws, concrete and abstract concepts that reflect existing processes, phenomena, objects and other objects being studied.

Due to this positive property of the conceptual and logical sphere of thinking, it is based on the main

subjective loads in learning. In order for a student to be able to perfectly understand the educational material and master the knowledge well, the appropriate time of mental work of his conceptual and logical sphere is required. There are three interrelated stages in the work of this field of thinking in the process of acquiring knowledge. The first stage is the formation of the foundations of concepts, their initial understanding and memorization, which requires repeated repetition of educational information. The second stage - a comprehensive reproduction and understanding of the basics of concepts, their addition to new information and the formation of skills to relate these concepts with knowledge of new information. The third stage is the emergence of new problems, hypotheses and the search for solutions. This is the stage of the creative application of knowledge. Figurative thinking is based on direct and indirect sensory perception of information about phenomena, processes, objects. The emotional area of thinking alone does not do the job of understanding information. However, it can significantly affect the activities of both areas of thinking. The emotional area of thinking alone does not do the job of understanding information. However, it can significantly affect the activities of both areas of thinking. Therefore, the emotional sphere in the learning process is not used as an independent cognitive force.

Consider students from another subgroup to determine the motives for learning. But the impression of the new has passed. The student has already studied the content of the rules and applied some provisions on practice. That is why the needed to learn something new does not cause motives for learning, this need is met. The experience of dissatisfaction with the need at the level of the emotional sphere of thinking has already passed and therefore the motivation, the desire for action aimed at the subject of study does not arise. In addition, the emotional sphere of thinking does not tolerate repetition. During the teaching of partly material, which is partially familiar to students of the second subgroup, the emotional sphere comes into play and causes inhibitory processes in the cognitive activity of students, emotions are disconnected from the work of conceptual-logical and figurative sphere of thinking. To offset the negative effects of the emotional sphere and connect students to cognitive activities, we have proposed practical tasks that destroy students' attitude about the level of their knowledge. Practical tasks open those aspects of the object of knowledge that are still unknown to the student and thus restore the motivation to learn something new.

For students of the first subgroup, the need to learn something new remained. The experience of dissatisfaction with the need includes motivation, the desire to act to master the object of knowledge. The emotional sphere of thinking of students of this subgroup connects to cognitive activity the conceptual-logical and figurative sphere of thinking. For a student to be able to perfectly understand the educational material and master the knowledge well, the appropriate time of mental work of his conceptual and logical sphere of thinking is required. At the first stage of the conceptual and logical sphere, students passively perceive the educational material - they listen to a lecture or explanation of the teacher in practical classes, work with a textbook, manual. But passive repetition doesn't allow to

give knowledge active properties. Passive repetition is necessarily replaced by active repetition when the student reproduces his knowledge during oral answers. Exercises in the form of practical tasks are an active repetition, which allows the student to reproduce and systematize knowledge, to fix them in memory, to show the ability to apply theoretical knowledge to practical actions.

Students of the third subgroup, the best prepared for the perception of educational information in the discipline "The Road Traffic Regulations", knowledge formed at the first stage of the conceptual and logical sphere of thinking. The advantage in the level of knowledge formation over the representatives of the first and second subgroups is manifested in a fairly rapid transition of the conceptual and logical sphere of thinking from the first to the second stage, the stage of productive reproduction and application of knowledge in different conditions. The quantities and content of educational information in practical classes arouse interest associated with the restoration of motivation for cognition, there is an experience of need, or rather the experience of its dissatisfaction. The experience of dissatisfaction with the need connects the emotional sphere of thinking, which in turn has a positive effect on the conceptual-logical and figurative spheres, encouraging them to active cognitive work. The experience of dissatisfaction with the need connects the emotional sphere of thinking, which in turn has a positive effect on the conceptual-logical and figurative spheres, encouraging them to active cognitive work.

Conclusions

1. The rules and practical tasks that we propose to apply during the practical classes are intended to stimulate the cognitive activity of students during the study of the discipline "The Road Traffic Regulations".

2. Rules and practical tasks are a means of activating students' cognitive activity and compiling an integral part of the main methodological complex, which directs students in mastering educational technical information, which determines the attention of certain parts of students at low levels of previously acquired knowledge, which stimulates their active learning.

References

1. Monios J., Lambert B. (2013). The heartland intermodal corridor: public private partnerships and the transformation of institutional settings. *Journal of Transport Geography*. 27. 36-45.
2. Neirotti P., De Marco A., Cagliano A., Mangano G., Scorrano F. (2014). Current trends in Smart City initiatives: some stylised facts. *Cities*. 38. 25-36.
3. Raimbault N. (2019). From regional planning to port regionalization and urban logistics. The inland port and the governance of logistics development in the Paris region. *Journal of Transport Geography*. 78. 205-213.
4. Rauch E., Dallasega P., Matt D. (2016). Sustainable production in emerging markets through Distributed Manufacturing Systems (DMS). *Journal of Cleaner Production*. 135. 127-138.

5. Schliwa G., Armitage R., Aziz S., Evans J., Rhoades J. (2015). Sustainable city logistics – making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*. 15. 50-57.

6. Sumets O. M. (2014). Factors of logistics development at the present stage of market transformations. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*. 779. 106-112.

7. Tijan E., Aksentijevic S., Ivanić K., Jardas M. (2019). Blockchain technology implementation in logistics. *Sustainability*. 11. 1-13.

8. Ye F., Zhao X., Prahinski C., Li Y. (2013). The impact of institutional pressures, top managers' posture and reverse logistics on performance – evidence from China. *International Journal of Production Economics*. 143(1). 132-143.

9. Zagurskiy O., Ohiienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. (2020). Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 162.

10. Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T. (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. 199-213.

Список літератури

1. Monios J., Lambert B. The heartland intermodal corridor: public private partnerships and the transformation of institutional settings. *Journal of Transport Geography*. 2013. Vol. 27. P. 36-45.

2. Neirotti P., De Marco A., Cagliano A., Mangano G., Scorrano F. Current trends in Smart City initiatives: some stylised facts. *Cities*. 2014. Vol. 38. P. 25-36.

3. Raimbault N. From regional planning to port regionalization and urban logistics. The inland port and the governance of logistics development in the Paris region. *Journal of Transport Geography*. 2019. Vol. 78. P. 205-213.

4. Rauch E., Dallasega P., Matt D. Sustainable production in emerging markets through Distributed Manufacturing Systems (DMS). *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 135. P. 127-138.

5. Schliwa G., Armitage R., Aziz S., Evans J., Rhoades J. Sustainable city logistics – making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*. 2015. Vol. 15. P. 50-57.

6. Sumets O. M. Factors of logistics development at the present stage of market transformations. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*. 2014. Vol. 779. P. 106-112.

7. Tijan E., Aksentijevic S., Ivanić K., Jardas M. Blockchain technology implementation in logistics. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. P. 1-13.

8. Ye F., Zhao X., Prahinski C., Li Y. The impact of institutional pressures, top managers' posture and reverse logistics on performance – evidence from China.

International Journal of Production Economics. 2013. Vol. 143. Issue 1. P. 132-143.

9. Zagurskiy O., Ohiienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 162 p.

10. Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T. «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. P. 199-213.

ПОВИШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ “ПРАВИЛА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ”

И. А. Колосок

Аннотация. В течение последних десятилетий в мире наблюдается стремительное увеличение количества транспортных средств и повышения интенсивности дорожного движения, что приводит к увеличению количества дорожно-транспортных происшествий и их негативных последствий. Так, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), дорожно-транспортный травматизм на сегодня является одной из самых больших проблем здравоохранения. По прогнозам, в 2030 году дорожно-транспортные происшествия могут стать одной из основных пяти причин смертности людей в мире. В Украине уровень смертности и травматизма в результате дорожно-транспортных происшествий является одним из самых высоких в Европе, а уровень организации безопасности дорожного движения остается крайне низким, о чем в своих отчетах неоднократно подчеркивали эксперты ВОЗ, Всемирного банка и других международных институтов. Более 26 % процентов погибших и 15 % травмированных в ДТП в 2019 году - это пешеходы (1414 человек погибли и 8455 травмированы). Только за 2019 на дорогах Украины погибло 329 детей в возрасте до 18 лет и 7906 детей травмированы. ДТП в Украине является первой по распространенности причиной смерти молодежи в возрасте от 15 до 24 лет и второй по распространенности причиной смерти детей в возрасте от 5 до 14 лет. Итак, в 2019 году по сравнению с 2018 годом зафиксировано увеличение количества ДТП на 7 %, а также погибших и травмированных в них лиц на 4,2 % и 6,3 % соответственно. По удельным показателям аварийности и последствий ДТП Украина также является одним из лидеров среди стран ЕС. Так, в среднем в странах - членах ЕС (по данным 2017 года) на 100 тыс. населения приходится 5 погибших в ДТП, тогда как в Украине такой показатель составляет (по данным 2017 года) соответственно 12,5 человек, что больше среднеевропейского показателя на 150 %. Важно также учесть, что при отсутствии качественного сбора данных о травмированных и погибших в результате ДТП указанные показатели могут не отражать реальные цифры. Значительное

количество ДТП, которые произошли в Украине на протяжении 2017-2019 годов, а также пострадавших в них людей, влияют на экономику и сферу здравоохранения Украины.

Исследования, проведенные многими странами, определяют общее правило, согласно которому каждая смерть одного человека стоит около 70 валовых внутренних продуктов на одного человека, а каждое серьезное травмирование человека составляет примерно 17 валовых внутренних продуктов на одного человека. Если применять это правило к показателям, приведенным выше, становится понятно, что стоимостная оценка социально-экономических потерь Украины (без учета материальных расходов, связанных с повреждением имущества и снижением производительности труда) от этих ДТП и их последствий только за 2019 составляет около 4,79 млрд. долларов США (3,18% валового внутреннего продукта Украины).

Основными причинами такого положения является недостаточный уровень обеспечения безопасности дорожного движения; ненадлежащее обеспечение технического обслуживания транспортных средств; низкий уровень дисциплины участников дорожного движения; несоответствие состояния улично-дорожной сети уровню интенсивности транспортного движения; недостаточность внедрения новейших технологий и технических средств организации дорожного движения; невысокий уровень подготовки будущих водителей. В статье рассматриваются проблемы учебного процесса, связанные с повышением качества практической подготовки студентов по дисциплине "Правила дорожного движения" и предложены действующие пути их решения за счет дифференциации подходов в управлении познавательной деятельностью студентов.

Ключевые слова: восприятие, мотив, понятийно-логическая сфера мышления, практические занятия, образная сфера мышления, познавательная деятельность, упражнения, эмоциональная сфера мышления.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ З ДИСЦИПЛІНИ "ПРАВИЛА ДОРОЖНЬОГО РУХУ"

І. О. Колосок

Анотація. Протягом останніх десятиліть у світі спостерігається стрімке збільшення кількості транспортних засобів та підвищення інтенсивності дорожнього руху, що призводить до збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод та їх негативних наслідків. Так, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), дорожньо-транспортний травматизм на сьогодні є однією з найбільших проблем охорони здоров'я. За прогнозами, у 2030 році дорожньо-транспортні пригоди можуть стати однією з основних п'яти причин смертності людей у світі. В Україні рівень смертності та травматизму внаслідок дорожньо-транспортних пригод є одним з найвищих в Європі, а рівень організації безпеки дорожнього руху залишається

вкрай низьким, про що у своїх звітах неодноразово наголошували експерти ВООЗ, Світового банку та інших міжнародних інституцій. Понад 26% відсотків загинувших та 15% травмованих у ДТП у 2019 році - це пішоходи (1 414 осіб загинуло та 8 455 осіб травмовано). Тільки за 2019 рік на дорогах України загинуло 329 дітей віком до 18 років та 7 906 дітей травмовано. ДТП в Україні є першою за поширеністю причиною смерті молоді віком від 15 до 24 років та другою за поширеністю причиною смерті дітей віком від 5 до 14 років. Отже, у 2019 році порівняно з 2018 роком зафіксовано збільшення кількості ДТП на 7%, а також загинувших і травмованих у них осіб на 4,2% та 6,3% відповідно. За питомими показниками аварійності та наслідків ДТП Україна також є одним з лідерів серед країн ЄС. Так, у середньому в країнах - членах ЄС (за даними 2017 року) на 100 тис. населення припадає 5 загинувших у ДТП, тоді як в Україні такий показник становить (за даними 2017 року) відповідно 12,5 осіб, що більше середньоевропейського показника на 150%. Важливо також врахувати, що за відсутності якісного збору даних щодо травмованих і загинувших унаслідок ДТП зазначені показники можуть не відображати реальні цифри. Значна кількість ДТП, які сталися в Україні протягом 2017 - 2019 років, а також постраждалих у них людей, впливають на економіку та сферу охорони здоров'я України.

Дослідження, проведені багатьма країнами, визначають загальне правило, згідно з яким кожна смерть однієї особи коштує близько 70 валових внутрішніх продуктів на одну особу, а кожне серйозне травмування людини становить приблизно 17 валових внутрішніх продуктів на одну особу. Якщо застосовувати це правило до показників, наведених вище, стає зрозуміло, що вартісна оцінка соціально-економічних втрат України (без урахування матеріальних витрат, пов'язаних з пошкодженням майна та зниженням продуктивності праці) від цих ДТП та їх наслідків тільки за 2019 рік становить близько 4,79 млрд. доларів США (3,18 % валового внутрішнього продукту України).

Основними причинами такого стану є недостатній рівень забезпечення безпеки дорожнього руху; ненадлежащее забезпечення технічного обслуговування транспортних засобів; низький рівень дисципліни учасників дорожнього руху; невідповідність стану вулично-дорожньої мережі рівню інтенсивності транспортного руху; недостатність впровадження новітніх технологій і технічних засобів організації дорожнього руху; невысокий рівень підготовки майбутніх водіїв. В статті розглядаються проблеми навчального процесу, що пов'язані з підвищенням якості практичної підготовки студентів з дисципліни "Правила дорожнього руху" та запропоновані дійові шляхи їх вирішення за рахунок диференціації підходів у керуванні пізнавальною діяльністю студентів.

Ключові слова: впевненість, емоційна сфера мислення, мотив, образна сфера мислення, понятийно-логічна сфера мислення, пізнавальна діяльність, практичні завдання, сприймання.

І. О. Колосок ORCID 0000-0001-9543-8782.

УДК 514.18

РУХ ЧАСТИНКИ ҐРУНТУ ПО ПОВЕРХНІ РОЗГОРТНОГО ГЕЛІКОЇДА З ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ І ЗАДАНИМ КУТОМ АТАКИ

Т. А. Кресан

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття зі спеціальності: 131 – прикладна механіка.

Кореспонденція автора: tanyakresan@i.ua.

*Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.
Бібл. 15, рис. 5, табл. 0.*

Анотація. В статті розглянуто взаємодію гвинтового ґрунтообробного органа із частинками ґрунту. Завдяки дуже широкому застосуванню у техніці під терміном “гвинтова поверхня” зазвичай розуміють поверхню гвинтового коноїда або шнека. В роботі розглянуто поверхню розгортного гелікоїда, яка теж є лінійчатою, але суттєво відрізняється від шнека. Відмінність полягає не тільки у геометричній формі, але і в технології виготовлення. Якщо шнек виготовляють штамповкою або прокаткою смуги із значними деформаціями заготовки, то розгортний гелікоїд можна виготовити простим згинанням при мінімумі пластичних деформацій. З точки зору теорії при нульовій товщині заготовки пластичні деформації при її згинанні взагалі були б відсутні.

Робочий орган для обробітки ґрунту складається із смуги розгортної гвинтової поверхні, у якій зовнішня крайка загострена і виконує функцію леза, а внутрішня жорстко кріпиться до решітчастого циліндра. Різниця між радіусом гвинтової лінії леза і циліндра визначає глибину обробітки. Решітчастий циліндр запобігає забиванню міжвиткового простору і одночасно виконує додаткову функцію котка. Орган працює подібно до дискових знарядь, тобто профіль обробленого поля має гребені і впадини. В момент контакту леза із поверхнею поля наявні кути, аналогічні кутам атаки і крену для дискових знарядь. Конструктивні параметри, якими забезпечуються ці кути, можна розрахувати, виходячи із аналітичного опису поверхні.

Секція, тобто барабан із витком гвинтової робочої поверхні, розташовується так, що його вісь складає певний кут із напрямом руху агрегату. Це зумовлює появу кута атаки і сил реакції, які змушують барабан із поверхнею обертатися. Виходячи із швидкості руху агрегату і враховуючи кут атаки, можна знайти кутову швидкість обертання секції. Далі складається диференціальне рівняння руху частинки після вступу її на поверхню, яка обертається. Диференціальне рівняння розписується в проекціях на три осі нерухомої системи координат. До нього входять три невідомі залежності: дві змінні, що описують траєкторію ковзання частинки по поверхні і сила реакції поверхні. Систему розв'язано чисельним способом.

Побудовано траєкторії відносного і абсолютного руху частинки та графіки зміни її відносної і абсолютної швидкостей.

Ключові слова: розгортний гелікоїд, ґрунтообробний орган, кутова швидкість, частинка, ковзання, диференціальні рівняння.

Постановка проблеми

Для поверхневого обробітки ґрунту використовуються дискові робочі органи. Від відстані між дисками, їх конструктивними параметрами та кутами установки залежить форма профілю обробленої смуги ґрунту та висота гребенів. Диск встановлюють так, щоб між площиною розташування леза (крайки диска) і напрямом руху агрегату був певний кут атаки. Для покращення перемішування диск відхиляють ще і від вертикального напрямку, тому кожен диск має індивідуальне кріплення осі обертання до рами. Якщо застосувати гвинтову поверхню, то можна очікувати аналогічні результати роботи. Однак в цьому випадку гвинтову робочу поверхню можна кріпити на спільному валу, подібно батареї дисків лушпильника. Це спростує конструкцію робочого органа.

Аналіз останніх досліджень

Дискові ґрунтообробні машини, їх конструкція, робочі органи та розрахунок основних параметрів висвітлено в монографіях [1–3]. Проектування і розрахунок дискових ґрунтообробних знарядь ґрунтово розглянуто в праці [4]. В праці [5] розроблено аналітичну модель установки ґрунтообробних сферичних дисків для визначення геометричних та технологічних характеристик. У працях більш вузького спрямування досліджуються різні аспекти покращення якості обробітки ґрунту такими знаряддями [6–8]. Перспективи подальшого удосконалення дискових та інших ґрунтообробних знарядь розглянуто в праці [9]. В працях [10, 11] досліджено рух частинок ґрунту по поверхні дискових робочих органів. Теорія конструювання лінійчатих поверхонь висвітлено у праці [14]. Засто-

сування розгортного гелікоїда для розрахунку і виготовлення робочих елементів розглянуто в працях [12, 13]. У [15] обґрунтована практична можливість застосування гвинтового робочого органу.

Мета досліджень

Розробити аналітичний опис руху частинок ґрунту по поверхні розгортного гелікоїда, який в складі ґрунтообробного агрегату рухається вперед і одночасно обертається навколо горизонтальної осі.

Результати досліджень

Гелікоїдальний робочий орган для поверхневого обробітку ґрунту пропонується виготовляти у вигляді розгортного гелікоїда.

Витки робочої поверхні такого органу можна отримати згинанням і розтягуванням розгортки у вигляді плоского кільця вздовж осі гелікоїда.

Отримана таким чином поверхня буде відрізнятися від іншої широко відомої гвинтової лінійчатої поверхні – гвинтового коноїда (шнека). 1,б). Якщо у шнека прямолінійні твірні поверхні перпендикулярні його осі, то у розгортного гелікоїда вони складають із віссю певний кут (рис. 1,а).

Конструктивними параметрами робочої поверхні є радіус r внутрішньої кромки, радіус R зовнішньої (ріжучої) кромки, крок H , кут нахилу прямолінійних твірних.

Зовнішня і внутрішня кромки є гвинтовими лініями із кутами підйому φ_R і φ_r . Кут нахилу ϕ прямолінійних твірних поверхні визначається кутом підйому гвинтової лінії мінімально можливого радіуса p , яка носить назву ребра звороту. Саме наявність кута нахилу прямолінійних твірних сприяє зануренню поверхні у ґрунт, якщо її вісь розташувати горизонтально і під кутом β до напрямку, перпендикулярному напрямку V руху агрегату (рис. 1,б).

На горизонтальній проекції (рис. 1,б) поверхня показана без вала, причому вісь поверхні зображена так, що має невидимі ділянки. Це зроблено для того, щоб зорієнтуватися, де верхній, а де нижній виток поверхні. У одній із точок нижнього витка, яку можна уявити, як точку контакту ріжучої крайки із ґрунтом, показано кут атаки γ . Із рисунка можна записати:

$$\gamma = \beta + \varphi_R, \quad (1)$$

Глибина a обробітку ґрунту є різницею радіусів: $a = R - r$. Глибина обробки a , висота гребенів c , відстань між гребенями b залежать від конструктивних параметрів поверхні і кута атаки γ .

Результат роботи такого органу є аналогічним результату роботи дискового робочого органу. Якщо кожен диск дискового ґрунтообробного агрегату потребує установки його на індивідуальній осі із забезпеченням заданих кутів атаки і крену для примусового занурення його у ґрунт, то гвинтова форма робочої поверхні забезпечує її занурення у ґрунт більш простим конструктивним виконанням.

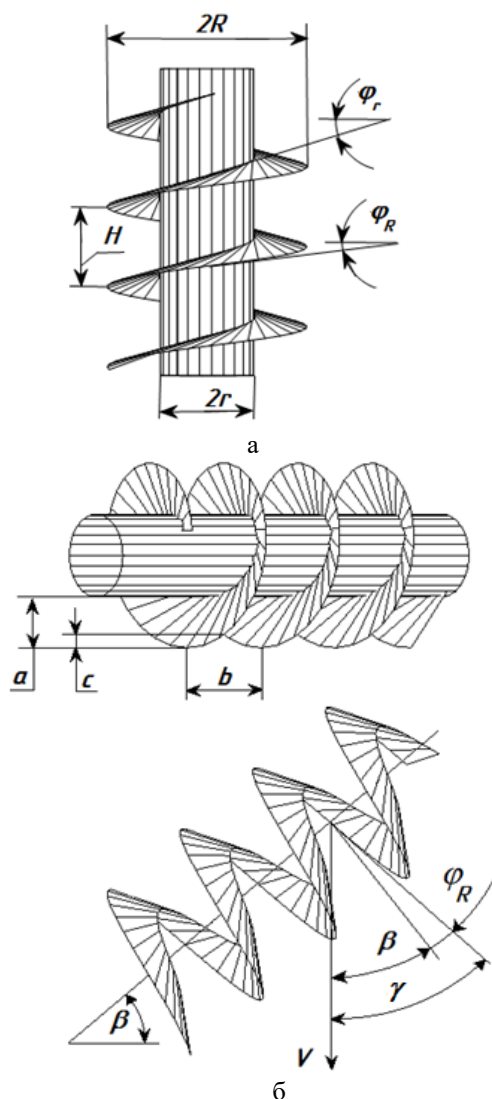


Рис. 1. Графічні ілюстрації до поверхні розгортного гелікоїда робочого органу для поверхневого обробітку ґрунту:

а) конструктивні параметри поверхні із вертикальною віссю;

б) фронтальна і горизонтальна проекції поверхні гелікоїда із горизонтальною віссю, спрямованою під кутом β .

Fig. 1. Graphic illustrations to the surface of the developable helicoid of the working body for surface tillage:

a) design parameters of the surface with a vertical axis;

b) frontal and horizontal projections of the surface of the helicoid with a horizontal axis directed at an angle β .

Параметричні рівняння розгортного гелікоїда з горизонтальною віссю обертання, паралельною осі OX , мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} X &= h\alpha - u \sin \varphi; \\ Y &= p \sin \alpha - u \cos \varphi \cos \alpha; \\ Z &= p \cos \alpha + u \cos \varphi \sin \alpha, \end{aligned} \quad (2)$$

де α , u – змінні параметри поверхні, причому α – кут повороту точки навколо осі поверхні при її русі до поточної точки на гвинтовій лінії, яка розташована на циліндрі радіуса p ; u – довжина прямолінійної твірної

від поточної точки на гвинтовій лінії до точки на поверхні;

h – стала величина (гвинтовий параметр), через якого визначається крок поверхні – $H=2\pi h$;

φ – кут нахилу прямолінійних твірних гелікоїда, який можна знайти через сталі величини h і p : $\cos \varphi = p / \sqrt{p^2 + h^2}$. Виходячи із цієї залежності рівняння (2) запишемо у більш компактному вигляді:

$$\begin{aligned} X &= (A\alpha - u)\sin \varphi; \\ Y &= (A\sin \alpha - u\cos \alpha)\cos \varphi; \\ Z &= (A\cos \alpha + u\sin \alpha)\cos \varphi, \end{aligned} \quad (3)$$

де стала $A = \sqrt{p^2 + h^2}$.

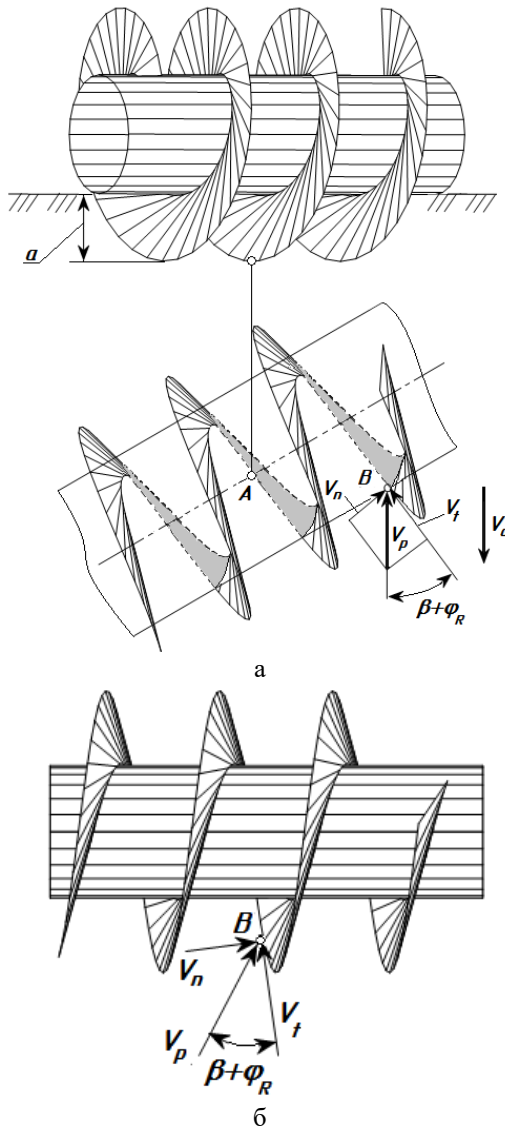


Рис. 2. Графічні ілюстрації до розкладання швидкості V_p частинки, яка вступає на поверхню гелікоїда, на складові V_t і V_n :

а) гелікоїд повернуто на кут β ;

б) гелікоїд разом із векторами повернуто в зворотному напрямку на кут $(-\beta)$

Fig. 2. Graphic illustrations for the decomposition of the velocity V_p of a particle entering the surface of a helicoid into components V_t and V_n :

a) the helicoid is rotated by the angle β ;

b) the helicoid together with the vectors is rotated in the reverse strand by the angle $(-\beta)$

В силу обмеженого обсягу статті відомості про поверхню розгортного гелікоїда є стислими. Для подальшого викладу матеріалу важливими є параметричні рівняння (3) цієї поверхні.

Розглянемо ще раз поверхню робочого органу, повернуту під кутом атаки $\gamma = \beta + \varphi_R$ відносно напрямку руху агрегату V_a (рис. 2,а). Її нижня частина в межах глибини обробітки a буде знаходитися в ґрунті. На горизонтальній проекції ця частина поверхні обмежена прямими, паралельними осі, і зображена штриховими лініями. Найнижча точка A поверхні (ріжучої крайки) має контакт із ґрунтом на дні борозни. Точка B крайки має контакт із ґрунтом на поверхні поля. Якщо агрегат рухається із швидкістю V_a , то із такою ж швидкістю V_p частинка ґрунту вступає на робочу поверхню гелікоїда. Цю швидкість можна розкласти на дві взаємно перпендикулярні складові: $V_t = V_p \cdot \cos(\beta + \varphi_R)$ і $V_n = V_p \cdot \sin(\beta + \varphi_R)$. Кут атаки $\gamma = \beta + \varphi_R$ для гелікоїда є змінним і залежним від глибини положення точки ріжучої крайки в ґрунті. Це зумовлено змінним значенням кута φ_R . Межі зміни цього кута є відносно незначними $\varphi_R \dots \varphi_r$ (рис. 1,а), тому ми приймемо його сталим і рівним в найнижчій точці ріжучої крайки: $\varphi_R = \arctg(h/R) = \arctg(Asin\varphi/R)$.

Для спрощення розрахунків ми гелікоїд не повертатимемо на кут β , як показано на рис. 1,б, а вважатимемо, що на нього насувається ґрунт із швидкістю V_p при $\beta=0$ (рис. 2,б). Така модель дозволить спрощено описати поверхню гелікоїда без повороту його на кут β , замінивши поворот гелікоїда на поворот вектора швидкості агрегату. Іншими словами, гелікоїд разом із позначеними векторами (рис. 2,а) повернемо в зворотну сторону на кут $(-\beta)$. Це дає можливість використовувати параметричні рівняння (3) гелікоїда, не ускладнюючи їх поворотом на кут β .

З поперечною швидкістю V_n частинка вступає на поверхню гелікоїда, а від поздовжньої V_t залежить кутова швидкість його обертання. Будемо виходити із умови, що ріжуча крайка гелікоїда перекочується по дну борозни в напрямі руху агрегату без ковзання, тому з певним допущенням можна записати $V_t = R\omega$, де ω – кутова швидкість обертання гелікоїда. Цей вираз не є точним, оскільки ріжучою крайкою є гвинтова лінія, а не коло, але будемо вважати, що він прийнятний для практики. Звідси знаходимо ω :

$$\begin{aligned} \omega &= V_p \cdot \cos(\beta + \varphi_R) / R = \\ &= V_p \cdot \cos[\beta + \arctg(Asin\varphi/R)] / R. \end{aligned} \quad (4)$$

Величину поперечної швидкості V_n , так як і кутову швидкість ω обертання гелікоїда, будемо враховувати при чисельному інтегруванні диференціальних рівнянь відносного руху частинки по його поверхні.

Якщо незалежні змінні поверхні u і α зробити залежними одна від одної, то на поверхні гелікоїда буде описана лінія. Будемо вважати, що така залежність встановлена через іншу змінну t – час ковзання частинки по поверхні гелікоїда. Тоді внутрішні рівняння відносної траєкторії частинки опишеться залежностями: $u=u(t)$ і $\alpha=\alpha(t)$. Ці залежності потрібно розшукати. Рівняння (3) є рівняннями поверхні, але при встановленні залежностей $u=u(t)$ і $\alpha=\alpha(t)$ вони перетворюються у рівняння лінії на поверхні. Щоб відрізнити рівняння поверхні від рівнянь кривої на ній, у рівняннях поверхні будемо робити позначення «X», «Y», «Z»

прописними літерами, а у рівняннях лінії – строчними. При залежностях $u=u(t)$ і $\alpha=\alpha(t)$ (поки що невідомих) рівняння (3) опишуть на поверхні траєкторію відносного руху частинки. Зокрема, при $u=const$, на поверхні гелікоїда буде описана гвинтова лінія. Радіус циліндра R , на якому вона розташована, можна знайти піднесенням до квадрату останніх двох рівнянь (3):

$$R^2 = \sqrt{Y^2 + Z^2} = (A^2 + u^2) \cos^2 \varphi. \quad (5)$$

З виразу (5) можна знайти значення $u=const$ при заданому радіусі R :

$$u = \frac{\sqrt{R^2 - A^2 \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} = \frac{\sqrt{R^2 - (p^2 + h^2) \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}. \quad (6)$$

Було взято наступні конструктивні параметри гелікоїда: $R=0,25$ м, $r=0,15$ м (глибина обробітку ґрунту $a=0,1$ м). Для забезпечення прийнятних значень висоти гребенів c , відстані між гребенями b , було прийнято решту конструктивних параметрів: $p=0,0721$, $h=0,0416$, $\varphi=30^\circ$. Для цих даних за формулою (6) знаходимо значення u : $u=0,276$. Якщо у формулу (6) замість R підставити значення r , то отримаємо: $u=0,152$. Таким чином, для побудови гелікоїда із обмежувальними зовнішньою і внутрішньою гвинтовими лініями незалежна змінна повинна змінюватися в межах $u=0,152 \dots 0,276$. Друга незалежна змінна – кут α – для одного витка змінюється в межах $\alpha=0 \dots 2\pi$.

Диференціюванням (3) по часу t отримаємо проекції відносної швидкості ковзання частинки по поверхні гелікоїда:

$$\begin{aligned} x' &= (A\alpha' - u') \sin \varphi; \\ y' &= [\alpha'(u \sin \alpha + A \cos \alpha) - u' \cos \alpha] \cos \varphi; \\ z' &= [\alpha'(u \cos \alpha - A \sin \alpha) + u' \sin \alpha] \cos \varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

Величину відносної швидкості отримаємо із геометричної суми складових (7):

$$V_r = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} = \sqrt{(A\alpha' - u')^2 + u^2 \alpha'^2 \cos^2 \varphi}. \quad (8)$$

Внаслідок контакту робочої поверхні гелікоїда із ґрунтом він обертається навколо осі з кутовою швидкістю ω згідно (4), величина якої залежить від швидкості руху агрегата $V_a = V_p$. За час t поверхня гелікоїда (3) повернеться на кут $\psi = \omega \cdot t$. Застосувавши формули повороту, запишемо параметричні рівняння гелікоїда, які описують його положення після повороту на кут $\psi = \omega \cdot t$:

$$\begin{aligned} X &= (A\alpha - u) \sin \varphi; \\ Y &= (A \sin \alpha - u \cos \alpha) \cos \varphi \cos \psi - \\ &\quad - (A \cos \alpha + u \sin \alpha) \cos \varphi \sin \psi; \\ Z &= (A \sin \alpha - u \cos \alpha) \cos \varphi \sin \psi + \\ &\quad + (A \cos \alpha + u \sin \alpha) \cos \varphi \cos \psi. \end{aligned} \quad (9)$$

Після підстановки у (9) $\psi = \omega \cdot t$ і спрощень ми отримаємо рівняння лінії на поверхні гелікоїда, яка є абсолютною траєкторією руху частинки, тому переходимо до строчних літер:

$$\begin{aligned} x &= [A\alpha - u] \sin \varphi; \\ y &= -[A \sin(\omega t - \alpha) + u \cos(\omega t - \alpha)] \cos \varphi; \\ z &= [A \cos(\omega t - \alpha) - u \sin(\omega t - \alpha)] \cos \varphi. \end{aligned} \quad (10)$$

Диференціальне рівняння руху частинки по поверхні гелікоїда складемо у вигляді $m\bar{w} = \bar{F}$, де m – маса частинки, $\bar{w}$ – вектор абсолютного прискорення, $\bar{F}$ – рівнодійний вектор прикладених до частинки сил. Такими силами є: сила ваги частинки mg ($g=9,81$ м/с²), реакція $\bar{N}$ поверхні і сила тертя $f\bar{N}$, яка чинить опір ковзанню частинки по поверхні гелікоїда (f – коефіцієнт тертя). Наведене векторне рівняння розпишемо в проекціях на осі координат, в результаті чого отримаємо систему із трьох диференціальних рівнянь.

Абсолютне прискорення частинки отримаємо похідним диференціюванням рівнянь абсолютної траєкторії (10) по часу t . Перша похідна рівнянь (10), тобто вектор абсолютної швидкості частинки, має вигляд:

$$\begin{aligned} x' &= (A\alpha' - u') \sin \varphi; \\ y' &= -\left[(u' + A(\omega - \alpha')) \cos(\omega t - \alpha) - \right. \\ &\quad \left. - u(\omega - \alpha') \sin(\omega t - \alpha) \right] \cos \varphi; \\ z' &= -\left[(u' + A(\omega - \alpha')) \sin(\omega t - \alpha) + \right. \\ &\quad \left. + u(\omega - \alpha') \cos(\omega t - \alpha) \right] \cos \varphi. \end{aligned} \quad (11)$$

Диференціюємо вирази (11) і отримуємо вектор абсолютного прискорення в проекціях на осі координат:

$$\begin{aligned} x'' &= (A\alpha'' - u'') \sin \varphi; \\ y'' &= (A\alpha'' - u'' + u(\omega - \alpha')^2) \cos(\omega t - \alpha) \cos \varphi + \\ &\quad + (A(\omega - \alpha')^2 + 2u'(\omega - \alpha') - u\alpha'') \sin(\omega t - \alpha) \cos \varphi; \\ z'' &= (A\alpha'' - u'' + u(\omega - \alpha')^2) \sin(\omega t - \alpha) \cos \varphi - \\ &\quad - (A(\omega - \alpha')^2 + 2u'(\omega - \alpha') - u\alpha'') \cos(\omega t - \alpha) \cos \varphi. \end{aligned} \quad (12)$$

Сила ваги mg спрямована вниз, отже проекції на прямого одиничного вектора на орти тригранника запишуться:

$$\{0; \quad 0; \quad -1\}. \quad (13)$$

Реакція N поверхні спрямована по нормалі до неї і визначається із векторного добутку двох векторів, дотичних до координатних ліній поверхні. Проекції цих векторів є частинні похідні рівнянь (3):

$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial u} &= -\sin \varphi; & \frac{\partial X}{\partial \alpha} &= A \sin \varphi; \\ \frac{\partial Y}{\partial u} &= -\cos \varphi \cos \alpha; & \frac{\partial Y}{\partial \alpha} &= \left(u \sin \alpha + \right. \\ & & & \left. + A \cos \alpha \right) \cos \varphi; \\ \frac{\partial Z}{\partial u} &= \cos \varphi \sin \alpha; & \frac{\partial Z}{\partial \alpha} &= (u \cos \alpha - A \cos \alpha). \end{aligned} \quad (14)$$

Після векторного множення векторів (14) і приведення отриманого вектора до одиничного проекції вектора нормалі до поверхні запишуться:

$$\{-\cos \varphi; \quad \sin \varphi \cos \alpha; \quad -\sin \varphi \sin \alpha\}. \quad (15)$$

Слід зауважити, що одиничний вектор нормалі може бути спрямований як в одну, так і у протилежну

сторону від точки на поверхні. Тому потрібно стежити, щоб його напрям збігався із напрямом реакції поверхні на частинку в точці її вступу на поверхню. Крім того, одиничний вектор (15) отриманий для нерухомої поверхні. Але сама поверхня обертається, тобто повертається на кут $\psi = \omega \cdot t$. Для узгодження напрямку одиничного вектора (15) з напрямом дії інших сил, що діють на частинку в поточний момент часу t , його теж потрібно повернути на кут $\psi = \omega \cdot t$ аналогічно повороту поверхні (9):

$$\{-\cos \varphi; \sin \varphi \cos(\omega t - \alpha); \sin \varphi \sin(\omega t - \alpha)\}. \quad (16)$$

Сила тертя $\overline{fN}$ – спрямована в сторону, протилежну відносній швидкості V_r ковзання частинки, тобто по дотичній до відносної траєкторії. Проекції одиничного вектора, вздовж якого спрямована швидкість ковзання частинки, визначається діленням складових швидкості (7) на її модуль (8) з наступним поворотом на кут $\varphi = \omega t$ в силу зазначених вище причин:

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{(A\alpha' - u')}{\sqrt{(A\alpha' - u')^2 + u^2 \alpha'^2 \cos^2 \varphi}} \sin \varphi; \\ & - \frac{u\alpha' \sin(\omega t - \alpha) + (u' - A\alpha') \cos(\omega t - \alpha)}{\sqrt{(A\alpha' - u')^2 + u^2 \alpha'^2 \cos^2 \varphi}} \cos \varphi; \\ & \frac{u\alpha' \cos(\omega t - \alpha) - (u' - A\alpha') \sin(\omega t - \alpha)}{\sqrt{(A\alpha' - u')^2 + u^2 \alpha'^2 \cos^2 \varphi}} \cos \varphi \end{aligned} \right\}. \quad (17)$$

Напрями дії сил ваги mg , реакції поверхні N і сили тертя fN задаються одиничними векторами (13), (16) і (17). Розпишемо векторне рівняння $m\overline{\dot{w}} = \overline{F}$ в проєкціях на осі системи координат, взявши до уваги, що сила тертя fN спрямована вздовж одиничного вектора (17) в протилежну до нього сторону:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -N \cos \varphi - \\ & - fN \frac{(A\alpha' - u')}{\sqrt{(A\alpha' - u')^2 + u^2 \alpha'^2 \cos^2 \varphi}} \sin \varphi; \\ m\ddot{y} &= N \sin \varphi \cos \alpha - \\ & - fN \frac{u\alpha' \sin(\omega t - \alpha) + (u' - A\alpha') \cos(\omega t - \alpha)}{\sqrt{(A\alpha' - u')^2 + u^2 \alpha'^2 \cos^2 \varphi}} \cos \varphi; \\ m\ddot{z} &= -mg + N \sin \varphi \sin(\omega t - \alpha) - \\ & - fN \frac{u\alpha' \cos(\omega t - \alpha) - (u' - A\alpha') \sin(\omega t - \alpha)}{\sqrt{(A\alpha' - u')^2 + u^2 \alpha'^2 \cos^2 \varphi}} \cos \varphi. \end{aligned} \quad (18)$$

Підставимо у (18) вирази других похідних із (12) і розв'яжемо систему (18) відносно других похідних невідомих функцій $u=u(t)$ і $\alpha=\alpha(t)$, а також $N=N(t)$. Після спрощень отримаємо:

$$\begin{aligned} \alpha'' &= \frac{(2u' + A(\omega - \alpha'))(\omega - \alpha') \cos \varphi - g \cos(\omega t - \alpha)}{u \cos \varphi} - \\ & - f\alpha' \sin \varphi \frac{u(\omega - \alpha')^2 \cos \varphi + g \sin(\omega t - \alpha)}{\sqrt{(A\alpha' - u')^2 + u^2 \alpha'^2 \cos^2 \varphi}} \\ u'' &= g \cos \varphi \sin(\omega t - \alpha) - fu' \sin \varphi \frac{u(\omega - \alpha')^2 \cos \varphi + g \sin(\omega t - \alpha)}{\sqrt{(A\alpha' - u')^2 + u^2 \alpha'^2 \cos^2 \varphi}} + \\ & + \frac{2Au'(\omega - \alpha') \cos \varphi - Ag \cos(\omega t - \alpha) + (\omega - \alpha')^2 (A^2 + u^2 \cos^2 \varphi) \cos \varphi}{u \cos \varphi} \\ N &= m \sin \varphi [u(\omega - \alpha')^2 \cos \varphi + g \sin(\omega t - \alpha)] \end{aligned} \quad (19)$$

Вирази (19) потрібно розглядати як систему двох перших рівнянь. Третє рівняння – реакція поверхні – стає відомим після розв'язання системи двох перших рівнянь. Її потрібно розв'язувати чисельними методами.

Система перших двох рівнянь (19) була розв'язана чисельними методами в середовищі «Simulink» програмного продукту «MatLab». Було прийнято умову, що гелікоїд, конструктивні параметри якого наведені раніше, рухається із швидкістю $V_a = 9 \text{ км/год}$ ($V_a = V_p = 2,5 \text{ м/с}$). Кут установки $\beta = 40^\circ$, коефіцієнт тертя $f = 0,3$. На основі цього знаходимо: $V_t = V_p \cdot \cos(\beta + \varphi_R) = 1,62 \text{ м/с}$; $V_n = V_p \cdot \sin(\beta + \varphi_R) = 1,9 \text{ м/с}$. Отже, $\omega = V_t/R = 6,5 \text{ с}^{-1}$.

Початкові умови інтегрування вибираються виходячи із того, в якій точці ріжучої крайки частинка вступає на поверхню. Цю точку можна вибирати в межах глибини a занурення поверхні у ґрунт і вона задається початковими координатами u_0 і α_0 . Для ріжучої крайки $u_0 = 0,276 \text{ м}$. Для знаходження значення змінної α_0 потрібно відносно неї розв'язати останнє рівняння (3):

$$\alpha_0 = -\text{Arccos} \frac{Az + u\sqrt{(A^2 + u^2)\cos^2 \varphi - z^2}}{(A^2 + u^2)\cos^2 \varphi}. \quad (20)$$

Поверхні поля відповідає значення $z = -0,15 \text{ м}$, а дну борозни – $z = -0,25 \text{ м}$. Підстановка цих значень у формулу (20) дає $\alpha_0 = -0,94$ і $\alpha_0 = -1,83$. Отже, початкове значення u_0 при інтегруванні буде $u_0 = 0,276 \text{ м}$, а початкове значення α_0 буде залежати від глибини знаходження точки ріжучої крайки у ґрунті. Для поверхні ґрунту $\alpha_0 = -0,94$, для дна борозни $\alpha_0 = -1,83$. Інші значення α_0 із даного проміжку відповідатимуть певній глибині знаходження точки ріжучої крайки у ґрунті. Вибираючи параметр α_0 із зазначених меж, ми вибираємо точку на лезі на різній глибині занурення.

Початковим значенням перших похідних u_0' і α_0' визначається напрям вступу частинки на поверхню гелікоїда.

Похідна α_0' означає кутову швидкість ковзання частинки в момент її вступу на лезо. Якби гелікоїд обертався, а частинка залишалася на місці, то швидкість ковзання по лезу була б сталою, протилежною напрямку обертання гелікоїда і рівною $\alpha_0' = -\omega$. Однак це відбувається тільки на момент вступу частинки на лезо, а далі частинка захоплюється поверхнею, рухається по ній і кутова швидкість ковзання зменшується.

Похідна u_0' означає лінійну швидкість руху частинки по поверхні вздовж координатної лінії (прямо-лінійної твірної) u . Лінійна швидкість u_0' вздовж прямо-лінійної твірної поверхні залежить від складової V_n , яка в нашому випадку рівна $1,9 \text{ м/с}$. Однак напрям складової V_n не збігається із напрямом прямо-лінійної твірної. Крім того, при обертанні гелікоїда виникає складова швидкості переміщення його точок вздовж осі обертання. Частинка поступає на поверхню із швидкістю V_n і додатково поверхня внаслідок обертання «наїжджає» на частинку. З огляду на це, за початкове значення u_0' ми приймемо значення $u_0' = V_n = -1,9 \text{ м/с}$ (знак «мінус» означає, що частинка рухається вздовж прямо-лінійної твірної поверхні в протилежну сторону її відліку), а потім дослідимо закономірність

ковзання частинки при збільшенні цього значення. На рис. 3 наведені траєкторії руху частинки за результатами чисельного інтегрування диференціальних рівнянь (19).

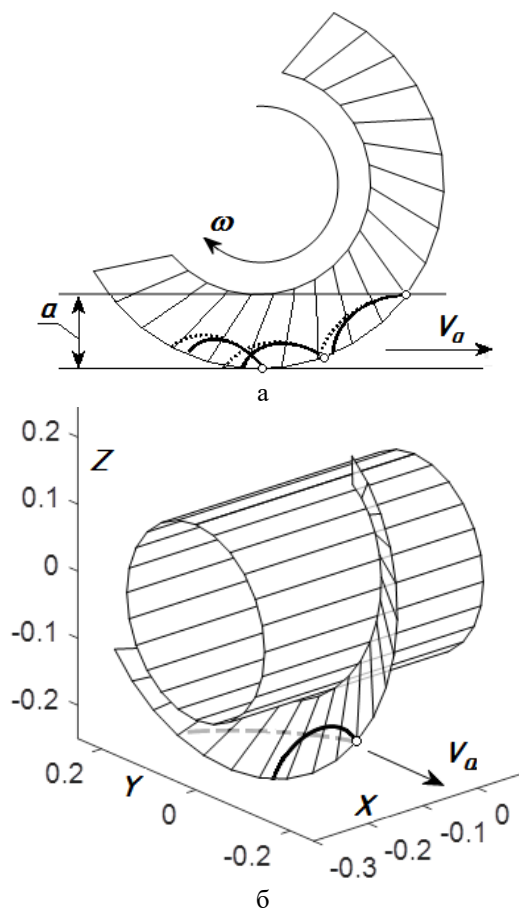


Рис. 3. Відносна та абсолютна траєкторії руху частинки:

а) гвинтова поверхня, вісь якої проєкціюється в точку;

б) швидкість вступу частинки на поверхню збільшена до $u_o' = -2,5 \text{ м/с}$

Fig. 3. Relative and absolute trajectories of the particle:

a) screw surface, the axis of which is projected into a point;

b) the velocity of the particle entering the surface is increased to $u_o' = -2,5 \text{ m/s}$

На рис. 3,а гвинтова поверхня зображена таким чином, що її вісь проєкціюється в точку. Траєкторії ковзання побудовані при вступі частинки на поверхню в трьох точках: на поверхні поля, на дні борозни і в проміжній точці. Суцільною лінією зображено рух окремої частинки ґрунту без взаємодії із іншими. Однак в реальному процесі відбувається її взаємодія із іншими частинками. Існують сили підпору суміжних частинок, які примушують частинку рухатися по поверхні. Можна припустити, що сила підпору долає силу тертя і в такому випадку можна прийняти коефіцієнт тертя f рівним нулеві. Штриховою лінією зображені відносні траєкторії частинок при $f=0$. Як видно із рис. 2,а, різниця між траєкторіями несуттєва.

Незалежно від точки вступу частинки на поверхню, вона ковзає по ній, наближаючись при цьому до внутрішньої периферії поверхні, тобто до циліндричного вала.

При збільшенні швидкості руху агрегату це наближення зростає. Наприклад, на рис. 3,б швидкість вступу частинки на поверхню збільшили від $u_o' = -1,9 \text{ м/с}$ до $u_o' = -2,5 \text{ м/с}$.

Траєкторія ковзання ближче наблизилася до циліндричного вала.

Гвинтова поверхня зображена напівпрозорою, для того, щоб було видно абсолютну траєкторію руху частинки, яка зображена штриховою лінією. Справа в тому, що вона не лежить на поверхні і розташована за її тильною стороною.

Під час ковзання по поверхні частинка додатково відкидається назад за рахунок її повороту.

Сума цих двох рухів утворює абсолютну траєкторію. Таким чином, частинки ґрунту на початку руху під час ковзання по поверхні наближаються до циліндричного вала. Якщо лезо знаходиться в ґрунті, то нижні частинки тиснуть на верхні і циліндричний вал стає перпоною для їх руху.

В області примикання гвинтової поверхні до вала відбуватиметься залипання ґрунту. Щоб цьому запобігти, вал має бути решітчастим (рис. 4).

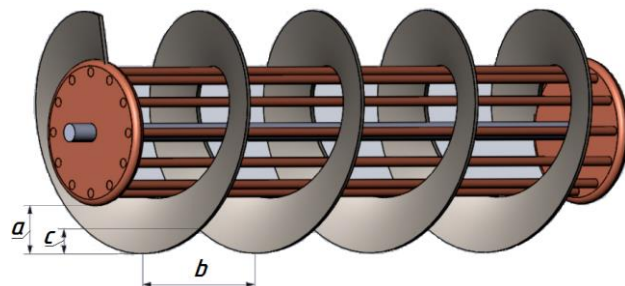


Рис. 4. Вигляд спереду на гелікоїд із решітчастим валом, проєкції якого зображено на рис. 1,б.

Fig. 4. Front view of a helicoid with a lattice shaft, the projections of which are shown in Fig. 1, b.

Решітчастий вал буде додатково виконувати функцію котка.

На рис. 5 побудовано кінематичні характеристики руху частинки, яка вступає на поверхню гелікоїда у верхній точці, тобто на рівні поля (рис. 3,а). Суцільними лініями зображено криві для $f=0,3$, а штриховими – для $f=0$.

На рис. 5,а показано графік зміни кутової швидкості ковзання частинки по поверхні, а на рис. 5,б – відносну і абсолютну швидкості руху частинки. Відносну визначали за формулою (8), а абсолютну – як геометричну суму складових (11).

Характерним для руху частинки є те, що на початку, тобто з моменту вступу на поверхню, наведені характеристики зменшуються, а потім починають зростати. Вони відображають проміжок часу ($t=0,11 \text{ с}$) з моменту вступу частинки на поверхню до її сходу із поверхні.

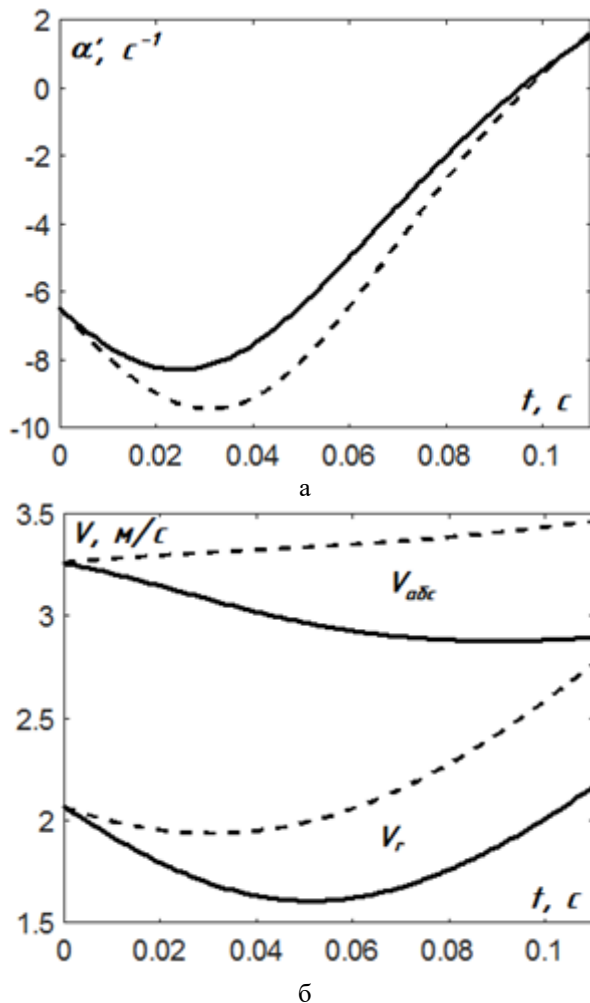


Рис. 5. Графіки зміни кінематичних характеристик частинки при $f=0,3$ (суцільна) і $f=0$ (штрихова) лінії:

- кутової швидкості ковзання частинки;
- відносної і абсолютної швидкостей

Fig. 5. Graphs of changes in the kinematic characteristics of the particle at $f=0,3$ (solid) and $f=0$ (dashed) lines:

- the angular velocity of the particle;
- relative and absolute velocities

Висновки

1. Побудовано математичну модель руху частинки ґрунту по гвинтовій робочій поверхні ґрунтообробного органу, який обертається навколо горизонтальної осі. Гвинтовою поверхнею є розгортний гелікоїд.

2. Рух леза гвинтової поверхні під кутом атаки по відношенню до напрямку руху агрегату замінено подачею частинки на поверхню під таким же кутом. Це спростило процес складання диференціальних рівнянь руху.

3. Результати чисельного розв'язку рівнянь показали, що при збільшенні кута атаки висота підйому частинок зростає і збільшується площа роззосередження їх по робочій поверхні. Коефіцієнт тертя незначно впливає на траєкторію руху частинки.

Список літератури

- Вікіпедія. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.
- Тищенко О. Ф. Зубчатые передачи часовых механизмов. Москва. Машгиз, 1963. 212 с.
- Литвин Ф. Л. Некруглые зубчатые колеса. Москва. Машгиз, 1956. 312 с.
- Кресан Т. А., Пилипака С. Ф., Грищенко І. Ю., Бабка В. М., Кремець Я. С. Траєкторії точок плоскої фігури, криволінійний контур якої котиться без ковзання по прямій лінії. Прикладні питання математичного моделювання. 2020. Т. 3. Вип. 1. С. 87-96. Режим доступу: <http://212.111.209.17/index.php/aqmm/article/viewFile/518/pdf>.
- Табачков В. П., Бойко А. П. Визначення рівняння центроїд за заданим наперед законом руху. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2005. Вип. 4. С. 194-198. Режим доступу: [http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Visnyk-agrarnoi-nauky-Prychornomorja/VANP2005/VANP2005-4\(32\)/Visnik_2005-4\(32\)_194-198.pdf](http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Visnyk-agrarnoi-nauky-Prychornomorja/VANP2005/VANP2005-4(32)/Visnik_2005-4(32)_194-198.pdf).
- Кресан Т. А., Пилипака С. Ф., Грищенко І. Ю., Бабка В. М. Окремий випадок конгруентних центроїд некруглих коліс, утворених дугами логарифмічної спіралі. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2020. Вип. 98. С. 84-93.
- Laczik B. Design and manufacturing of non-circular gears by giventransfer function. 2020. <http://www.hexagon.de/pdf/noncgear.pdf>.
- Mundo D., Dammeli G. A. Use of non-circular gears in pressing machine driving systems. 2020. <http://www.wseas.us/e-library/conferences/udine2004/papers/483-172.pdf>.
- Коврегін В. В., Маловик І. В. Аналітичний опис центроїд некруглих зубчатих коліс. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2011. Т. 49. Вип. 4. С. 125-129.
- Легета Я. П. Опис та побудова спряжених центроїд некруглих зубчастих коліс. Сучасні проблеми моделювання. 2014. Вип. 3. С. 87-92.
- Легета Я. П., Шоман О. В. Геометричне моделювання центроїд некруглих зубчастих коліс за передавальною функцією. Геометричне моделювання та інформаційні технології. 2016. № 2. С. 59-63.
- 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.
- Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 2020. Vol. 60, no 4, P. 313-317. <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0313>.
- Rynkovskaya M. Introduction of Two Analytical Theories as Applied to Developable Surfaces. Advanced Structured Materials. 2020. Vol. 124. P. 309-320.

15. Pylypaka S., Klendii M., Trokhaniak V., Kresan T., Hryshchenko I., Pastushenko A. External rolling of a polygon on closed curvilinear profile. *Acta Polytechnica*. 2021. Vol. 61(1). P. 270–278.

References

1. Wikipedia. Access mode: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.

2. Tishchenko O. F. (1963). Gears of watch mechanisms. Moscow. Mashgiz. 212.

3. Litvin F. L. (1956). Non-circular gears. Moscow: Mashgiz. 312.

4. Kresan T. A., Pylypaka S. F., Grishchenko I. Yu., Babka V. M., Kremets Ya. S. (2020). The trajectories of the points of a flat figure, the curvilinear contour of which rolls without sliding in a straight line. *Applied questions of mathematical modeling*. 3(1). 87-96. Access mode: <http://212.111.209.17/index.php/aqmm/article/viewFile/518/pdf>.

5. Tabatskov V. P., Boyko A. P. (2005). Determination of the centroid equation by a predetermined law of motion. *Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Region*. 4. 194-198. Access mode: [http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Visnyk-agrarnoi-nauky-Prychornomorja/VANP2005/VANP2005-4\(32\)/Visnik_2005-4\(32\)_194-198.pdf](http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Visnyk-agrarnoi-nauky-Prychornomorja/VANP2005/VANP2005-4(32)/Visnik_2005-4(32)_194-198.pdf).

6. Kresan T. A., Pylypaka S. F., Grishchenko I. Yu., Babka V. M. (2020). A special case of congruent centroids of non-circular wheels formed by arcs of a logarithmic spiral. *Applied geometry and engineering graphics*. 98. 84-93.

7. Laczik B. (2020). Design and manufacturing of non-circular gears by giventransfer function. Access mode: <http://www.hexagon.de/pdf/noncgear.pdf>.

8. Mundo D., Danneli G. A. (2020). Use of non-circular gears in pressing machine driving systems. Access mode: <http://www.wseas.us/library/conferences/udine2004/papers/483-172.pdf>.

9. Kovregin V. V., Malovik I. V. (2011). Analytical description of the centroid of non-circular gears. *Applied geometry and engineering graphics*. 49(4). 125-129.

10. Legeta Ya. P. (2014). Description and construction of conjugate centroids of non-circular gears. *Modern modeling problems*. 3. 87-92.

11. Legeta Ya. P., Shoman O. V. (2016). Geometric modeling of the centroid of non-circular gears by transfer function. *Geometric modeling and information technology*. 2. 59-63.

12. 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*. 95(3). 108-118. doi 10.31489/2019M2/108-119.

13. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. (2020). External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. *Acta Polytechnica*. 60(4). 313-317. <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0313>.

14. Rynkovskaya M. (2020). Introduction of Two Analytical Theories as Applied to Developable Surfaces. *Advanced Structured Materials*. 124. 309–320.

15. Pylypaka S., Klendii M., Trokhaniak V., Kresan T., Hryshchenko I., Pastushenko A. (2021). External rolling of a polygon on closed curvilinear profile. *Acta Polytechnica*. 61(1). 270–278.

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ ПОЧВЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ РАЗВЕРТЫВАЮЩЕГОСЯ ГЕЛИКОИДА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ С ЗАДАННЫМ УГЛОМ АТАКИ

Т. А. Кресан

Аннотация. В статье рассмотрено взаимодействие винтового почвообрабатывающего органа с частицами почвы. Благодаря очень широкому применению в технике под термином "винтовая поверхность" обычно понимают поверхность винтового коноида или шнека. В работе рассмотрено поверхность развертывающегося геликоида, которая тоже является линейчатой, но существенно отличается от шнека. Отличие заключается не только в геометрической форме, но и в технологии изготовления. Если шнек изготавливают штамповкой или прокаткой полосы со значительными деформациями заготовки, то развертывающийся геликоид можно изготовить простым сгибанием при минимуме пластических деформаций. С точки зрения теории при нулевой толщине заготовки пластические деформации при ее сгибании вообще отсутствовали бы.

Рабочий орган для обработки почвы состоит из полосы развертывающейся винтовой поверхности, в которой внешняя кромка заострена и выполняет функцию лезвия, а внутренняя жестко крепится к решетчатому цилиндру. Разница между радиусом винтовой линии лезвия и цилиндра определяет глубину обработки. Решетчатый цилиндр предотвращает забивание межвиткового пространства и одновременно выполняет дополнительную функцию катка. Орган работает подобно дисковым орудиям, то есть профиль обработанного поля имеет гребни и впадины. В момент контакта лезвия с поверхностью поля имеются углы, аналогичные углам атаки и крена для дисковых орудий. Конструктивные параметры, которыми обеспечиваются эти углы, можно рассчитать, исходя из аналитического описания поверхности.

Секция, то есть барабан с витком винтовой рабочей поверхности, располагается так, что его ось составляет определенный угол с направлением движения агрегата. Это приводит к появлению угла атаки и сил реакции, которые заставляют барабан с поверхностью вращаться. Исходя из скорости движения агрегата и учитывая угол атаки, можно найти угловую скорость вращения секции. Далее составляется дифференциальное уравнение движения частицы после вступления ее на поверхность, которая вращается. Дифференциальное уравнение расписывается в проекциях на три оси неподвижной системы координат. В него входят три неизвестные зависимости: две переменные, описывающие траекторию скольжения частицы по поверхности и сила реакции поверхности. Систему решена численными методами. Построено

траектории относительного и абсолютного движения частицы и графики изменения ее относительной и абсолютной скоростей.

Ключевые слова: развертывающийся геликоид, почвообрабатывающий орган, угловая скорость, частица, скольжение, дифференциальные уравнения.

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

MOVEMENT OF SOIL PARTICLES ON SURFACE
OF DEVELOPABLE HELICOID WITH HORIZONTAL
AXIS OF ROTATION WITH GIVEN ANGLE
OF ATTACK

T. A. Kresan

Abstract. The interaction of the screw tillage body with soil particles is considered in the article. Due to its very wide application in engineering, the term "helical surface" is usually understood to mean the surface of a helical conoid or auger. The surface of the deployable helicoid, which is also linear, but significantly different from the auger, is considered in the work. The difference is not only in the geometric shape, but also in the manufacturing technology. If the auger is made by stamping or rolling a strip with significant deformations of the workpiece, then the deployable helicoid can be made by simple bending with a minimum of plastic deformation. From the point of view of the theory at zero thickness of preparation plastic deformations at its bending in general would be absent.

The working body for tillage consists of a strip of developable screw surface, in which the outer edge is pointed and acts as a blade, and the inner is rigidly attached to the lattice cylinder. The difference between the radius of the screw line of the blade and the cylinder determines the depth of processing. The lattice cylinder prevents clogging of interturn space and at the same time carries out additional function of a roller. The body works like a disk tool that is the profile of the treated field has ridges and depressions. At the time of contact of the blade with the surface of the field there are angles similar to the angles of attack and roll for disk guns. The design parameters that provide these angles can be calculated based on the analytical description of the surface.

The section, that is the drum with the turn of the screw working surface, is located so that its axis is a certain angle with the direction of movement of the unit. This cause the angle of attack and reaction forces that cause the drum to rotate with the surface. Based on the speed of the unit and taking into account the angle of attack, we can find the angular velocity of the section. Next, a differential equation of motion of the particle is formed after its entry on the rotating surface. The differential equation is painted in projections on three axes of a fixed coordinate system. It includes three unknown dependencies: two variables that describe the trajectory of the particle sliding on the surface and the reaction force of the surface. The system is solved by numerical methods. The trajectories of relative and absolute motion of a particle and graphs of changes in its relative and absolute velocities are constructed.

Key words: developable helicoid, tillage body, angular velocity, particle, slip, differential equations.

УДК 631.362

ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАВІТАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА НАСІННЯ РІПАКУ

О. В. Богомолів¹, М. В. Брагінець¹, В. С. Хмельовський², О. О. Богомолів¹

¹Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна.

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: brnivl2020@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.

Бібл. 12, рис. 4, табл. 0.

Анотація. Насіння ріпаку містить до 40...49 % олії, 21...33 % білку, 6...7 % клітковини. Ріпакова олія використовується при виробництві жирів та маргарину, а також у металургійній, лакофарбовій, миловарній, текстильній промисловості. Недостатня вивченість процесу очищення насіннєвого матеріалу ріпаку стримують його розповсюдженість в Україні. Останнім часом, очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих рослин та домішок здійснюється шляхом удару по відбивній поверхні. Машина, які здійснюють очищення насіння ріпаку використовують однократний удар і мають низьку якість сепарації. В роботі розглянуто конструкцію гравітаційного багатоярусного сепаратора насіння ріпаку та обґрунтовано його параметри з можливістю багаторазових ударів часток вороху з відбивними поверхнями. На підставі аналізу експериментальних досліджень пружних характеристик насіння ріпаку та домішок, визначено раціональну висоту падіння насіннєвого вороху, яка знаходиться в межах 0,2...0,4 м. Теоретичні розрахунки дозволили визначити довжини польоту частинок при багаторазових відскоках від ударної поверхні та дали можливість обґрунтувати розміри ударної деки, що становлять: в поперечному напрямі 0,2 м, а в поздовжньому - 1,5 м. В результаті проведених виробничих випробувань виявлено, що найбільш прийнятною початковою швидкістю руху є $V_0 = 2$ м/с, а кут нахилу деки $\alpha = 30^\circ$. Виробничі умови роботи сепаратора довели, що при засміченості насіннєвого вороху ріпаку до 15 % вихід очищеної фракції становить 68 % насіння першого класу.

Ключові слова: насіння ріпаку, ударний сепаратор, сепарація, домішки, ударна дека

Постановка проблеми

Насіння ріпаку є важливим джерелом одержання дешевої рослинної олії та високобілкових кормів. Воно містить до 40...49 % олії, 21...33 % 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 та інше. Недостатня вивченість питань очищення та сушіння насіння ріпаку стримують його розповсюдженість в Україні.

Аналіз останніх досліджень

Однією з основних проблем підготовки насіннєвого матеріалу ріпаку є очищення його від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин та домішок: пікульника, підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, курячого проса, мишію, горця, склеротії білої гнилі. Не вирішеними є питання доочищення фракцій насіння ріпаку після очищення на пневмо-решітних сепараторах, в яких залишається до 20 % засмічувачів та відходів з засміченістю більше 50 %, які проблемно використовувати навіть для переробки на корм тваринам та птиці [1, 2, 3, 4, 5].

Одним з перспективних способів очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих рослин та домішок є сепарація за пружними властивостями. Вона здійснюється шляхом удару насіння по відбивній поверхні й поділу на фракції насіння, що рухаються після відбиття по різних траєкторіях [6, 7, 8, 9]. Недостатня вивченість закономірностей сепарації насіння за пружними властивостями стримує можливості удосконалення робочих органів пристрою, який дозволив би підвищити ефективність виконання процесу.

Мета досліджень

Метою роботи є удосконалення способу та обладнання для очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин за пружними властивостями.

Результати досліджень

Для сепарації насіння ріпаку багатьма

дослідниками пропонувалось використовувати похилі відбивні поверхні [2, 4, 10]. У більшості з них використовувався однократний удар, але у сепараторів з однократним ударом, якість сепарації є низькою. В роботі [8] було запропоновано сепаратор в якому використовується трикратний удар, а в роботі [6, 11] пропонується здійснювати сепарацію зерна на багатоярусних гравітаційних сепараторах. Тож розглянемо в цій роботі конструкційні параметри гравітаційного сепаратора насіння ріпаку з

багаторазовими ударами часток суміші з відбивними поверхнями.

Швидкість насіння в момент удару, а тобто і довжина польоту після удару залежить від висоти падіння на поверхню, що сепарує, тому були проведені дослідження залежності коефіцієнта відновлення швидкості під час удару від висоти падіння. Результати досліджень представлені на рис. 1.

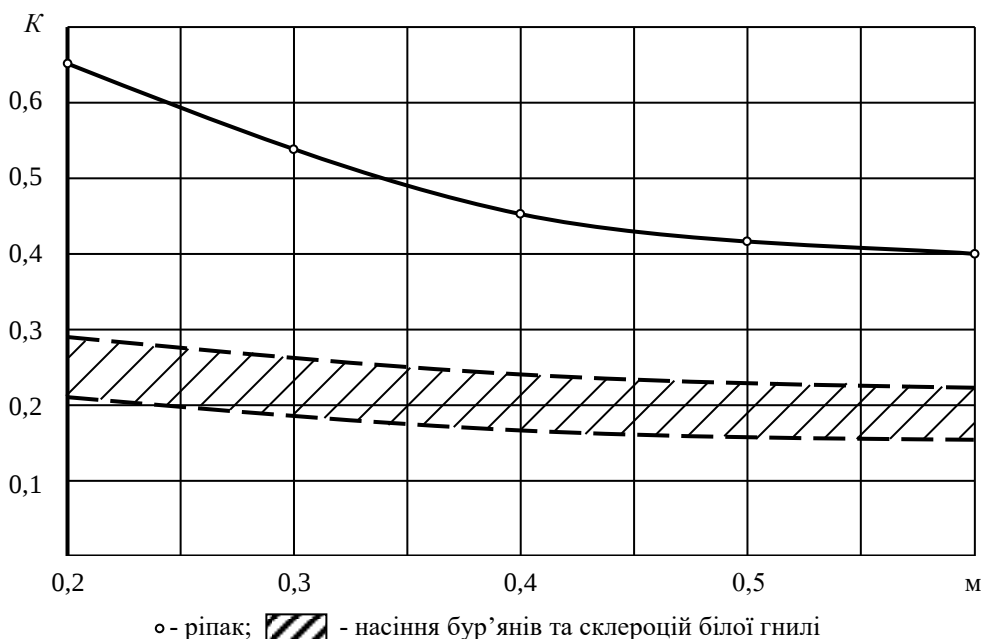


Рис. 1. Залежність коефіцієнтів відновлення насіння від висоти падіння

○- rapeseed; ▨- seeds of weeds and sclerotia of white rot

Fig. 1. Dependence of seed recovery coefficients on the height of fall

Як видно з графіків, зі збільшенням висоти падіння, коефіцієнт відновлення знижується, причому для ріпаку це зниження дещо більше. Для ріпаку коефіцієнт відновлення знижується з 0,64 до 0,40, а для бур'янів з 0,21...0,28 до 0,17...0,22. Ці криві також свідчать про те, що найкраще розділення насіння ріпаку і важковідокремлюваних домішок можливе в діапазоні падіння з висоти 0,2 м до 0,4 м. Тому, при розробці конструкції багатоярусного ударного сепаратора, слід враховувати ці дані. З міркувань зменшення висоти підйому насіння ця висота повинна бути мінімальною, а з міркувань збільшення кількості повторних ударів її треба збільшувати, тому доцільно вибрати середню висоту падіння 0,3 м, яка і буде відстанню між ярусами сепаратора.

Визначимо розміри сепаруючих поверхонь з урахуванням багатократності ударів. Уточнення розмірів сепаруючих поверхонь виконаємо з використанням матеріалів отриманих в роботі [6], де були прийняті пружні відбиття частки від похило встановленої деки протягом декількох ударів. Для спрощення рівнянь, прийнято удар абсолютно пружного тіла з коефіцієнтом відновлення швидкості $R_y=1$. Схема руху частки за таких умов представлена на рис. 2.

Використовуючи рівняння руху частки в

проекціях на осі:

$$\begin{aligned} V_x &= V_{0x} + a_x t; \quad V_y = V_{0y} + a_y t; \\ X &= V_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}; \quad Y = V_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $a_x = g \sin \alpha$; $a_y = -g \cos \alpha$; h - висота падіння, t - час між ударами.

Для реальних часток $R \neq 1$, а саме: $R < 1$. З огляду на те, що $h = \frac{V_0^2}{2g}$, а швидкість після удару

$V = R_y V_0$, одержано:

$$x_n = 4n \frac{R_y^2 V_0^2}{g} \sin \alpha. \quad (2)$$

На рис. 3 показані результати розрахунків відстаней польоту часток з різними характеристиками насіння виконаних за формулою 2.

Результати розрахунків показують, що в діапазоні зміни коефіцієнта відновлення від $R_y = 0,2$ до $R_y = 0,5$ (значення для реальних зерен), найбільш прийнятними (з конструкційної точки зору) є параметри: $V_0 = 2$ м/с, $\alpha = 30^\circ$. Для випадку $V_0 = 3$ м/с відбувається збільшення розміру похилих площин, а

для режиму з $V_0 = 1$ м/с зменшується дальність відскоків і тому для сепарації ці режими неприйнятні.

Очевидно, що бур'янисті домішки та зерно з $R_y \leq 0,1$ будуть практично ковзати з поверхні першої деки.

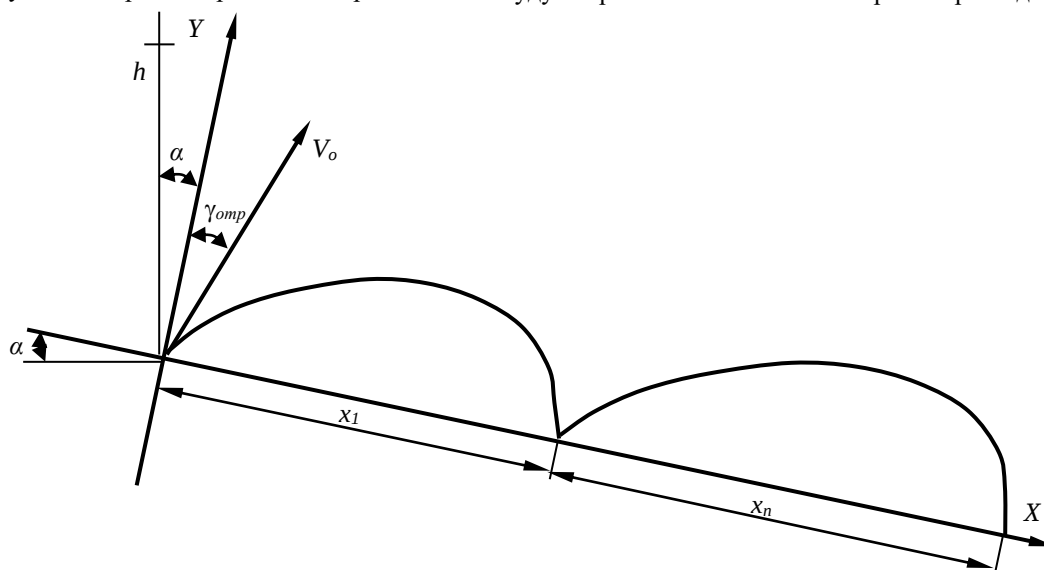


Рис. 2. Схема взаємодії частки з похилою площиною.

Fig. 2. Scheme of interaction of a particle with an inclined plane.

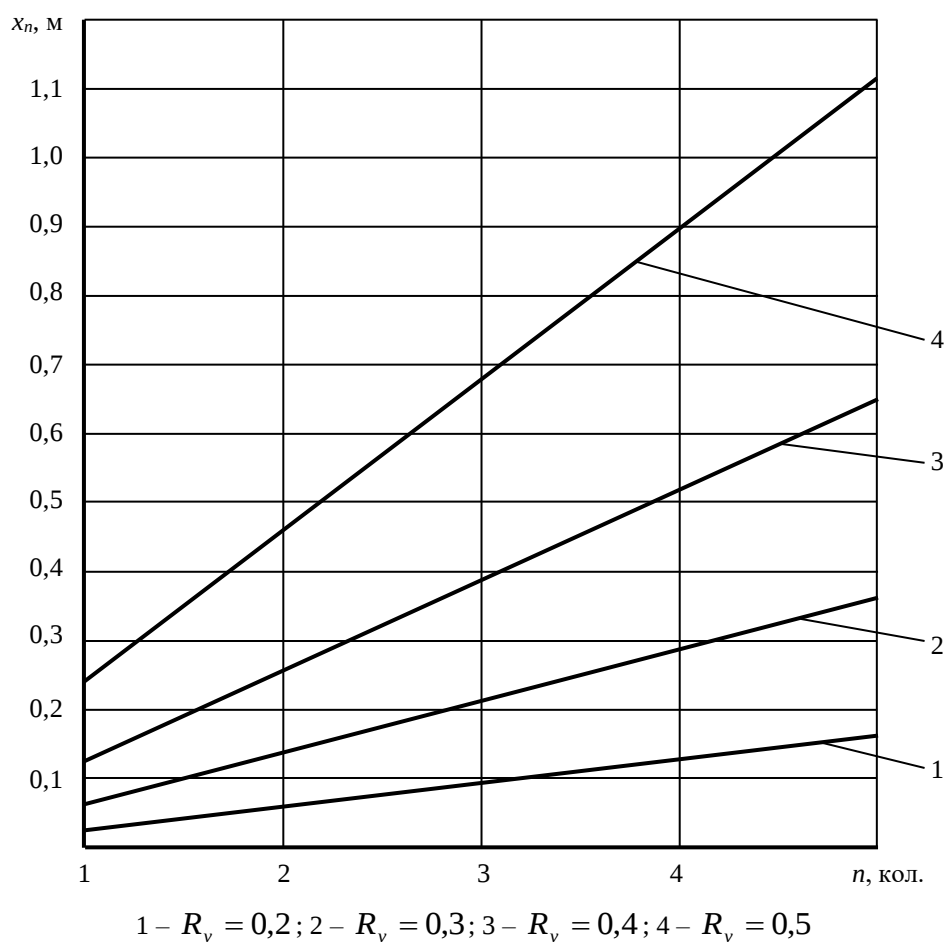


Рис. 3. Довжина польоту частки в процесі п'яти відскоків $\alpha = 30^\circ$, $V_0 = 2$ м/с.

Fig. 3. The flight length of the particle in the process of five rebounds $\alpha = 30^\circ$, $V_0 = 2$ м/с.

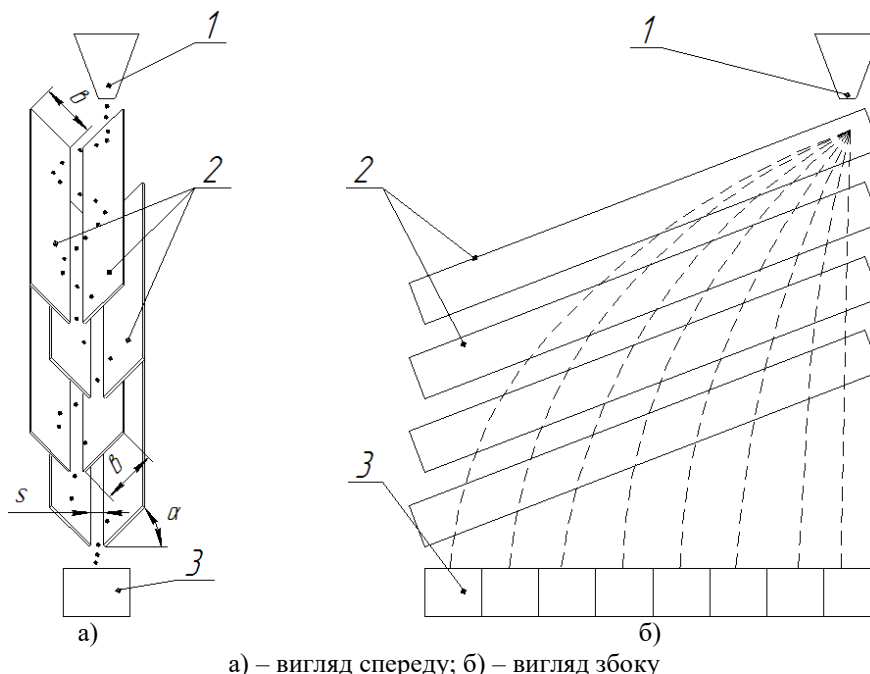
Таким чином для визначення конструкційних параметрів сепараторів з багаторазовим ударом визначена дальність польоту за n -ударів. Використовуючи залежність дальності польоту

частки, після першого удару й п'яти ударів, можна рекомендувати поперечний і поздовжній розміри сепаруючих поверхонь. Розміри ударної деки розробленого багатоярусного ударного сепаратора у

поперечному напрямі можуть бути достатнім – 0,2 м, а поздовжній – повинен бути значно більшим в зв'язку з тим, що частинки ріпаку з великим коефіцієнтом відновлення до $R = 0,5$ вже за 5 ударів при $\alpha = 30^\circ$ здатні переміститись на довжину до 1,12 м. В той же час, частинки бур'янів з коефіцієнтом навіть до $R = 0,3 \dots 0,4$ перемістяться на

величину не більшу 0,65 м. Враховуючи, що в новому розробленому нами гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі кількість ударів може бути значно більшою 5, прийемо довжину поверхонь 1,5 м.

Принципова схема розробленого гравітаційного багатоярусного сепаратора представлена на рис. 4.



а) – вигляд спереду; б) – вигляд збоку

Рис. 4. Принципіальна схема гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора

а) - front view; б) - side view

Fig. 4. Schematic diagram of a gravitational multilevel impact separator

Сепаратор складається з завантажувального пристрою 1; ярусів дек 2; приймачів продуктів розподілу 3.

Для підвищення якості сепарації сипких сумішей в багатоярусному ударному сепараторі, [12] ярус створюють пара дек, встановлених паралельно одна до одної з зазором між ними для проходу зерна, а кожний ярус зміщено один відносно іншого в поперечному напрямку до половини його ширини.

Сепаратор працює таким чином.

Вихідна суміш з бункера 1 самопливом під дією гравітаційних сил падає на одну з дек верхнього ярусу 2, де зерно після удару підскакує догори та завдяки поперечному і поздовжньому нахилу деки зміщується в польоті в поперечному і поздовжньому напрямках, потім падає на поруч розташовану деку. В межах одного ярусу зигзагоподібний рух може повторюватись декілька разів.

Потім зерно падає на нижчий ярус, де цей процес повторюється і так далі, поки частки суміші не впадуть з нижчого ярусу до приймачів продуктів поділу.

В запропонованій конструкції удосконаленого сепаратора кожний ярус зміщено один до одного в поперечному напрямку на величину, не меншу зазору між деками і не більшу за ширину деки помножену на косинус поперечного кута нахилу дек, тобто

$$S < l < b \cdot \cos \alpha,$$

де S – зазор між деками;

l – зміщення ярусів у поперечному напрямку, м;

b – ширина деки, м;

α – поперечний кут нахилу деки.

Завдяки цьому, частинки суміші після співударів на верхніх деках не потрапляють в зазор між нижчими деками, а процес сепарації продовжується аналогічно і на нижчих ярусах.

На відміну від сепараторів, в яких кожна частинка зернової суміші на кожному ярусі вдарається тільки один раз в даному гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі, зерно вдарається по декілька разів вже на кожному ярусі. За рахунок цього, якість сепарації в запропонованому сепараторі значно підвищується.

Проведені виробничі випробування показали високу ефективність розробленого сепаратора на очищенні суміші насіння ріпаку із засміченістю до 15 %. Вихід очищеної фракції склав 68 % насіння першого класу.

Висновки

1. В результаті експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора визначені основні конструкційні параметри: діапазони зміни коефіцієнта відновлення від $R_y = 0,2$ до $R_y = 0,5$, найбільш прийнятною початковою швидкістю руху v

$V_o = 2$ м/с, а кут нахилу деки $\alpha = 30^\circ$.

2. Розміри ударної деки розробленого багатоярусного ударного сепаратора у поперечному напрямі 0,2 м, а поздовжньому - 1,5 м.

3. При засміченості суміші насіння ріпаку до 15 % вихід очищеної фракції становить 68 % насіння першого класу.

Список літератури

1. *Скрыпник А. В.* О программе развития агропромышленного сектора юго-восточной части Украины до 2003 года. Збірник наукових праць ін-ту олійних культур УААН. 1999. Вип. 4. С. 213–216.

2. *Богомолов О. В., Брагинец М. В.* Дослідження фізико-механічних властивостей насінні ріпаку та домішків. Сучасні напрями технології та харчових виробництв. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2015. Вип. 166. С. 235–240.

3. *Лукьяненко В. М.* Обоснование параметров процесса сепарации семян рапса и сурепки на вибрационной машине: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11. ХНТУСГ. Харків. 2001. 20 с.

4. *Savinyh P., Sychugov Y., Kazakov V., Ivanovs S.* Development and Theoretical Studies of Grain Cleaning Machine for Fractional Technology of Flattening Forage Grain. Eng. Rural Dev. 2018. P. 124–130.

5. *Aliiev E., Yaropud V. M., Dudin V. Y., Pryshliak V. M., Pryshliak N., Ivlev V. V.* Research on sunflower seeds separation by airflow. Inmateh Agric. Eng. 2018. Vol. 56. P. 119–128.

6. *Богомолов А. В.* Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей. Харків. ХНТУСГ. 2013. 308 с.

7. Пристрій для розподілу для зернових матеріалів за пружними властивостями: Д.п. № 57958 Україна, МКВ В 07 В 13/00. О. В. Богомолов, Ю. І. Токолов, М. О. Зінченко. № 200203187. Заявл. 7.03.2002. Опубл. 15.07.2003. Бюл. № 7.

8. *Слукин О. Л.* Повышение эффективности очистки семян рапса от сорной примеси по упругим свойствам. Автореф. дис.... канд. техн. наук. 05.20.01. Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт рапса. Липецк, 1992. 20 с.

9. *Oszczak Z.* Optymalizacja parametrów pracy pneumatycznego separatora kaskadowego. Inzynieria Rol. 2006. Vol. 7. P. 359–365.

10. *Panasiewicz M., Sobczak P., Mazur J., Zawi'slak K., Andrejko D.* The technique and analysis of the process pf separation and clearing grain materials. J. Food Eng. 2012. Vol. 109. P. 603–608.

11. *Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktaro M., Dick E., Arslanbekova S.* Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. J. Appl. Eng. Sci. 2017. Vol. 17. P. 529–534.

12. Багатоярусний ударний сепаратор: Патент на корисну модель №62244, Україна, МКВ В07 В13/00, Богомолов О. В., Богомолова В. П. №201014867. Опубл. 25.08.2011. Бюл. №16. 4 с.

References

1. *Skrypnik A. V.* (1999). On the program for the development of the agro-industrial sector of the southeastern part of Ukraine until 2003. Collection of Science Practices of the Ukrainian Academy of Sciences. 4. 213–216.

2. *Bogomolov O. V., Braginets M. V.* (2015). Pre-session of the physical and mechanical authorities of the population and houses. Succeedingly direct technologies and kharchyovykh virobnistv. Visnik KhNTUSG. Kharkiv. 166. 235–240.

3. *Lukyanenko V. M.* (2001). Substantiation of parameters of the process of separation of rapeseed and colza seeds on a vibrating machine: Author's dissertation, Candidate of Technical Sciences: 05.05.11. Kharkiv Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture. Kharkiv. 20.

4. *Savinyh P., Sychugov Y., Kazakov V., Ivanovs S.* (2018). Development and Theoretical Studies of Grain Cleaning Machine for Fractional Technology of Flattening Forage Grain. Eng. Rural Dev. 124–130.

5. *Aliiev E., Yaropud V. M., Dudin, V. Y., Pryshliak V. M., Pryshliak N., Ivlev V. V.* (2018). Research on sunflower seeds separation by airflow. Inmateh Agric. Eng. 56. 119–128.

6. *Bogomolov A. V.* (2013). Separation of difficult-to-separate loose mixtures. Kharkiv. KhNTUSG. 308.

7. Device for distribution for grain materials by elastic properties: D.p. № 57958 Ukraine, MKV B 07 B 13/00. O. V. Bogomolov, Y. I. Tokolov, M. O. Zinchenko. № 200203187. Application 7.03.2002. Publ. 15.07.2003. Bull. № 7.

8. *Slukin O. L.* (1992). Improving the efficiency of cleaning rapeseed from trash by elastic properties. Abstract of thesis. dis. ... cand. tech. sciences: 05.20.01. All-Russian scientific research and design and technological institute of rapeseed. Lipetsk. .

9. *Oszczak Z.* (2006). Optymalizacja parametrów pracy pneumatycznego separatora kaskadowego. Inzynieria Rol. 7. 359–365.

10. *Panasiewicz M., Sobczak P., Mazur J., Zawi'slak K., Andrejko D.* (2012). The technique and analysis of the process pf separation and clearing grain materials. J. Food Eng. 109. 603–608.

11. *Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktaro M., Dick E., Arslanbekova S.* (2017). Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. J. Appl. Eng. Sci. 17. 529–534.

12. Multilevel impact separator: Patent for utility model №62244, Ukraine, MKV B07 B13/00, Bogomolov O. V., Bogomolova V. P. №201014867. Publ. 25.08.2011 Bull. №16.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА СЕМЯН РАПСА

А. В. Богомолов, Н. В. Брагинец, В. С. Хмелевский, А. А. Богомолов

Аннотация. Семена рапса содержат до 40...49% масла, 21...33% белка, 6...7% клетчатки. Рапсовое масло используется при производстве жиров и

маргарина, а также в металлургической, лакокрасочной, мыловаренной, текстильной промышленности. Недостаточная изученность процесса очистки семенного материала рапса сдерживают его распространение в Украине. В последнее время, очистка семян рапса от тяжело отделяемых сорняков и примесей осуществляется путем удара об отражательную поверхность. Машины, которые осуществляют очистку семян рапса используют однократный удар и имеют низкое качество сепарации. В работе рассмотрено конструкцию гравитационного многоярусного сепаратора семян рапса и обосновано его параметры с возможностью многократных ударов частиц вороха по отбивным поверхностям. На основании анализа экспериментальных исследований упругих характеристик семян и примесей, определено рациональную высоту падения семенного вороха, которая находится в пределах 0,2...0,4 м. Теоретические расчеты позволили определить длины полета частиц при многократных отбиваниях от ударной поверхности и дали возможность обосновать размеры ударной деки, что становятся: в поперечном направлении 0,2 м, а в продольном - 1,5 м. В результате проведенных производственных испытаний выявлено, что наиболее приемлемой начальной скоростью движения является $V_0 = 2 \text{ м/с}$, а угол наклона деки $\alpha = 30^\circ$. Производственные условия работы сепаратора доказали, что при засоренности семенного вороха рапса до 15% выход очищенной фракции составляет 68% семян первого класса.

Ключевые слова: семена рапса, ударный сепаратор, сепарация, примеси, ударная дека.

$V_0 = 2 \text{ м/с}$, and the angle of inclination of the deck $\alpha = 30^\circ$. The production conditions of the separator proved that when the rapeseed seed heap is clogged up to 15%, the yield of the purified fraction is 68% of the seeds of the first class.

Key words: rapeseed, impact separator, separation, impurities, impact deck.

О. В. Богомолов ORCID 0000-0002-1531-7030.

М. В. Брагінець ORCID 0000-0002-2135-9165.

В. С. Хмельовський ORCID 0000-0002-6018-8821.

О. О. Богомолов ORCID 0000-0001-8297-2708.

RESEARCH OF GRAVITY SEPARATOR OF RAPESEE

*O. V. Bogomolov, M. V. Braginets, V. S. Khmelovskiy,
O. O. Bogomolov*

Abstract. Rapeseed contains up to 40...49% oil, 21...33% protein, 6...7% fiber. Rapeseed oil is used in the production of fats and margarine, as well as in the metallurgical, paint, soap, textile industries. Insufficient study of the process of purification of rapeseed seeds constrains its prevalence in Ukraine. Recently, the purification of rapeseed from difficult-to-separate weeds and impurities is carried out by hitting the reflective surface using the elastic properties of the seeds. The cleaning machines used a single blow and have a low separation quality. The construction of the gravitational multilevel separator of rapeseed is considered in the work and its parameters with the possibility of repeated blows of heap particles with reflective surfaces are substantiated. Based on the analysis of experimental studies of the elastic characteristics of rapeseed and impurities, the rational height of the fall of the seed heap, which is in the range of 0,2...0,4 m, was determined. Theoretical calculations allowed to determine the flight lengths of particles with repeated rebounds from the impact surface and made it possible to justify the dimensions of the impact deck in the transverse direction 0,2 m and – 1,5 m in the longitudinal. As a result of the production tests it was found that the most acceptable initial speed is

УДК 665.73:54-41

ТЕХНІКО-СТРАХОВА ОЦІНКА ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ

О. М. Калівощко, М. Ф. Калівощко

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: alek-k@ukr.net; m.f.kalivoshko@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.

Бібл. 21, табл. 4, рис. 1.

Анотація. Використання паливо-мастильних матеріалів в Україні зростає, що пов'язано, передусім, з стрімким збільшенням кількості транспортних засобів. Це призводить до збільшення шкідливих викидів, розливів та проливів нафтопродуктів, що негативно впливає на екологічний стан навколишнього середовища. Показано, що нафтопродукти, які використовуються в народному господарстві, потрапляючи в ґрунт та водне середовище забруднюють їх. Очищення ґрунтів і води залежить від вибору методів, технологій та прийомів. Особливої популярності набуває метод сорбції (поглинання). Сорбція, при відносно невисоких затратах, здатна забезпечити, повну очистку від нафтопродуктів. Обґрунтовано ефективність вуглецевих сорбентів отриманих методом карбонізації з вторинної продукції рослинного походження. Сировиною для отримання вуглецевих сорбентів можуть бути тирса, стружка, солома, стебел, полова, листя. Їх об'єми для синтезу вуглецевих сорбентів практично не обмежені. Висвітлено суть процесу отримання вуглецевих сорбентів на базі рослинної сировини. Подано фізико-хімічні та структурно-сорбційні характеристики рослинної сировини та отриманих з неї вуглецевих сорбентів. Розкрито екологічні та економічні переваги вуглецевих сорбентів для очищення від нафтопродуктів, в порівнянні з іншими методами очищення.

Ключові слова: вуглецеві сорбенти, довкілля, інфраструктура, екологічна безпека, економічні показники, карбонізація, нафтопродукти, сорбенти, сорбційна ємність.

Постановка проблеми

Нафтопродукти досить поширені забруднювачі біосфери. Як вказує [2], з загальної кількості нафтопродуктів, що виробляється, майже 2% потрапляє в навколишнє середовище. Небезпеку становлять не лише самі нафтопродукти, а також і домішки, які вони можуть містити. При потраплянні в ґрунт та воду, вони, в наслідок хімічних реакцій та біологічного перетворень, здатні перетворюватися в

токсичні речовини, що завдають шкідливого впливу біоті. Очищення ґрунту та води від нафтопродуктів методом сорбції екологічно та економічно вигідне. Особливої ролі та значення набувають вуглецеві сорбенти на основі рослинної сировини. Дослідження суті процесів карбонізації, коли сировиною являється побічна продукція рослинного походження, фізико-хімічних та сорбційних властивостей вуглецевих сорбентів, процесів сорбції ними нафтопродуктів, екологічної та економічної оцінки і аналізу вуглецевих сорбентів потребують подальшої уваги та досліджень.

Аналіз останніх досліджень

Водне та ґрунтове середовища надзвичайно складні природні комплекси з широким спектром взаємозв'язків та взаємовідносин між живими організмами та природним середовищем, що склалися в процесі еволюції. Вони невід'ємна частина біосфери в якій відбуваються багатосторонні, стабільні перетворення життя [12]. Широке застосування продуктів нафтопереробки свідомо чи несвідомо призвело до значного забруднення ними довкілля [2], що викликало значні екологічні зміни водного та ґрунтового середовища [1, 2, 9]. Нафтопродукти перетворилися в дієвих забруднювачів довкілля, в першу чергу ґрунту та води [1]. Очищення ґрунтових та водних екосистем методом сорбції не втратило своєї актуальності [13, 14]. Сорбенти як ефективні та безпечні засоби були, а в останні десятиліття набувають ще більшого застосування в усіх галузях народного господарства, в тому числі і для очистки ґрунтів і води від нафтопродуктів [3, 9]. Увага приділяється отриманню, будові, властивостям, застосуванню вуглецевим сорбентам з побічної продукції сільського та комунального господарства, деревообробної промисловості [5-8, 10, 11]. На високу ефективність, доступність, екологічну безпечність вуглецевих сорбентів, коли сировиною для їх отримання є різноманітна побічна продукція рослинного походження, що накопичується безпосередньо в процесі виробництва вказують [3-8, 10, 11, 15-21]. Проте, природу отримання сорбції, в

процесі перетворення побічної продукції рослинного походження, комплексне використання різних видів вуглецевих сорбентів для очищення водних і ґрунтових екосистем, їх сорбційну, екологічну і економічну характеристики та оцінку, недостатньо глибоко вивчено.

Мета досліджень

Метою досліджень стало вивчення: структурних, сорбційних, поглинальних та фізико-хімічних, властивостей рослинної сировини та отриманих з неї вуглецевих сорбентів; техніки, технологічних процесів та технологій при отриманні вуглецевих сорбентів з побічної продукції рослинного походження; повноти очищення, екологічної та економічної переваги використання вуглецевих сорбентів при очищенні водного середовища і ґрунтів від нафтопродуктів.

Результати досліджень

Тирсі дерев, що накопичується у деревообробній промисловості, соломі, полові, як вторинній продукції сільськогосподарського виробництва, листю дерев, притаманні сорбційні властивості. Вони можуть безпосередньо застосовуватися як сорбенти для очищення від забруднення нафтопродуктами ґрунту та водного середовища. За даними (табл. 1), структурні та фізико-хімічні характеристики, поглинальні та сорбційні властивості кращі у тирси деревини, що мала вологість 60%, а найгірші – у листя дерев. При очищення ґрунтів і води від нафтопродуктів, в разі використання сорбентів рослинного походження, необхідно, враховувати не лише їх високі сорбційні та поглинальні властивості, а також практичність у використанні. Тому листя дерев через те, що воно легко переноситься (зноситься) вітром, практично важко використовувати в реальних умовах.

Таблиця 1. Поглинальні та сорбційні характеристики побічної рослинної продукції при вологості 60%.

Table 1. Absorption and sorption characteristics of plant by-products at a humidity of 60%.

Показник	Тирса			Солома	Листя
	сосни	горіха	берези		
Нафтоємність, г/г	2,7	2,3	1,9	1,6	1,1
СОЕ, мг-екв/г	2,6	1,9	1,6	0,3	0,2
Vs (H ₂ O), см ³ /г	1,0	0,05	0,04	0,04	0,04
Vs (C ₆ H ₆), см ³ /г	0,0-0,07	0,03	0,03	0,03	0,2
S _{пит.} , м ² /г	8,4	7,9	7,9	7,3	6,2

За результати наших досліджень та інших дослідників [3, 4, 8], сорбенти мають високу ефективність, коли сорбційна ємність дорівнює 2-3 г мг-екв/г та більше. З таблиці 1 видно, що

повністю відповідає таким вимогам лише тирса сосни та до певної міри горіха. Виходячи з того, що тирса сосни має найкращі фізико-хімічні, сорбційну та поглинальні характеристики та властивості серед інших сорбентів рослинного походження, ми провели дослідження її нафтоємності, при розмірах фракцій 1-3 мм та вологості (табл. 2).

Таблиця 2. Залежність нафтоємності тирси сосни (фракція 1-3 мм) від її вологості.

Table 2. The dependence of the oil content of pine sawdust (fraction 1-3 mm) on its humidity.

№ п/п	Вихідні показники вологості тирси сосни	а, г/г
1	Просушена при 90-110°C до 15%	3,6
2	Вологість 60 %	2,7
Підвищена вологість:		
3	100%	1,3
4	200%	0,6
5	400%	0 (тоне у воді)

Як показують дані таблиці 2, сорбційна ємність тирси сосни дуже залежна від вологості. При вологості 60% її сорбційна ємність нафтопродуктів становить 2,7 г/г, а висушеної, при температурі 90-110°C, сягає вже – 3,6 г/г. Зростання вмісту води в тирсі сосни призводить до обернено пропорційного зниження її сорбційної ємності, опускаючись при 400% до нуля. Отже, можна зробити висновок, що тирсу сосни можна ефективно використовувати як сорбент нафтопродуктів при вологості, що не перевищує 60%.

Підвищити ефективність сорбційної здатності матеріалів рослинного походження можливо використовуючи процес карбонізації.

Карбонізація – прийом отримання вуглецевих сорбентів з рослинної сировини при нагріванні вихідної сировини понад 120°C.

Оскільки, вуглеводнева частина побічної продукції рослинної природи складається з геміцелюлози та целюлози, то при карбонізації відбуваються процеси деструкції полімерних ланцюгів з виділенням смолистих речовин складної будови та великої кількості летких сполук.

Процес карбонізації ми досліджували через кожні 50°C, в діапазоні від 100 до 500°C.

Нами встановлено, що процес карбонізації розпочинається при температурі 120-130°C. В межах температур 200-250°C ідуть головні реакції розпаду целюлози, а в діапазоні 250-300°C лігніну, що супроводжуються виділенням простих вуглецевих сполук (оксиду вуглецю і вуглекислого газу), зрідженої суміші та смол. Причому на різних стадіях процесу карбонізації величина енергії активації деструктивних перетворень змінюється, тому що у різних температурних діапазонах відбувається розклад різних компонентів рослинних тканин, геміцелюлози, потім целюлози і лігніну (табл. 3).

Таким чином, отримані результати вказують на складність процесу карбонізації. Цей процес, очевидно, складається з комплексу елементарних

радикальних реакцій, які мають різні кінетичні параметри.

Особлива роль при сорбції різного роду забруднювачів належить лігніну. Його вміст як у вихідній сировині рослинного походження, так і в отриманих вуглецевих сорбентах відіграє важливу роль в сорбційних характеристиках сорбентів.

Таблиця 3. Температурні зони деструкції компонентів рослинної тканини.

Table 3. Temperature zones of destruction of plant tissue components.

Компонент	Температура зони деструкції, °C	Температура максимуму швидкості розкладання, °C
лігнін початок розкладу	160	
активний розклад лігніну 1 стадія	280-325	310-320
активний розклад лігніну 2 стадія	325-460	350-360
геміцелюлоза	160-280	250-260
целюлоза	220-370	290-300

Дослідження процесу карбонізації тирси сосни дозволило встановити, що при кожній досліджуваній температурі процесу карбонізації має певне оптимальне значення її тривалості, при якому нафтоємність карбонізату є максимальною, що графічно показано на рисунку 1.

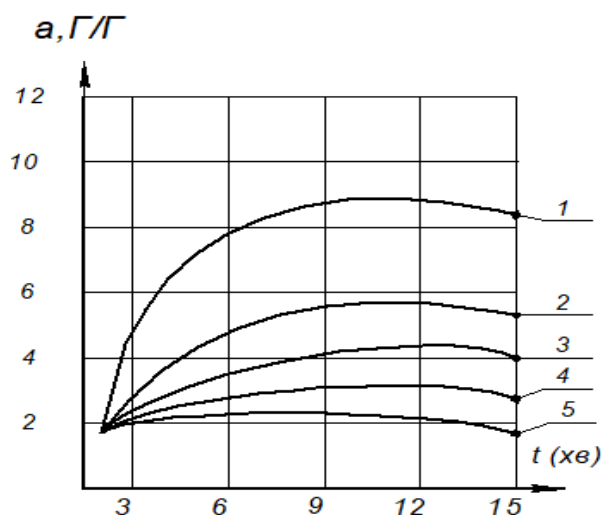


Рис. 1. Залежність величини нафтоємності вуглецевих сорбентів на основі рослинної сировини, при температурі карбонізації 300°C, від тривалості: 1 – тирса сосни, 2 – тирса горіха, 3 – тирса берези, 4 – солома, 5 – листя

Fig. 1. Dependence of the oil capacity value of carbon plant-based sorbents at a carbonization temperature of 300 °C, on the duration: 1 – pine sawdust, 2 – walnut sawdust, 3 – birch sawdust, 4 – straw, 5 – leaves.

Появу максимумів на рисунку 1 можна пояснити зміною пористої структури сорбентів та хімічними

перетвореннями поверхні вуглецевих матеріалів у процесі карбонізації.

Так, на початковій стадії процесу карбонізації тирси з різних порід дерев до 350°C, внаслідок вилучення вологи, летких простіших та смолистих складових, утворюються пори, що приводить до підвищення її сорбційної ємності нафтопродуктів до деякого максимального значення. При подальшій карбонізації (350-450°C), очевидно, відбувається вигорання вуглецю та, відповідно, збільшення кількості макропор, що змінює структуру карбонізаторів у сторону зменшення мікропористості. В соломі і листі дерев процеси карбонізації розпочинаються при температурі дещо нижчій і закінчуються до 300°C. Як бачимо, під впливом високих температур частково деградує пориста структура, що приводить до зниження сорбційної ємності карбонізату. Оптимальним режимом карбонізації тирси з різних порід дерев є 300 (± 10°C) та час 8-10 хвилин, а для соломи і листя дерев 250°C.

Як показали дослідження, отримані вуглецеві сорбенти, внаслідок карбонізації рослинної сировини, мають в декілька разів вищу нафтоємність та величину сорбції до нафтопродуктів, кращі фізико-хімічні показники, в порівнянні з вихідною продукцією (табл. 4). Слід відмітити, що у вуглецевих сорбентів з листя та соломи сорбційна ємність невисока і знаходиться в межах 0,3-0,5 мг-екв/г. Величина сорбції карбонізаторів з тирси горіха та берези знаходиться у діапазоні 1,9-2,2 мг-екв/г, а максимальна вона у тирси сосни та досягає 3,5 мг-екв/г. Слід звернути увагу на те, що нафтоємність вихідної сировини тирси дерев не дуже різнилася між собою. В той час як карбонізатор отриманий із тирси сосни має більшу ніж у 2 рази нафтоємність, в порівнянні з карбонізатами з тирси горіха та берези.

Таблиця 4. Поглинальні та сорбційні характеристики вуглецевих сорбентів із рослинної сировини, що мала вологість 60%

Table 4. Absorption and sorption characteristics of carbon sorbents from vegetable raw materials with a humidity of 60%

Показник	Тирса		
	сосни	горіха	берези
Нафтоємність, г/г	10,8	5,3	4,2
Vs (C ₆ H ₆), см ³ /г	0,09	0,05	0,04
Vs (H ₂ O), см ³ /г	0,12	0,09	0,07
COE, мг-екв/г	3,5	2,2	1,9
S _{пит} , м ² /г	12,8	9,7	9,6
Зольність, %	1	2,1	1

Показники сорбційної здатності вихідної рослинної сировини та вуглецевих сорбентів подані в таблицях 1 та 4 свідчать, що у процесі термічної обробки вона збільшується у півтора рази, а нафтоємності в 2,3-4,1 рази і становлять майже 11 г/г.

Важливе значення має оцінка фінансової та економічної доцільності використання сорбентів. При використанні побічної сировини рослинного походження в якості сорбентів, витрати при їх застосуванні, пов'язані з внесенням та збиранням.

Отримання вуглецевих сорбентів з побічної продукції рослинного походження ґрунтується на використанні процесів карбонізації, що обумовлено додатковими енергетичними витратами, а отже і здороженням сорбентів. Проте наші розрахунки показали, що внесення вуглецевих сорбентів більш доцільне ніж побічної сировини рослинного походження, з яких вони отримані. Карбонізовані вуглецеві сорбенти мають нафто ємністю у 3-4,1 рази вищу, в порівнянні з відповідними показниками вихідної сировини рослинного походження, тому їх вноситься відповідно в 3-4 рази менше, при тій самій сорбційній та нафто поглинальній ефективності. Фінансово-економічний аналіз застосування сорбентів показує, що витрати на використання побічної продукції рослинного походження як сорбентів вищі в порівнянні з вуглецевими сорбентами. Це обумовлено тим, що побічної продукції рослинного походження необхідно вносити і збирати в 3-4 рази більше, ніж відповідно вуглецевих сорбентів.

Внесення, а особливо збирання, сорбентів складний та, до певної міри, затратний процес. Процес карбонізації побічної сировини рослинного походження в 1,5-2 рази дешевший, ніж відповідне внесення та збирання в 3-4 рази більшої маси (об'єму) сорбентів. Крім того, при використанні побічної продукції рослинного походження, в якості сорбентів, необхідно їх мати в 3-4 рази більше, що на практиці не завжди буває можливим. Побічна продукція рослинного походження, в залежності від технологій, часто використовується як джерело енергії, при отриманні вуглецевих сорбентів, що здешевлює їх виробництво. Процес утилізації більшої маси сорбентів потребує додаткових витрат та пов'язаний з екологічними наслідками.

Висновки

1. Карбонізацію побічної рослинної продукції доцільно проводити при температурі в межах 200-300°C на протязі 8-10 хв., що підвищує поглинальні та структурно-сорбційні характеристики вуглецевих сорбентів.

2. Вуглецеві сорбенти отримані в процесі карбонізації мають сорбційну ємність у 1,5 рази, а нафто ємність у 2,3-4,1 рази вищу в порівнянні з відповідними показниками вихідної продукції рослинного походження.

3. Вуглецеві сорбенти отримані з тирси сосни мають у 1,5-4 рази вищі сорбційні характеристики в порівнянні з карбонізатами отриманими з тирси горіха і берези, соломи та листя дерев.

4. Застосування вуглецевих сорбентів фінансово-економічно та екологічно більш доцільно, ніж безпосередньо побічної продукції рослинного походження.

Список літератури

1. Hassan A. Review of the global oil and gas industry: a concise journey from ancient time to modern

world. *Petroleum Technology Development Journal*. 2019. Vol. 3(2). P. 123-141.

2. Diemer R. Transport in the European Union – current trends and issues. *Mobility and Transport*. 2019. Vol. B-1049. P. 143-191.

3. Cruz J. F., Matejova L., Pirilä M., Ainassaari K., Canepa C., Mousavi S. M. A comparative study on activated carbons derived from a broad range of agro-industrial wastes in removal of large-molecular-size organic pollutants in aqueous phase (water, air, and soil pollution). *Water Air and Soil Pollution*. 2015. Vol. 226(11). P. 213-235. doi 10.1007/s11270-015-2540-1.

4. Morteza A., Mohammad Reza Masnavi M. R., Khalighi N. Use of natural purification of water cycle and water management as a solution towards eco-design. *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society*. 2012. Vol. 7. P. 6-18. doi 10.1007/978-94-007-3010-6_18.

5. Koumanova B. Fate of chemicals in the aquatic environment. *Chemicals as Intentional and Accidental Global Environmental Threats*. 2016. Vol. XVIII. P. 93-103.

6. Azat S., Pavlenko V. V., Kerimkulova A. R., Mansurov Z. A. (2012). Synthesis and structure determination of carbonized nano mesoporous materials based on vegetable raw materials. *Advanced Materials Research*. 535. 1041-1045. doi 10.4028/www.scientific.net/AMR.535-537.1041.

7. Pinchevska O., Sedliačik J., Horbachova O., Spirochkin A., Rohovskyi I. Properties of hornbeam (*Carpinus betulus*) wood thermally treated under different conditions. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*. 2019. Vol. 61(2). P. 25-39. doi: 10.17423/afx.2019.61.2.03.

8. Ngene S., Tota-Maharaj K., Eke P., Hills C. Environmental and economic impacts of crude oil and natural gas production in developing countries. *International Journal of Economy, Energy and Environment*. 2016. Vol. 1(3). P. 64-73. doi 10.11648/j.ijee.20160103.13.

9. Sun Y., Webley P. A. Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. *Chemical Engineering Journal*. 2010. Vol. 162(3). P. 883-892.

10. Mohan D., Pittman C. U., Steele P. H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy and Fuels*. 2006. Vol. 20(3). P. 848-889.

11. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 57(1). P. 141-146.

12. Ahmad F., Daud W. W., Ahmad M. A., Radzi R. Shell-based activated carbon by CO₂ activation in removing of cationic dye from aqueous solution: kinetics and equilibrium studies. *Chemical Engineering Research and Design*. 2012. Vol. 90(10). P. 1480-1490.

13. Nieto-Delgado C., Rangel-Mendez J. R. In situ transformation of agave bagasse into activated carbon by use of an environmental scanning electron microscope. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2013. Vol. 167. P. 249-253.

14. Haiping Y., Yan R., Chen H., Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel Journal*. 2007. Vol. 86(12-13). P. 1781-1788. doi 10.1016/j.fuel.2006.12.013.
15. Widner K., Naisse C., Rumpel C., Glaser B. Chemical modification of biomass residues during hydrothermal carbonization. *Organic Geochemistry*. 2013. Vol. 54. P. 91-100. doi 10.1016/j.orggeochem.2012.10.006.
16. Coq L. L., Duga A. Syngas treatment unit for small scale gasification-application to IC engine gas quality requirement. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2012. Vol. 5(1). P. 95-103.
17. Dias J. M., Alvim-Ferraz M., Almeida M. F., Rivera-Utrilla J., Sánchez-Polo M. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. *Journal of Environmental Management*. 2007. Vol. 85(4). P. 833-846.
18. Klavins M., Porshnov D. Development of a new peat-based oil sorbent using peat pyrolysis. *Environmental Technology*. 2013. Vol. 34(9-12). P. 1577-1582. doi 10.1080/09593330.2012.758668.
19. Kovalenko O., Novoseltseva V., Kovalenko N. Biosorbents – prospective materials for heavy metal ions extraction from wastewater. *Food Science and Technology*. 2018. Vol. 12(1). P. 118-122. doi 10.15673/fst.v12i1.841.
20. Rogovskii I. L., Kalivoshko O. M., Maksimovich K. Yu., Maksimovich E. Yu. Research of mixed carbon sorbents for removal of oil products from water and soil for preservation of environmental infrastructure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 720. P. 012108. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012108>.
21. Rogovskii I. L., Kalivoshko S. M., Voinash S. A., Korshunova E. E., Sokolova V. A., Obukhova I. A., Kebko V. D. Research of absorbing properties of carbon sorbents for purification of aquatic environment from oil products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 548. P. 062040. doi:10.1088/1755-1315/548/6/062040.
22. Hassan A. (2019). Review of the global oil and gas industry: a concise journey from ancient time to modern world. *Petroleum Technology Development Journal*. 3(2). 123-141.
23. Diemer R. (2019). Transport in the European Union – current trends and issues. *Mobility and Transport*. B-1049. 143-191.
24. Cruz J. F., Matejova L., Pirilä M., Ainassaari K., Canepa C., Mousavi S. M. (2015). A comparative study on activated carbons derived from a broad range of agro-industrial wastes in removal of large-molecular-size organic pollutants in aqueous phase (water, air, and soil pollution). *Water Air and Soil Pollution*. 226(11). 213-235. doi 10.1007/s11270-015-2540-1.
25. Morteza A., Mohammad Reza Masnavi M. R., Khalighi N. (2012). Use of natural purification of water cycle and water management as a solution towards eco-design. *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society*. 7. 6-18. doi 10.1007/978-94-007-3010-6_18.
26. Koumanova B. (2006). Fate of chemicals in the aquatic environment. *Chemicals as Intentional and Accidental Global Environmental Threats*. XVIII. 93-103.
27. Azat S., Pavlenko V. V., Kerimkulova A. R., Mansurov Z. A. (2012). Synthesis and structure determination of carbonized nano mesoporous materials based on vegetable raw materials. *Advanced Materials Research*. 535. 1041-1045. doi 10.4028/www.scientific.net/AMR.535-537.1041.
28. Pinchevska O., Sedliačik J., Horbachova O., Spirochkin A., Rohovsky I. (2019). Properties of hornbeam (*Carpinus betulus*) wood thermally treated under different conditions. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 61(2). 25-39. doi: 10.17423/afx.2019.61.2.03.
29. Ngene S., Tota-Maharaj K., Eke P., Hills C. (2016). Environmental and economic impacts of crude oil and natural gas production in developing countries. *International Journal of Economy, Energy and Environment*. 1(3). 64-73. doi 10.11648/j.ijeee.20160103.13.
30. Sun Y., Webley P. A. (2010). Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. *Chemical Engineering Journal*. 162(3). 883-892.
31. Mohan D., Pittman C. U., Steele P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy and Fuels*. 20(3). 848-889.
32. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. (2019). Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH Agricultural Engineering*. 57(1). 141-146.
33. Ahmad F., Daud W. W., Ahmad M. A., Radzi R. (2012). Shell-based activated carbon by CO₂ activation in removing of cationic dye from aqueous solution: kinetics and equilibrium studies. *Chemical Engineering Research and Design*. 90(10). 1480-1490.
34. Nieto-Delgado C., Rangel-Mendez J. R. (2013) In situ transformation of agave bagasse into activated carbon by use of an environmental scanning electron microscope. *Microporous and Mesoporous Materials*. 167. 249-253.
35. Haiping Y., Yan R., Chen H., Zheng C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel Journal*. 86(12-13). 1781-1788. doi 10.1016/j.fuel.2006.12.013.
36. Widner K., Naisse C., Rumpel C., Glaser B. (2013). Chemical modification of biomass residues during hydrothermal carbonization. *Organic Geochemistry*. 54. 91-100. doi 10.1016/j.orggeochem.2012.10.006.
37. Coq L. L., Duga A. (2012). Syngas treatment unit for small scale gasification-application to IC engine gas quality requirement. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 5(1). 95-103.
38. Dias J. M., Alvim-Ferraz M., Almeida M. F., Rivera-Utrilla J., Sánchez-Polo M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. *Journal of Environmental Management*. 85(4). 833-846.

References

18. Klavins M., Porshnov D. (2013). Development of a new peat-based oil sorbent using peat pyrolysis. *Environmental Technology*. 34(9-12). 1577-1582. doi 10.1080/09593330.2012.758668.

19. Kovalenko O., Novoseltseva V., Kovalenko N. (2018). Biosorbents – prospective materials for heavy metal ions extraction from wastewater. *Food Science and Technology*. 12(1). 118-122. doi 10.15673/fst.v12i1.841.

20. Rogovskii I. L., Kalivoshko O. M., Maksimovich K. Yu., Maksimovich E. Yu. (2021). Research of mixed carbon sorbents for removal of oil products from water and soil for preservation of environmental infrastructure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 720. 012108. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012108>.

21. Rogovskii I. L., Kalivoshko S. M., Voinash S. A., Korshunova E. E., Sokolova V. A., Obukhova I. A., Kebko V. D. (2020). Research of absorbing properties of carbon sorbents for purification of aquatic environment from oil products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 548. 062040. doi:10.1088/1755-1315/548/6/062040.

ТЕХНИКО-СТРАХОВАЯ ОЦЕНКА УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

А. Н. Каливошко, Н. Ф. Каливошко

Аннотация. Использование горюче-смазочных материалов в Украине увеличивается, что связано, прежде всего, со стремительным увеличением количества транспортных средств. Это приводит к увеличению вредных выбросов, разливов и проливов нефтепродуктов, что оказывает вредное влияние на внешнюю среду. Показано, что нефтепродукты, которые используются в народном хозяйстве, попадая в почву и воду, загрязняют их. Очистка почвы и воды зависит от выбора методов, технологий и приемов. Особую популярность приобретает метод сорбции (поглощения). Сорбция, при относительно не высоких затратах, способна обеспечить, полную очистку от нефтепродуктов. Обосновано эффективность углеродных сорбентов полученных методом карбонизации вторичной продукции растительного происхождения. Сырьем для получения углеродных сорбентов могут быть опилки, стружка, солома, стебли, солома, листья. Их объемы для синтеза углеродных сорбентов практически не ограничены. Освещено суть процесса получения углеродных сорбентов на базе растительного сырья. Представлены физико-химические и структурно-сорбционные характеристики растительного сырья, а также полученных с него углеродных сорбентов. Раскрыты экологические и экономические преимущества углеродных сорбентов для очистки от нефтепродуктов в сравнении с другими методами очистки.

Ключевые слова: углеродные сорбенты, внешняя среда, инфраструктура, экологическая безопасность, экономические показатели, карбонизация, нефтепродукты, сорбенты, сорбционная емкость.

TECHNICAL AND INSURANCE EVALUATION OF CARBON SORBENTS ON BASIS OF VEGETABLE RAW MATERIALS FOR PURIFICATION OF PETROLEUM PRODUCTS O. M. Kalivoshko, M. F. Kalivoshko

Abstract. The use of fuels and lubricants in Ukraine is rising, primarily due to a rapid growth in the number of vehicles. This results in an increase in harmful emissions, flowout and spills of petroleum products, which negatively affects the ecological condition of the environment. It is revealed that oil products used in the national economy, getting into the soil and aquatic environment pollute them. Soil and water purification depends on the choice of methods, technologies and techniques. The method of sorption (absorption). Sorption, at relatively low cost, is able to provide complete purification from petrochemicals. The efficiency of carbon sorbents obtained by carbonization from secondary products of plant origin is substantiated. Raw materials for production of carbon sorbents can be sawdust, shavings, straw, stems, chaff, leaves. Their quantity for the synthesis of carbon sorbents is practically unlimited. The essence of the process of obtaining carbon sorbents on the basis of plant raw materials is highlighted. The physicochemical and structural sorption characteristics of plant raw materials and carbon sorbents obtained from it are presented. Advantages of carbon sorbents for purification from oil products in comparison with other purification methods are revealed.

Key words: carbon sorbents, environment, infrastructure, ecological safety, economic indicators, carbonization, oil products, sorbents, sorption capacity.

О. М. Калівошко ORCID 0000-0003-0417-4529.

М. Ф. Калівошко ORCID 0000-0001-8450-940X.

УДК 621.891

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗМАЩУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ФУЛЕРЕНОВИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В МАГІСТРАЛЬНОМУ ЦИКЛІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

А. Г. Кравцов, М. В. Карнаух

Державний біотехнологічний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 131 – прикладна механіка.

Кореспонденція авторів: kravcov_84@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.

Бібл. 8, рис. 2, табл. 2.

Анотація. Виконано оцінку паливної економічності автомобіля при експлуатації з використанням змащувальних матеріалів (моторні та трансмісійні оливи) з фулереновими композиціями за магістральним їздовим циклом. Фулеренові композиції додавалися до моторної та трансмісійної оливи в концентрації 10% мас. Керівним документом, який визначає порядок випробувань автотранспортних засобів на паливну економічність, є ГОСТ 20306.

Випробування по магістральному циклу проводились на вантажному автомобілі ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього середовища +20°C (літній період експлуатації) та при температурі навколишнього середовища -5°C (зимовий період експлуатації).

Встановлено, що при експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у літній період експлуатації застосування фулеренової композиції одночасно в моторній і трансмісійній оливах зменшує витрату палива автомобіля на 15,43...18,34%. При цьому величина 18,34% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m=0$), а величини 15,43% – пробігу з вантажем ($m=3000$ кг). Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,031...0,044. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 3,1...4,4%.

При експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у зимовий період експлуатації застосування фулеренової композиції (концентрація 10% мас) одночасно в моторній оливі і трансмісійній оливі зменшує витрату палива на 14,25...16,14%. При цьому величина 16,14% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m=0$), а величини 14,25% – пробігу з вантажем ($m=3000$ кг). Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,046...0,035. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 4,6...3,5%.

Ключові слова: експлуатація; вантажні автомобілі; моторні оливи; трансмісійні оливи; фулерени, фулеренові композиції; об’ємна витрата палива; магістральний їздовий цикл

Постановка проблеми

В останні роки з’явилася низка наукових статей, де представлено результати досліджень впливу фулеренових домішок до мастильних матеріалів на процеси тертя і зношування металів і зроблено висновок про перспективність використання таких домішок до рідких мастильних матеріалів. Цікавою і важливою особливістю фулеренових домішок стало те, що фулерени добре розчиняються в широкому класі органічних і неорганічних розчинників. При цьому відзначено погана розчинність фулеренів в технічних оливах (мінеральних, напівсинтетичних і синтетичних).

Ще одним цікавим явищем, які спостерігаються в розчинах фулерена C₆₀, є процеси утворення і зростання кластерів, які вказують на близькість багатьох розчинів C₆₀ до класу колоїдних систем. Визначальним моментом цього явища служить той факт, що розмір фулерена лежить на межі визначення поняття колоїдної частинки (згідно колоїдної хімії колоїдні частинки мають розміри від одного нанометра до декількох мікрометрів). Великий вплив на цей процес також надає полярність розчинника.

Використання добавок фулеренів до технічних рідких мастильних матеріалів ставить ряд питань про їх ефективність, тобто впливу на протизносні і антифрикційні властивості. Інтерес до даного явища має як фундаментальний, так і прикладний характер, що дозволить розробляти концепції їх застосування.

Аналіз останніх досліджень

Авторами роботи [1] представлено огляд літератури з мастильних матеріалів з додаванням наночастинок. Проаналізовано вплив наночастинок на триботехнічні характеристики оливи. У роботі відзначено, що використання нанододатків до мастильних матеріалів призводить до підвищення в’язкості базового середовища, високої несучої здатності трибосполучень, зниження коефіцієнта тертя, підвищення зносостійкості. Робота [2] містить

висновки, що останнім часом зусилля зосереджені на розробці і використанні вуглецевих наноматеріалів як домішок до технічних олив для експлуатації автомобілів. В огляді представлено основні досягнення за рахунок вуглецевих нанозмащувальних матеріалів, які будуть визначати майбутні розробки.

Робота [3] присвячена трибологічним характеристикам вуглецевих наночастинок, диспергованих у поліальфаолефіновій оливі. Результати показують поліпшену теплопередачу від контакту при наявності наночастинок, навіть при низьких рівнях концентрацій. Це приводить до більш високої в'язкості мастильного матеріалу, несучої здатності і зниження тертя.

У роботі [4] вивчався вплив вуглецевих наноматеріалів у різних концентраціях на деякі властивості моторних олив. Були вивчені в'язкість, температура застигання, температура спалаху і теплопровідність як чотири параметри якості, які впливають на функціональність моторної оливи. Згідно з отриманими результатами, теплопровідність і температура спалаху наноолив з 0,1% мас, сприяє поліпшенню параметрів якості на 6,7...13,2% відповідно в порівнянні з базовою оливою. Аналогічні результати отримані авторами роботи [5], де показана ефективність застосування наноматеріалів у базових синтетичних оливах.

Авторами роботи [6] обґрунтовано напрям, де використовується попереднє диспергування фулеренів у розчинниках, наприклад, рослинних високоолеїнових оліях, а потім введення таких композицій в технічні оливи. На думку авторів роботи, таке використання фулеренів дає кращий позитивний ефект, ніж додавання фулеренів у вигляді нанопорошків в базові мастильні матеріали.

В роботі [7] наведено експериментальні дослідження ефективності застосування фулеренових композицій у моторних оливах і ступеня їх впливу на ефективну потужність і питому витрату палива дизельного двигуна. Маса фулеренової композиції 100 г на один кілограм моторної оливи. Склад фулеренової композиції – 0,75 г фулеренів і 99,25 г рослинної ріпакової олії. Загальна маса фулеренової композиції 100 г вводилася в 1000 г базовий моторний оливи М-10Г2к, (10% мас) [8]. Авторами експериментальним шляхом отримані залежності ефективної потужності і питомої витрати палива при застосуванні в моторних оливах фулеренової композиції. Встановлено, що використання моторної оливи з фулереновою композицією дозволяє отримати наступні показники під час випробування дизеля Д-243 на стенді: ефективна потужність дизеля збільшилась зі значень 60 кВт до значень 64,56 кВт, тобто на 7,5%; питома витрата палива зменшилась зі значень 220 г/кВт×год до значень 186 г/кВт×год, тобто на 15,45%. На основі отриманих експериментальних результатів зроблено висновки, що використання фулеренової композиції в моторних оливах дозволяє знизити питому витрату палива двигуном, що приведе до економії палива під час експлуатації транспортних засобів без зменшення їх ефективної потужності.

З аналізу представленого матеріалу можна зробити висновок, що застосування фулеренових

композицій у технічних мастильних матеріалах є перспективним напрямком, наприклад, для експлуатації транспортних засобів. Це дозволить знизити втрати на тертя в агрегатах автомобілів, що приведе до економії палива при одночасному зниженні швидкості зношування матеріалів трибосистем, що буде сприяти збільшенню ресурсу.

Мета досліджень

Метою роботи є експериментальне дослідження ефективності застосування фулеренових композицій у моторних та трансмісійних оливах агрегатів засобів транспорту і ступеня їх впливу на витрати палива.

Результати досліджень

Керівним документом, який визначає порядок випробувань автотранспортних засобів на паливну економічність, є ГОСТ 20306. Цей стандарт встановлює такі показники паливної економічності автотранспортних засобів:

- ☐ контрольна витрата палива;
- ☐ витрата палива в магістральному циклі на дорозі;
- ☐ витрата палива в міському циклі на дорозі.

Визначення зазначених вище показників регламентується відповідною програмою випробувань – їздовими циклами.

Згідно ГОСТ 20306 для вантажних автомобілів повною масою, яка перевищує 3,5 т, в якості програми випробувань застосовується магістральний їздовий цикл на дорозі. Номери операцій при виконанні такого циклу, послідовність операцій і відмітка шляху в метрах представлено на рис. 1, довжина вимірювальної ділянки дорівнює 4000 м.

Випробувальні заїзди проводилися на кільцевій дорозі в одному напрямку і для підвищення точності вимірювань повторювалися не менше трьох разів, що відповідає вимогам стандарту ГОСТ 20306.

Відстань кільцевої дороги завдовжки в 4000 м вибиралася без ухилів і поворотів і попередньо розмічалась пропорційно з номером початку операції, що виключало помилки водія-випробувача при виконанні їздового циклу.

Розгін, уповільнення при гальмуванні двигуном або службове гальмування при включеній передачі із застосуванням робочих гальм здійснювалися відповідно до вимог зазначеного вище стандарту.

У момент перетину позначки “нуль” включалися прилади реєстрації, які вимірювали час руху з точністю 0,1 с і об'ємну витрату палива з точністю 1,0 см³.

Для виміру витрати палива в умовах їздових циклів використаний наступний пристрій, який складається з трьох блоків. Датчика витрати палива, який встановлюються поруч з паливним баком, електронного блока комутації, блока індикації та керування. Датчик витрати палива встановлюється в магістраль подачі палива перед фільтром-відстійником вантажного автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок”.

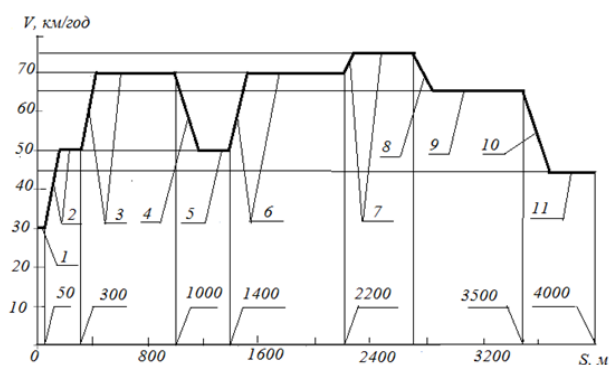


Рис. 1. Схема магістрального циклу на дорозі для вантажних автомобілів повною масою, яка перевищує 3,5 т: 1 – рух зі швидкістю 30 км/год; 2 – розгін до швидкості 50 км/год і рух з цією швидкістю; 3 – розгін до швидкості 70 км/год і рух з цією швидкістю; 4 – уповільнення двигуном до швидкості 50 км/год; 5 – рух зі швидкістю 50 км/год; 6 – розгін до швидкості 70 км/год і рух з цією швидкістю; 7 – розгін до швидкості 75 км/год і рух з цією швидкістю; 8 – уповільнення двигуном до швидкості 65 км/год; 9 – рух зі швидкістю 65 км/год; 10 – уповільнення двигуном до швидкості 45 км/год; 11 – рух зі швидкістю 45 км/год.

Fig. 1. Scheme of the main cycle on the road for trucks with a gross weight exceeding 3.5 tons: 1 – movement at a speed of 30 km/h; 2 – acceleration to a speed of 50 km/h and movement at this speed; 3 – acceleration to a speed of 70 km/h and movement at this speed; 4 – deceleration by the engine to a speed of 50 km/h; 5 – movement at a speed of 50 km/h; 6 – acceleration to a speed of 70 km/h and movement at this speed; 7 – acceleration to a speed of 75 km/h and movement at this speed; 8 – deceleration by the engine to a speed of 65 km/h; 9 – movement at a speed of 65 km/h; 10 – deceleration by the engine to a speed of 45 km/h; 11 – movement at a speed of 45 km/h.



Рис. 2. Зовнішній вигляд вимірювального комплексу для визначення витрати палива: 1 – датчик витрати палива; 2 – електронний блок комутації; 3 – блок індикації та керування; 4 – впускний отвір; 5 – випускний отвір.

Fig. 2. Appearance of the measuring complex to determine fuel consumption: 1 – fuel consumption sensor; 2 – electronic switching unit; 3 – display and control unit; 4 – inlet; 5 – outlet.

Датчик витрати палива функціонує як об'ємний витратомір і реєструє об'єм палива см^3 , який пройшов через нього.

Комплект обладнання, який застосовувався для виконання їздових циклів, наведено на рис 2. Як блок індикації і управління використовувався персональний комп'ютер зі спеціально написаною програмою обробки інформації.

За виміряним значенням часу проходження їздових циклів t , с, та об'ємної витрати палива Q , см^3 , згідно ГОСТ 20306 розраховувалися наступні показники:

- середня швидкість руху автотранспортного засобу за випробувальний цикл довжиною 4000 м:

$$V_{cp} = \frac{3,6 \cdot S}{t_{cp}}, \text{ км/год}, \quad (1)$$

- середня витрата палива:

$$Q_{cp} = \frac{25 \cdot Q}{S}, \text{ л/100км} \quad (2)$$

де S – довжина вимірювальної ділянки, дорівнює 4000 м; t_{cp} – середній час, витрачений на проїзд вимірювальної ділянки, с; Q – об'ємна витрата палива, яка вимірюється витратоміром – за випробувальний цикл на ділянці довжиною 4000 м, см^3 .

Результати досліджень

Випробування по магістральному циклу проводилися на вантажному автомобілі ЗІЛ-5301 “Бичок”, який мав загальний пробіг від початку експлуатації 20 тис. км. На автомобілі встановлений дизельний двигун Д 245.12 з турбонаддувом потужністю 73 кВт і питомою витратою палива $q=245 \text{ гр/кВт} \times \text{год}$.

Випробування проводилися на кільцевій дорозі з прямолінійною ділянкою. Перед початком випробувань прогрівали всі агрегати автомобіля пробігом кільцевою дорогою не менше 50 км при швидкості 2/3 від максимальної.

Контрольні заїзди починалися на автомобілі, де використовувалися змащувальні матеріали згідно до керівництва з експлуатації. В системі мащення двигуна моторна олива М-10Г2к (API CC, SAE 40), агрегатах трансмісії – трансмісійна олива ТАД-17и (API GL-5, SAE 85W90). Контрольні заїзди повторювалися тричі. При цьому реєстрували час виконання заїзду за допомогою таймера і об'ємну витрату палива за допомогою витратоміра в см^3 .

Після завершення трьох заїздів, де використовувалися моторна та трансмісійна оливи згідно з керівництвом з експлуатації, оливи підлягали заміні. В змащувальні матеріали добавляли фулеренову композицію 10% мас. Після зміни змащувальних матеріалів автомобіль виконував пробіг кільцевою дорогою не менше 30 км, після чого виконували три контрольних заїзди з реєстрацією часу заїзду та об'ємної витрати палива.

Результати випробувань по магістральному циклу при температурі навколишнього повітря $+20^\circ\text{C}$ (літній період експлуатації) представлено в таблиці 1.

У таблиці 1 наведені середні значення часу випробувань t_{cp} за трьома заїздами, об'ємної витрати палива Q , за результатами вимірювання витратоміру, а також розрахункові значення середньої швидкості руху, формула (1), середньої витрати палива, формула (2).

Середньоквадратичне відхилення величини витрати палива визначали за формулою:

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{cp})^2}, \quad (3)$$

де S_Q – середньоквадратичне відхилення величини витрати палива, л/100 км; n – кількість повторів, дорівнює 3; Q_i – витрата палива при кожному заїзді, л/100 км; Q_{cp} – середня витрата палива за трьома заїздами, л/100 км.

Коефіцієнт варіації величини витрати палива визначали за виразом:

$$v_Q = \frac{S_Q}{Q_{cp}}. \quad (4)$$

Відсоток зменшення витрати палива при застосуванні фулеренової композиції у змащувальних матеріалах у порівнянні з штатним режимом експлуатації:

$$\varepsilon = \frac{Q_{um} - Q_{fk}}{Q_{um}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де Q_{um} – витрата палива автомобілем в штатному режимі експлуатації, л/100 км; Q_{fk} – витрата палива автомобілем при застосуванні фулеренової композиції в змащувальних матеріалах, л/100 км.

З аналізу результатів, наведених у таблиці 1, можна зробити такі висновки. Застосування фулеренової композиції (концентрація 10% мас) одночасно в моторній оливі і трансмісійній оливі, зменшує витрату палива автомобіля в літній період експлуатації на 15,43...18,34%. При цьому величина 18,34% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m = 0$), а величини 15,43% – пробігу з вантажем ($m = 3000$ кг).

Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,031...0,044. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювання знаходиться в межах 3,1...4,4%.

Отриманий результат зменшення витрати палива, рівний 18,34...15,43% збігається з результатами стендових випробувань дизеля Д-243, які наведено в роботі [7].

Однозначно, збільшення маси перевезеного вантажу призводить до зменшення ефекту зниження витрати палива і збільшення похибки вимірювань, при цьому коефіцієнт варіації не перевищує значення 0,044.

Таблиця 1. Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього повітря +20°C.

Table 1. Test results of the car ZIL-5301 "Bichok" on the main cycle at an ambient temperature of +20°C.

Маса вантажу m , кг	Час випробування t_{cp} , с	Об'ємна витрата палива Q , см ³	Середня швидкість руху V_{cp} , км/год	Витрата палива Q_{cp} , л/100 км	Середньо квадратичне відхилення S_Q , л/100 км	Коефіцієнт варіації v_Q	Відсоток зменшення ε , %
Штатний режим експлуатації							
0	235,2	2608	61,22	16,30	0,65	0,038	-
1500	239,8	2805	60,05	17,53	0,73	0,041	-
3000	245,9	2944	58,56	18,40	0,86	0,044	-
Фулеренові композиції в змащувальних матеріалах 10% мас.							
0	230,3	2130	62,52	13,31	0,58	0,031	18,34
1500	235,4	2306	61,17	14,41	0,66	0,033	17,79
3000	240,8	2490	59,80	15,56	0,74	0,038	15,43

Таблиця 2. Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього повітря -5°C.

Table 2. Test results of the car ZIL-5301 "Bichok" on the main cycle at ambient temperature -5°C.

Маса вантажу m , кг	Час випробування t_{cp} , с	Об'ємна витрата палива Q , см ³	Середня швидкість руху V_{cp} , км/год	Витрата палива Q_{cp} , л/100 км	Середньо квадратичне відхилення S_Q , л/100 км	Коефіцієнт варіації v_Q	Відсоток зменшення ε , %
Штатний режим експлуатації							
0	248,4	2805	57,97	17,53	0,73	0,04	-
1500	252,6	3010	57,0	18,81	0,85	0,043	-
3000	258,6	3154	55,68	19,71	0,97	0,046	-
Фулеренові композиції в змащувальних матеріалах 10% мас.							
0	240,3	2352	59,92	14,7	0,68	0,035	16,14
1500	248,1	2530	58,04	15,81	0,74	0,039	15,94
3000	252,8	2704	56,96	16,90	0,83	0,041	14,25

Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі повітря -5°C , зимовий період експлуатації, представлено в таблиці 2.

Перед початком випробувань було виконано всі вимоги стандарту ГОСТ 20306, викладені вище. Систему опалення кабіни водія було підключено до роботи.

З аналізу результатів, наведених у таблиці 2, можна зробити такі висновки. Застосування фулеренової композиції (концентрація 10% мас) одночасно в моторній оливі і трансмісійній оливі, в зимовий період експлуатації автомобіля, зменшує витрату палива на 14,25...16,14%. При цьому величина 16,14% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m = 0$), а величини 14,25% – пробігу з вантажем ($m = 3000 \text{ кг}$).

Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,046...0,035. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 4,6...3,5%.

Висновки

1. Виконано оцінку паливної економічності автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” при експлуатації з використанням змащувальних матеріалів (моторні та трансмісійні оливи) з фулереновими композиціями за магістральним їздовим циклом. Фулеренові композиції додавалися до моторної та трансмісійної оливи в концентрації 10% мас.

2. Встановлено, що при експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у літній період експлуатації застосування фулеренової композиції одночасно в моторній і трансмісійній оливах, зменшує витрату палива автомобіля на 15,43...18,34%. При цьому величина 18,34% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m = 0$), а величини 15,43% – пробігу з вантажем ($m = 3000 \text{ кг}$). Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,031...0,044. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 3,1...4,4%.

3. При експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у зимовий період експлуатації застосування фулеренової композиції (концентрація 10% мас) одночасно в моторній оливі і трансмісійній оливі, зменшує витрату палива на 14,25...16,14%. При цьому величина 16,14% відповідає пробігу автомобіля без вантажу ($m = 0$), а величини 14,25% – пробігу з вантажем ($m = 3000 \text{ кг}$). Коефіцієнт варіації вимірюваної величини витрати палива склав 0,046...0,035. Це дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань знаходиться в межах 4,6...3,5%.

Список літератури

1. Anurag Singh, Prashant Chauhan, Mamatha T. G. A review on tribological performance of lubricants with nanoparticles additives. Materials today: proceedings 2020. Vol. 25. P. 4. P. 586-591. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.245>.

2. Ankit Kotia, Krishna Chowdary, Isha Srivastava, Subrata Kumar Ghosh, Mohamed Kamal Ahmed Ali. Carbon nanomaterials as friction modifiers in automotive engines: recent progress and perspectives. Journal of Molecular Liquids. 2020. Vol. 310. 15 July 2020. P. 113-200. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113200>.

3. Shahmohamadi H., Rahmani R., Rahnejat H., Garner C. P., Balodimos N. Thermohydrodynamics of lubricant flow with carbon nanoparticles in tribological contacts. Tribology International. 2017. Vol. 113. September 2017. P. 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.12.048>

4. Ehsan-o-llah Etefaghi, Hojjat Ahmadi, Alimorad Rashidi, Amideddin Nouralishahi, Seyed Saeid Mohtasebi. Preparation and thermal properties of oil-based nanofluid from multi-walled carbon nanotubes and engine oil as nano-lubricant. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2013. Vol. 46. August 2013. P. 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.05.003>.

5. Ohmae N., Liu J. Nanotribology and nanoscale materials coatings for lubricants. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. 2016. P. 5-9. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.00615-9>.

6. Vojtov V. A., Kravcov A. G., Tsybaly B. M. Evaluation of tribotechnical characteristics of tribosystems in the presence of fullerenes in the lubricant. Friction and Wear. 2020. Vol. 41. No. 6. P. 704-710. <https://doi.org/10.3103/S1068366620060197>.

7. Кравцов А. Г. Оцінка ефективності застосування фулеренових композицій в моторних оливах при експлуатації ДВЗ. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2020. № 21. С. 41-49. <https://doi.org/10.37700/ts.2020.21.41-49>.

8. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3 (5 (105)). P. 19-29. doi: 10.15587/1729-4061.2020.206073.

References

1. Anurag Singh, Prashant Chauhan, Mamatha T. G. (2020). A review on tribological performance of lubricants with nanoparticles additives. Materials today: proceedings. 25(4). 586-591. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.245>.

2. Ankit Kotia, Krishna Chowdary, Isha Srivastava, Subrata Kumar Ghosh, Mohamed Kamal Ahmed Ali. (2020). Carbon nanomaterials as friction modifiers in automotive engines: recent progress and perspectives. Journal of Molecular Liquids. 310. 15 July 2020. 113-200. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113200>.

3. Shahmohamadi H., Rahmani R., Rahnejat H., Garner C. P., Balodimos N. (2017). Thermohydrodynamics of lubricant flow with carbon nanoparticles in tribological contacts. Tribology International. 113. September 2017. 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.12.048>.

4. *Ehsan-o-llah Ettetfaghi, Hojjat Ahmadi, Alimorad Rashidi, Amideddin Nouralishahi, Seyed Saeid Mohtasebi.* (2013). Preparation and thermal properties of oil-based nanofluid from multi-walled carbon nanotubes and engine oil as nano-lubricant. *International Communications in Heat and Mass Transfer.* 46. August 2013. 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.05.003>.

5. *Ohmae N., Liu J.* (2016). Nanotribology and nanoscale materials coatings for lubricants. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.* 5-9. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.00615-9>.

6. *Vojtov V. A., Kravcov A. G., Tsymbal B. M.* (2020). Evaluation of tribotechnical characteristics of tribosystems in the presence of fullerenes in the lubricant. *Friction and Wear.* 41(6). 704-710. <https://doi.org/10.3103/S1068366620060197>.

7. *Kravtsov A. G.* (2020). Evaluation of the effectiveness of fullerene compositions in motor oils in the operation of internal combustion engines. *Technical Service of Agro-industrial, Forest and Transport Complexes.* 21. 41-49. <https://doi.org/10.37700/ts.2020.21.41-49>.

8. *Hryniv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I.* (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 3(5-105). 19-29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ФУЛЛЕРЕНОВЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В МАГИСТРАЛЬНОМ ЦИКЛЕ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

А. Г. Кравцов, Н. В. Карнаух

Аннотация. Выполнена оценка топливной экономичности автомобиля при эксплуатации с использованием смазочных материалов (моторные и трансмиссионные масла) с фуллереновыми композициями по магистральным ездовым циклам. Фуллереновые композиции добавлялись в моторные и трансмиссионные масла в концентрации 10% масс. Руководящим документом, определяющим порядок испытаний автотранспортных средств на топливную экономичность, является ГОСТ 20306.

Испытания по магистральному циклу проводились на грузовом автомобиле ЗИЛ-5301 "Бычок" по магистральному циклу при температуре окружающего воздуха +20°C (летний период эксплуатации) и при температуре окружающего воздуха -5°C (зимний период эксплуатации).

Установлено, что при эксплуатации автомобиля на магистральных дорогах с асфальтовым покрытием в летний период эксплуатации, применение фуллереновых композиций одновременно в моторных и трансмиссионных маслах уменьшает расход топлива автомобиля на 15,43...18,34%. При этом величина 18,34% соответствует пробегу автомобиля без груза ($m = 0$), а величины 15,43% – пробегу с грузом ($m = 3000$ кг). Коэффициент вариации измеряемой величины расхода топлива составил 0,031...0,044. Это

позволяет сделать вывод, что погрешность измерений находится в пределах 3,1...4,4%.

При эксплуатации автомобиля на магистральных дорогах с асфальтовым покрытием в зимний период эксплуатации, применение фуллереновых композиций (концентрация 10% масс), одновременно в моторном масле и трансмиссионных маслах уменьшает расход топлива на 14,25...16,14%. При этом величина 16,14% соответствует пробегу автомобиля без груза ($m = 0$), а величины 14,25% – пробегу с грузом ($m = 3000$ кг). Коэффициент вариации измеряемой величины расхода топлива составил 0,046...0,035. Это позволяет сделать вывод, что погрешность измерений находится в пределах 4,6...3,5%.

Ключевые слова: эксплуатация; грузовые автомобили; моторные масла; трансмиссионные масла; фуллерены, фуллереновые композиции; объемный расход топлива; магистральный ездовой цикл.

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF LUBRICANTS WITH FULLERENE COMPOSITIONS DURING OPERATION IN MAIN CYCLE OF TRUCKS

A. G. Kravtsov, M. V. Karnaukh

Abstract. The paper deals with the assessment of fuel efficiency of the car at operation with use of lubricants (motor and transmission oils) with fullerene compositions on the main driving cycle. Fullerene compositions were added to the engine and transmission oil at a concentration of 10% of the mass. The guiding document that defines the procedure for testing vehicles for fuel efficiency is National State Standard GOST 20306.

Tests on the main cycle were carried out on a truck ZIL-5301 "Bichok" having a total mileage from the beginning of operation of 20 thousand km. The car is equipped with a diesel engine D 245.12 with a turbocharged capacity of 73 kW and a specific fuel consumption $q = 245$ g/kWh. The tests were performed on a ring road with a straight section. Before the start of the tests all units of the car were warmed up by a run on a ring road not less than 50 km long at a 2/3 maximum speed. The tests were performed on the main cycle at an ambient temperature of +20°C (summer period of operation) and at an ambient temperature of -5°C (winter period of operation).

Control races began in the car, which used lubricants according to the operating instructions. In the engine lubrication system engine oil M-10G2k (API CC, SAE 40), transmission units - transmission oil TAD-17i (API GL-5, SAE 85W90). Control races were repeated three times. At the same time, the arrival time was recorded with the help of a timer and the volumetric fuel consumption with the help of a flow meter in cm^3 .

It is established that when operating a car on main roads with asphalt pavement in the summer of use of fullerene composition in both engine and transmission oils, reduces the fuel consumption of the car on 15.43...18.34%. The value of 18.34% corresponds to the mileage of the car without cargo ($m = 0$), and the value of 15.43% mileage with cargo ($m = 3000$ kg). The coefficient of variation of the measured value of fuel consumption was 0.031...0.044.

This allows us to conclude that the measurement error lies within 3.1...4.4%.

The operating the car on the main roads with an asphalt covering in the winter of operation of application of fullerene composition (concentration 10% of the mass) simultaneously in engine oil and transmission oil reduces fuel consumption by 14.25...16.14%. The value of 16.14% corresponds to the mileage of the car without cargo ($m = 0$), and the value of 14.25% mileage with cargo ($m = 3000$ kg). The coefficient of variation of the measured value of fuel consumption was 0.046...0.035. This allows us to conclude that the measurement error lies within 4.6...3.5%.

Key words: operation; trucks; motor oils; transmission oils; fullerenes, fullerene compositions; volumetric fuel consumption; main driving cycle.

А. Г. Кравцов ORCID 0000-0003-3103-6594.

М. В. Карнаух ORCID 0000-0002-9220-7986.

УДК 621.436: 534.833.004

СПОСОБИ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗІ ЗМІННИМ СКЛАДОМ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

Л. Л. Тітова

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття зі спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: l_titova@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.
Бібл. 26, рис. 2, табл. 3.

Анотація. В статті проведено дослідження та узагальнення способів організації виробничих процесів зі змінним складом устаткування машин для лісотехнічних робіт. Планування обчислювального експерименту для оптимальної організації виробничих процесів зі змінним складом устаткування. Для виробничих процесів зі змінним складом устаткування машин для лісотехнічних робіт проведення натурних експериментів часто стає нераціональним або неможливим через складність організації, великих витрат, обмеженості ресурсів, тому відбувається заміна обчислювальними методами, в яких дослідженню підлягають математичні моделі процесів. До теперішнього часу розроблено велику кількість методів математичного моделювання, планування експерименту, обробки результатів, оптимізації. Їх різноманітність пов'язано з тим, що для вирішення, виробничих завдань різних класів потрібно облік різних нюансів, і тому необхідно виробити, методи, які володіли б достатньою універсальністю. Рішення практичних завдань за допомогою апарату моделювання, планування експерименту може бути ускладнене порушенням умов застосовності методів, складністю їх реалізації.

Таким чином, актуальність приведеного дослідження в статті обумовлена необхідністю вдосконалення методів планування і обробки результатів комп'ютерних експериментів, їх адаптації до специфіки виробничих процесів машин для лісотехнічних робіт. Ефективність виробничих процесів може бути досягнута при правильному складанні комплектів машин за типами, чисельності та відповідної організації роботи.

Ключові слова: методика, машини для лісотехнічних робіт, виробничий процес, продуктивність.

Постановка проблеми

Одним з видів виробничих процесів зі змінним складом устаткування є лісозаготівлі, що займають в економіці України значне місце [1]. Виходячи з результатів досліджень виробничих процесів зі

змінним складом устаткування машин для лісотехнічних робіт виявлено, що їх дослідження за допомогою натурних експериментів важко [2]. Виконаний огляд досліджень в області математичного моделювання, оптимізації комплектів машин і організації лісозаготівельних процесів [3].

Змінна продуктивність комплекту ($P_{зм}$) визначається кількістю сировини, переробленої ними протягом зміни [4]. Продуктивність всього комплекту може бути рівною продуктивності машин для лісотехнічних робіт на кожну операцію [5]. Він відповідає вимогам послідовної організації виробництва:

$$P_{зм_c} = P_{зм_1} = P_{зм_2} = P_{зм_3} = \dots = P_{зм_n} \quad (1)$$

Однак, як показує існуюча практика [6], не вдається підібрати комплект машин і устаткування з однаковою [7] або незначно відрізняючою продуктивністю [8].

Аналіз останніх досліджень

Схема паралельно-послідовного виконання виробничого процесу включає ряд машин, що працюють паралельно один одному і передавальних об'єкти праці машин [9], що працюють послідовно; можливі і зворотні випадки [10] – передача об'єктів праці від машин, що працюють послідовно до машин, що працюють паралельно [11].

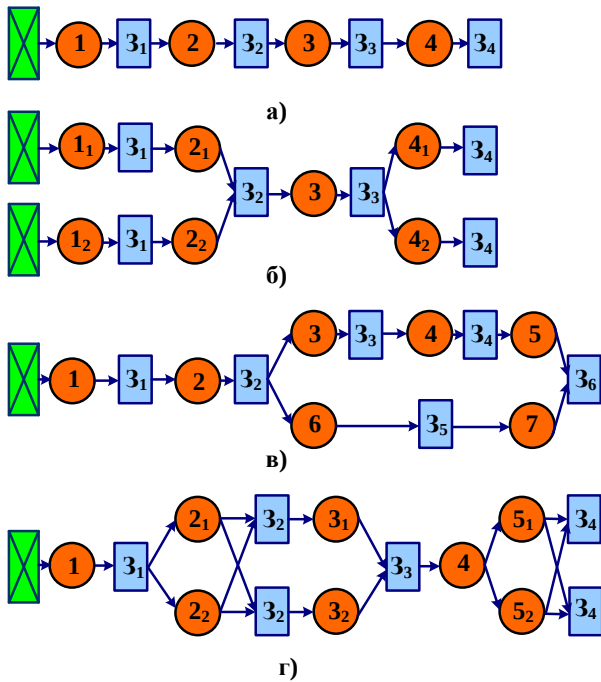
Змінна продуктивність послідовно з'єднаних машин і механізмів повинна бути рівною продуктивності машин, що працюють паралельно:

$$[(P_{зм_{1a}} \approx P_{зм_{2a}}) + (P_{зм_{1b}} \approx P_{зм_{2b}})] \approx P_{зм} \approx (P_{зм_{4a}} \approx P_{зм_{4b}}) \quad (2)$$

В цих же схемах можливі варіанти [12], коли паралельно може працювати різну кількість машин [13]. При цьому бажано наступне дотримання відношення продуктивності:

$$P_{зм_1} \approx P_{зм_2} \approx [(P_{зм_3} \approx P_{зм_4} \approx P_{зм_5}) + (P_{зм_6} \approx P_{зм_7})] \quad (3)$$

Схеми виконання виробничого процесу представлені на рис. 1.



ТЗ – технічні засоби для виконання операцій;
О – оперативний запас об'єктів праці;
З – запас сировини.

Рис. 1. Схеми можливих варіантів технологічних систем: а) схема послідовного агрегування з гнучкими зв'язками; б, в) ті же розгалужені і сходяться; г) те ж змішаного типу з гнучкими зв'язками.

Fig. 1. Schemes of possible variants of technological systems: а) the scheme of consecutive aggregation with flexible connections; б, в) the same branched and converging; г) the same mixed type with flexible connections.

Характер схем комплектів машин для лісотехнічних робіт [14] і вид їх зв'язку обумовлює наявність запасів ресурсів між операціями потоку [15], їх призначення і розміщення [16]. Особливістю протікання виробничих процесів є те, що між суміжними операціями створюються запаси об'єктів праці [17], ресурсів [18]. Міжопераційні запаси – багаторівневі. Будь-які технічні засоби (ТЗ) ненадійні в роботі, кожен має свій коефіцієнт технічного використання [19]. Найбільш невідгідна ситуація для пари операцій, коли виходить з ладу попередній ТЗ, а об'єм запасів на мінімальному рівні або відсутній [20]. Технічна причина, що викликає потребу створення запасів даного типу, визначила їх назва – технічні [21]. У той же час, цей об'єм запасів ресурсів попереджає простої подальшого ТЗ, коли попереднє простоє [22]. Ці запаси страхують безперебійну роботу ТЗ, тому, правомірно їх називати страховими (Z_C, m^3).

Запаси, що забезпечують компенсацію нерівномірності їх поповнення споживання, зростання яких потрібно обмежувати [23], коли норма вироблення технічних засобів на попередній операції вище, ніж на наступній; або збільшувати до певного рівня, коли норма вироблення технічних коштів на попередній операції менше, ніж на наступній отримали назву організаційні (Z_0, m^3). Гарантійний запас (Z_G, m^3) це запас, що складається з суми страхового та організаційного запасів [24]. Організаційний об'єм

запасів доповнює страховий до об'єму, який гарантує безперебійну роботу технічного засобу, тому правомірно називати його гарантійним [25]. Таким чином, міжопераційні запаси ресурсів мають граничну для конкретних умов величину, яка гарантує безперебійну роботу ТЗ, в загальному вигляді можуть бути розраховані за формулою:

$$Z_G = Z_0 + Z_C \quad (4)$$

Можливі два варіанти роботи комплексу машин у виробничому процесі зі змінним складом устаткування (рис. 2): а) об'єм вироблення на попередній операції (Q_i, m^3) Менше об'єму вироблення машин на наступній операції (Q_s, m^3), ($Q_i < Q_s$); б) об'єм вироблення на попередній операції більше об'єму вироблення машин на наступній операції ($Q_i > Q_s$).

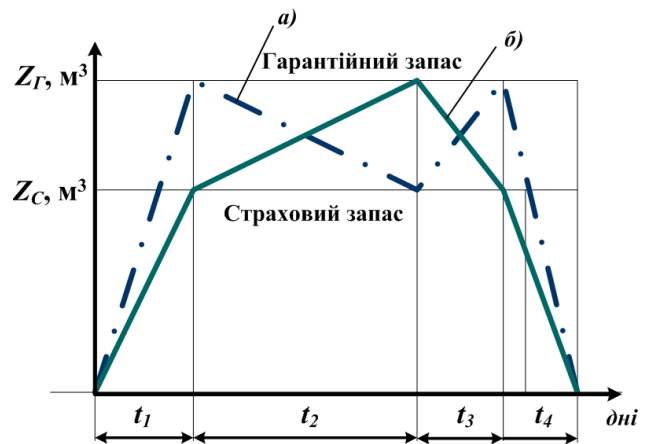


Рис. 2. Зміна запасів у розрахунковому періоді: а) при $Q_i < Q_s$; б) при $Q_i > Q_s$.

Fig. 2. Change in inventories in the calculation period: а) for $Q_i < Q_s$; б) for $Q_i > Q_s$.

В першому випадку, за час t_1 (змін) відбувається створення гарантійного запасу машинами з продуктивністю $Q_i (m^3)$. В інтервалі t_2 (змін) відбувається виконання двох операцій виробничого процесу (i, s). Так як $Q_i < Q_s$, то запас швидше споживається, ніж поповнюється.

У підсумку [26], рівень запасу знижується до страхової величини. Подальше зниження величини запасу допустити не можна, так як зменшаться вимоги техніки безпеки. Тому, на «відстаючій» i -тій операції відбувається підключення додаткових машин для лісотехнічних робіт і рівень запасу збільшується до гарантійного протягом часу t_3 (змін). За період t_4 (змін) відбувається вироблення запасу технічними засобами наступної операції з об'ємом вироблення $Q_s (m^3)$, коли машини попередньої операції переходять до участі в іншому виробничому процесі.

У другому випадку, за час t_1 (змін) відбувається створення страхового запасу технічними засобами попередньої операції з об'ємом вироблення $Q_i (m^3)$. В інтервалі t_2 (змін) відбувається виконання двох операцій виробничого процесу (i, s). Так як $Q_i > Q_s$, то запас швидше поповнюється, ніж споживається. У підсумку, рівень запасу підніметься до гарантійної величини. Подальше збільшення запасу небажано, так як технічні засоби на «відстаючій» s -тій операції НЕ будуть справлятися з його споживанням. До цієї операції відбувається підключення додаткових машин,

і рівень запасу знижується до страхового протягом часу t_3 (змін). За період t_4 (змін) відбувається вироблення запасу технічними засобами з об'ємом вироблення Q_s (м³) [].

Досліджуваний виробничий процес буде залежати від параметрів технічних засобів (кількість, продуктивність, стан), об'ємів міжопераційних запасів, вільних площ, призначених для їх зберігання, штату підприємства. Підвищити ефективність виробничих процесів можна шляхом визначення оптимальних режимів їх функціонування. Для цього необхідно забезпечити узгодженість названих параметрів і вибрати найкращий варіант в даних виробничих умовах. Визначити параметри оптимального виробничого процесу можна, вибравши ефективні методи дослідження.

Мета досліджень

Мета досліджень – вдосконалення методики обчислювального експерименту, математичного моделювання та чисельних методів оптимізації для практичного застосування до планування виробничих процесів зі змінним складом устаткування машин для лісотехнічних робіт.

Результати досліджень

Пропонується методика по проведенню та аналізу результатів обчислювальних експериментів, заснована на положеннях теорії планування експериментів, регресійному аналізі.

1. Побудова математичної моделі досліджуваного виробничого процесу.

$$Z(z_1, z_2, \dots, z_n) \rightarrow \min(\max) \quad (5)$$

$$Q(q_1, q_2, \dots, q_m) \geq 0 \quad (6)$$

$$G(g_1, g_2, \dots, g_m) = 0 \quad (7)$$

де Z – цільова функція, що описує виробничий процес;
 Q, G – обмеження математичної моделі, що відповідають специфіці досліджуваного процесу.

За основу в дослідженнях візьмемо паралельно-послідовний виробничий процес з підтриманням об'єму запасів між двома фіксованими рівнями. Для кожної пари операцій визначається рівень страхового і гарантійного запасу. Відмінною особливістю організації виробничого процесу буде підключення додаткового обладнання на операціях, виконуваних технічними засобами з продуктивністю, відмінною від максимальної в комплекті. За допомогою математичної моделі відбувається визначення значень вихідних параметрів, тобто натурні експерименти замінюються на обчислювальні.

2. Визначення факторного простору експерименту.

На перебіг досліджуваного процесу впливають різні величини. Їх безліч можна розділити на наступні підмножини:

а) Керуючі фактори, значення яких можна змінювати в ході дослідження і встановлювати на заданому рівні ($X_i, i = \overline{1, n}$).

б) Параметри моделі, значення яких знаходяться в певному діапазоні, дослідник не може вплинути на їх зміну, але має можливість зафіксувати прийняті ними значення в різних умовах. Вони змінюються залежно від умов протікання виробничого процесу, використовуюваного обладнання, ресурсів. Наприклад, зміна вироблення машин в залежності від природно-виробничих умов функціонування ($\bar{X}_j, j = \overline{1, m}$).

с) Некеровані зовнішні впливи, вплив яких на функцію відгуку невідомо, але його слід врахувати ($V_l, l = \overline{1, p}$).

д) Величини, які мають постійні значення в рамках досліджуваного процесу ($C_k = \text{const}, k = \overline{1, r}$).

Досліднику слід провести аналіз цих величин і вибрати з них керуючі фактори. Для них слід визначити області варіювання.

3. Визначення області планування експерименту. Фактори можуть варіюватися на двох і більше рівнях. При визначенні рівнів факторів дотримуються наступних рекомендацій [4]: врахування принципових обмежень на значення факторів, на рівні факторів будуть впливати техніко-економічні міркування, особливості умов проведення експериментів. Залежно від особливостей досліджуваного процесу, експериментатор визначає кількість рівнів факторів і їх значення.

Приклад для трьох рівнів представлений в таблиці 1.

Таблиця 1. Нормалізація факторів експерименту.

Table 1. Normalization of experimental factors.

Рівні факторів	X_1		X_2		X_i		X_n	
	рівні	нормалізація	рівні	нормалізація	рівні	нормалізація	рівні	нормалізація
верхній	X_{1+}	+1	X_{2+}	+1	X_{i+}	+1	X_{n+}	+1
нульовий	X_{10}	0	X_{20}	0	X_{i0}	0	X_{n0}	0
нижній	X_{1-}	-1	X_{2-}	-1	X_{i-}	-1	X_{n-}	-1

4. Складання матриці планування експерименту для побудови квадратичної регресійної моделі.

5. Для підвищення надійності і відтворюваності експерименту, можливості проведення наступного статистичного аналізу при розрахунку значень вихідного параметра слід проводити паралельні досліди в точках матриці плану. Вони визначають узгодженість результатів при повторному проведенні експерименту в схожих умовах.

Проведення паралельних дослідів може виявитися складним. У разі натурних експериментів складний підбір схожих природно-виробничих умов, неприпустимо нераціональне використання ресурсів і дорогого устаткування. При проведенні комп'ютерних обчислювальних експериментів, очевидно, що повторний розрахунок вихідного параметра при тому ж наборі вхідних НЕ призведе до його зміни. Виникає запитання моделювання паралельних дослідів при проведенні комп'ютерних експериментів.

Нами пропонується організувати умовно-паралельні досліди. У них варіюються вхідні

параметри моделі, значення яких знаходяться в певному діапазоні, і дослідник не може вплинути на їх зміну, але має можливість зафіксувати прийняті ними значення в різних умовах. Їм будуть відповідати експерименти, в яких для кожної точки матриці плану визначається вихідний параметр із врахуванням зміни параметрів $\tilde{X}_j, j = \overline{1, m}$. Значення $\tilde{X}_j, j = \overline{1, m}$, задаються дослідником. Штучно змінюючи значення параметрів даного класу, будуть отримані різні значення відгуку в даній точці плану, які можна прийняти як результати паралельних дослідів. Таким чином, моделюється варіабельність параметрів, що має місце в реальності. Альтернативним способом організації умовно-паралельних дослідів є генерація відповідних значень за допомогою датчиків випадкових чисел. Проводиться генерація значень, необхідних для проведення умовно-паралельних дослідів, із врахуванням статистичних даних про можливі зміни значень параметрів під впливом випадкових факторів. Такий підхід дозволяє реалізувати принцип рандомізації.

Кожен j -й паралельний досвід в i -й точці плану відповідає поєднанню природно-виробничих умов,

тобто поєднанню якісних і кількісних характеристик, що впливають на параметри математичної моделі. Можливість проведення експерименту в i -й точці плану при природно-виробничих умовах, відповідних j -му паралельному досліді, може бути оцінена за допомогою ймовірностей p_{ij} . В реальних задачах часто є апіорна інформація, що дозволяє оцінити і використовувати розподіл ймовірностей p_{ij} . Врахування ймовірності виконання одного з серії паралельних дослідів в даній точці плану внесе зміни в побудову і аналіз регресійних моделей.

Якщо ймовірності або інші статистичні характеристики аргументів не задані, хоча самі аргументи є випадковими величинами, то рекомендується задаватися (на підставі апіорної інформації) законом розподілу ймовірностей. При відсутності потрібної інформації слід вважати ймовірності однаковими в разі дискретної випадкової величини або приймати рівномірний закон в разі безперервної.

Результати експерименту із врахуванням ймовірностей умовно-паралельних дослідів зручно представити у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2. Шаблон оформлення результатів комп'ютерного експерименту із врахуванням ймовірностей поєднання природно-виробничих умов.

Table 2. Template for the design of the results of a computer experiment, taking into account the probabilities of combining natural production conditions.

№ дослідів	Керовані фактори				Умовно-паралельні дослідів із врахуванням ймовірностей				Вихідний параметр
	X_1	X_2	...	X_n	$\tilde{X}_1$	$\tilde{X}_2$	...	$\tilde{X}_m$	Y
1	1	1	...	1	$\tilde{Y}_{11}$	$\tilde{Y}_{12}$	...	$\tilde{Y}_{1m}$	$Y_1 = \sum_{j=1}^m \tilde{Y}_{1j} \cdot p_{1j}$
					p_{11}	p_{12}	...	p_{1m}	$\sum_{j=1}^m p_{1j} = 1$
2	1	1	...	0	$\tilde{Y}_{21}$	$\tilde{Y}_{22}$	...	$\tilde{Y}_{2m}$	$Y_2 = \sum_{j=1}^m \tilde{Y}_{2j} \cdot p_{2j}$
					p_{21}	p_{22}	...	p_{2m}	$\sum_{j=1}^m p_{2j} = 1$
...									

6. У кожній точці матриці плану визначається математичне сподівання цільової функції по умовно-паралельним дослідів.

Необхідно розрахувати значення. З причини особливостей проведення виробничих процесів на аргументи математичної моделі (5) накладаються обмеження (6, 7), які будуть враховані і в комп'ютерній моделі. При проведенні комп'ютерного експерименту із врахуванням умовно-паралельних дослідів деякі з них можуть надати неприпустимі в зв'язку з порушенням умов математичних моделей, закладених в дослідженнях.

Внаслідок буде отримана матриця плану, що містить неприпустимі дослідів і точки.

Під умовно-неприпустимими дослідів будемо розуміти окремі умовно-паралельні дослідів, в яких не може бути визначено значення функції відгуку за

допомогою математичних моделей, що описують розглянутий виробничий процес. Дані дослідів визначаються тільки в ході проведення комп'ютерного експерименту. Під неприпустимою точкою плану будемо розуміти таку точку, в якій всі умовно-паралельні дослідів виявилися неприпустимими. Наявність умовно-неприпустимих дослідів в точках матриці плану визначає експеримент з нерівномірним дублюванням дослідів.

В літературі, присвяченій теорії планування експерименту не надаються рекомендації щодо проведення дослідів в разі наявності неприпустимих точок плану (розділ 1). Нами пропонується в ситуації, що склалася використовувати один з варіантів:

а) Виключити неприпустимі точки з плану експерименту.

б) Оцінити наближено верхню межу значення функції відгуку (якщо вирішується завдання мінімізації) без використання математичних моделей (5)-(7). Дані значення включити в матрицю планування експерименту.

Перший варіант рекомендується використовувати в ситуаціях, коли число допустимих дослідів значно переважає над числом неприпустимих і виключення останніх не призведе до зміни структури матриці

плану. Другий варіант придатний в тих випадках, коли існують альтернативні способи розрахунку значень функції відгуку, наприклад з використанням спрощених математичних моделей.

Результати проведення експериментів з умовно-паралельними дослідями і з рівними можливостями умовно-паралельних дослідів в точці плану можна представити у вигляді таблиці 3.

Таблиця 3. Шаблон оформлення результатів експерименту із врахуванням умовно-неприпустимих дослідів і з рівними можливостями умовно-паралельних дослідів у точці плану.

Table 3. The template for the design of the results of the experiment, taking into account the conditionally inadmissible experiments and with equal opportunities for conditionally parallel experiments at the point of the plan.

№ дослідів	Керовані фактори				Умовно-паралельні дослідів із врахуванням ймовірності				Вихідний параметр
	X_1	X_2	...	X_n	$\tilde{X}_1$	$\tilde{X}_2$	...	$\tilde{X}_m$	Y
1	1	1	...	1	$\tilde{Y}_{11}$	$\tilde{Y}_{12}$	...	$\tilde{Y}_{1m}$	$Y_1 = \frac{\sum_{j=1}^m \tilde{Y}_{1j}}{m}$
2	1		...	0	—	—	...	—	—
3	1	1	...	-1	$\tilde{Y}_{31}$	$\tilde{Y}_{32}$	...	—	$Y_3 = \frac{\sum_{j=1}^m \tilde{Y}_{3j}}{m}$
...									

Внаслідок буде проведений багатофакторний експеримент із нерівномірним дублюванням паралельних дослідів в точках плану. В даному випадку для розрахунку коефіцієнтів функції відгуку необхідно використовувати зважений метод найменших квадратів. Якщо ймовірності або інші статистичні характеристики аргументів не задані, хоча самі аргументи, як правило, є випадковими величинами, то рекомендується задаватися (на підставі апріорної інформації) законом розподілу ймовірностей. При відсутності потрібної інформації вважати ймовірності однаковими в разі дискретної випадкової величини або приймати рівномірний закон в разі безперервної.

Висновки

1. Рекомендується враховувати можливі відмінності ймовірностей p_{ij} , j -го умовно-паралельного досвіду в i -й точці плану. Ймовірності можуть бути задані на підставі апріорної інформації про досліджуваному процесі. Значення для організації умовно-паралельних дослідів згенеровані за допомогою датчика випадкових чисел. Такий підхід дозволяє реалізувати принцип рандомізації. Питання про вибір одного із способів вимагає опрацювання для конкретних завдань.

2. Результати, отримані при проведенні обчислювальних експериментів для лісозаготівельних процесів, незначно відрізняються один від одного, рекомендується використовувати підхід з рівними можливостями умовно-паралельних дослідів.

3. Удосконалено чисельний метод оптимізації, рекомендований для вирішення задач умовної оптимізації при виявленні умовно-неприпустимих дослідів і точок плану обчислювального експерименту.

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. P. 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. 2017. Vol. 19. P. 158-163.
3. Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I. Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters. 2018. Vol. 16. P. 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. P. 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. 2018. Vol. 298. P. 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. P. 95-98.
7. Luo A.C.J., Guo Y. Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.
8. Astatheev 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. P. 108-113.

9. *Zagurskiy O., Ohienko 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. P. 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. P. 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. 2016. Vol. 266. Issue 3. P. 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.

16. *Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V.* Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 2019. Vol. 18. P. 291-298.

17. *Kalinichenko D., Rogovskii I.* Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179-184.

18. *Kalinichenko D., Rogovskii I.* Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 93-102.

19. *Kalinichenko D., Rogovskii I.* Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105-115.

20. *Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.* Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування

зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.

21. *Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.* Штучні когнітивні системи в процесах технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.

22. *Rogovskii I. L.* Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.

23. *Роговський І. Л.* Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314–322.

24. *Rogovskii Ivan.* Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 2016. Vol. 18. No 3. P. 155–164.

25. *Роговський І. Л.* Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143–150.

26. *Тітова Л. Л.* Моделювання перехідних процесів динамічної моделі силової енергетичної установки машин для лісотехнічних робіт. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 147-154.

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. 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. 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. 16. 79-84.
4. *Masek J., Novak P., Jasinskis 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. 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. 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. 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 Coubatouef Bp 112, F-91944 Cedex A, France, 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. 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, 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. 10(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. 10(4). 145-150.
 15. Rogovskii I. L. (2020). Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(1). 155-162.
 16. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 18. 291-298.
 17. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2014). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 19(3). 179-184.
 18. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin–Rzeszów. 17(3). 93-102.
 19. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2018). Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 18(1). 105-115.
 20. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 258. 380-390.
 21. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 262. 353-361.
 22. Rogovskii I. L. (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 258. 399-407.
 23. Rogovskii I. L. (2015). Metodological performance of technological operations of restoration of working capacity of agricultural mashines at limited resources. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 212(1). 314-322.
 24. Rogovskii Ivan. (2016). Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 18(3). 155-164.
 25. Rogovskii I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(3). 143-150.
 26. Titova L. L. (2021). Simulation of transitional processes of dynamic model of power energy installation of machines for forestry works. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(1). 147-154.

СПОСОБЫ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПЕРЕМЕННЫМ СОСТАВОМ МАШИН ДЛЯ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Л. Л. Тутова

Аннотация. В статье проведено исследование и обобщение способов организации производственных процессов с переменным составом оборудования машин для лесотехнических работ. Планирование вычислительного эксперимента для оптимальной организации производственных процессов с

переменным составом оборудования. Для производственных процессов с переменным составом оборудования машин для лесотехнических работ проведение натурных экспериментов часто становится нерациональным или невозможным из-за сложности организации, больших затрат, ограниченности ресурсов, поэтому происходит замена вычислительными методами, в которых исследованию подлежат математические модели процессов. К настоящему времени разработано большое количество методов математического моделирования, планирования эксперимента, обработки результатов, оптимизации. Их многообразие связано с тем, что для решения, производственных задач различных классов требуется учет различных нюансов, и поэтому необходимо выработать, методы, которые обладали бы достаточной универсальностью. Решение практических задач с помощью аппарата моделирования, планирования эксперимента может быть затруднено нарушением условий применимости методов, сложностью их реализации.

Таким образом, актуальность приведенного исследования в статье обусловлена необходимостью совершенствования методов планирования и обработки результатов компьютерных экспериментов, их адаптации к специфике производственных процессов машин для лесотехнических работ. Эффективность производственных процессов может быть достигнута при правильном составлении комплектов машин по типам, численности и соответствующей организации работы.

Ключевые слова: методика, машины для лесотехнических работ, производственный процесс, производительность.

complicated by infringement of conditions of applicability of methods, complexity of their realization.

Thus, the relevance of this study in the article is due to the need to improve methods of planning and processing the results of computer experiments, their adaptation to the specifics of production processes of machines for forestry work. The efficiency of production processes can be achieved with the correct assembly of sets of machines by type, number and appropriate organization of work.

Key words: methods, machines for forestry works, production process, productivity.

Л. Л. Тітова ORCID 0000-0001-7313-1253.

METHODS OF SEARCHING FOR OPTIMAL PARAMETERS OF PRODUCTION PROCESSES WITH VARIABLE COMPOSITION OF MACHINES FOR FORESTRY TECHNOLOGY

L. L. Titova

Abstract. In the article the research and generalization of ways of the organization of production processes with a variable structure of the equipment of cars for forestry works is carried out. Planning a computational experiment for optimal organization of production processes with variable equipment. For production processes with variable composition of equipment for forestry machinery, field experiments often become irrational or impossible due to the complexity of the organization, high costs, limited resources, so there is a replacement by computational methods, which are subject to mathematical process models. To date, a large number of methods of mathematical modeling, experiment planning, processing of results, optimization have been developed. Their diversity is due to the fact that to solve the production problems of different classes requires consideration of different nuances, and therefore it is necessary to develop methods that would have sufficient versatility. The decision of practical problems by means of the device of modeling, planning of experiment can be

УДК 629.331:332.154:330.131.7

DIRECTIONS FOR ENHANCING METHODOLOGY OF ASSESSING RISKS OF ECONOMIC ACTIVITY OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE

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 2021, Accepted – June 2021, Published – 30 July 2021.

Bibl. 14, fig. 0, tabl. 3.

Abstract. The article reviews advanced methods for determining the riskiness of the enterprise. The authors' approach to assess the risk of economic activity of motor transport enterprises in conditions of uncertainty, characterized by a clear and balanced group of factors, manifested in indicative indices, reflecting the impact of domestic and external environment on the level of riskiness of economic activity of a MTE is proposed. The methodology of a comprehensive indicator of the risk of MTE has been improved. Proceeding from the generalizations, there have been formed conclusions and practical recommendations for evaluating the risk of economic activity of a motor transport enterprise.

Key words: uncertainty; risk; rating method, comprehensive risk indicator; risk zones.

of risk assessment methods and the implementation of risk management strategies in the economic activity of road transport enterprises.

Analysis of recent research results

Theoretical and practical aspects related to economic risks of enterprises across various sectors of the economy have been studied by both foreign and domestic scientists. M.S. Beasley, R. Clune, D.R. Hermanson [8] S.V. Gutsilyuk [1], O.N. Zagurskiy [2], I.V. Krivov'yazuk, S.F. Smerichevsky, Y.M. Kulik [5], L.A. Ostankova, N.Y. Shevchenko [6], I.M. Posokhov [7], Sprčić D. M., Kožul A., Pecina E. [11], S.P. Williams, V. Hausman [12], etc. The riskiness in the transport industry has been directly reviewed by A. Conca, C. Ridella, E. Saponi [10], O.M. Zagurskiy [13] and other scientists.

Introduction

The profound system of crisis, in what economy of Ukraine currently is, has a great effect on the negative changes in the financial situation of both individual enterprises and entire branches of the economy of the country. Striving to balance the economic situation, the managers of motor transport enterprises, begin to pay more and more attention to financial planning in conditions of uncertainty of the economic situation to maximize profits or, in extreme cases to avoid losses and insolvency.

Purpose of research

The purpose is a scientific-theoretical substantiation for the need to enhance the methodology of risk evaluation of business operations of motor transportation industry, influencing the development and implementation of its development policies, conforming to the circumstances and trends of the "uncertain" market economy.

Formulation of problem

The modern economic theory of uncertainty is an indicator of risk. And if the management of the enterprise is generally not able to influence the uncertainty, it is obliged to estimate the risks for making managerial decisions in the future. Thus, in the absence of full information and impossibility to predict accurately, risk management problem becomes extremely urgent.

In particular it concerns the system of risk assessment indicators, as well as factors that influence it, and the development of practical recommendations on risk reduction and minimization, along with the improvement

Research results

The modern interpretation of risk is not only about losses that can be suffered in the realization of an economic decision, but also about the opportunity to deflect from the objectives behind the decision [4, p. 12]. In other words, today's risk is identified by a lack of expected positive results, rather than by losses, that necessarily reduces the financial sustainability and stability of the enterprise. The financial literature determines the stability of the enterprise as the stability of the economic environment and the internal state of the enterprise [5, p. 148].

Meanwhile, in order to successfully confront the

dynamism and variability of the external environment, the sophistication and speed of decision-making must match the complexity and rapidity of the changes taking place. This means that it leads to uncertainty risks because of the lack of complete information and the inability to predict accurately. But risk, in contrast to uncertainty, is a measurable value as a quantitative measure of the probability of an adverse outcome. Such probabilities can be determined either on the basis of statistical data or on the grounds of expert evaluations. Let us note that today a number of mathematical theories are also used to formalize uncertain information and measure risk, these are: multivalued logic; probability theory; error theory (interval models); theory of interval averages; theory of subjective probabilities; theory of fuzzy sets and so forth.

Nevertheless, regardless of the availability of already developed methodologies, there are prospects for the development of new and improvement adaptation of established methodologies. In fact, some methodologies for determining risk don't consist of a considerable number

(5-7) of indicators, but another ones are burdened with mathematical functions and proportions, which require complex calculations on the contrary.

We believe that it is advisable to expand the number of risk zones to 5, since the vast majority of groups are formed of an odd number of them and to form the following risk zones to improve the existing methods for assessing the risk of economic activity of the road transport enterprise:

- a risk-free zone;
- minimum risk zone;
- an acceptable risk zone;
- a critical risk zone;
- an unacceptable risk zone.

It is necessary to develop compliance of this scale with the point system, as well as to determine the range of each interval - the order of rank of this or that interval, considering the current riskiness of the economic activity of the motor transport enterprise (table 1):

Table 1. Interval rank

Interval scale	Indicator target rank value	Interval of the company aggregate rank
A risk-free zone	2	[12; 20]
Minimum risk zone	1	[4; 12]
An acceptable risk zone	0	[-4; 4]
A critical risk zone	-1	[-12; -4]
An unacceptable risk zone	-2	[-20; -12]

Source: made by the author

In order to simplify the calculations, the assessment of the risk of economic activity of the company according to our opinion should be conducted in the most vital areas:

1. Assessment of enterprise riskiness according to its legal form (R 1);
2. Assessment of the enterprise's riskiness by the time of its existence (R 2)
3. Evaluation of the enterprise's riskiness according to its property status (R 3);
4. Assessment of enterprise riskiness by availability and level of enterprise profit (R 4);
5. Estimation of riskiness of the enterprise according to the level of admissibility of material losses (R 5);
6. Assessment of operational risks (R 6);
7. Assessment of riskiness of the enterprise for staff turnover (R 7);
8. Assessment of enterprise riskiness by enterprise business reputation (R 8);
9. Assessment of enterprise riskiness by inflation rate (R 9);
10. Assessment of enterprise riskiness by the level of development of market institutions (R 10);

Thus, we identified the first direction riskiness of the enterprise organizational-legal form of management:

- corporation, consortium, concern - "2" points
- joint venture, open joint-stock company - "1" point
- closed joint-stock company, additional responsibility company - "0" points;
- collective enterprise, leased enterprise, peasant (farmer) economy, limited liability company - "-1" point

- individual enterprise, family business, private enterprise, entrepreneur - "2" points.

For the second direction of assessing the riskiness of an enterprise, we will conduct a time of its existence:

- more than 10 years - "2" points
- 5 - 10 years - "1" point
- 3 - 5 years - "0" points;
- 1 - 3 years - "1" point
- up to 1 year - "-2" points.

The third direction for assessing the riskiness of the enterprise is the level of the current property situation. Three basic financial indicators are used for determination of the enterprise's property situation (table 2).

The fourth direction to evaluate the riskiness of the enterprise is defined as the production risk by us. It is identified by the availability and income level of the enterprises for the preceding and accounting periods:

- availability of company profit by the results of the previous and reporting periods - "2" points
- availability of profit by the results obtained only in the reporting period - "1" point
- the financial result is zero, i.e. there is no profit and losses - "0" points;
- existing losses of the enterprise following the results of the accounting period - "-1" point
- the existence of enterprises losses based on the results of the previous and reporting periods - "2" points.

The fifth area of the enterprise's riskiness assessment is a material risk. Such risks indicate the cumulative

adverse influence on the quantitative and / or qualitative integrity of the cargo.

Table 2. The determination of the comprehensive index of asset risk

Financial ratios	Interval value of the coefficient across risk zones				
	A risk-free zone	Minimum risk zone;	An acceptable risk zone;	A critical risk zone;	An unacceptable risk zone.
Current liquidity ratio	(2.50; ∞)	(2.00; 2.50)	(1.50; 2.00)	(1.00; 1.50)	($-\infty$; 1.00)
Autonomy ratio	(0.65; ∞)	(0.50; 0.65)	(0.35; 0.50)	(0.20; 0.35)	($-\infty$; 0.20)
Financial stability ratio	(0.90; ∞)	(0.75; 0.90)	(0.60; 0.75)	(0.35; 0.60)	($-\infty$; 0.35)
Score	2	1	0	-1	-2

Source: made by the author

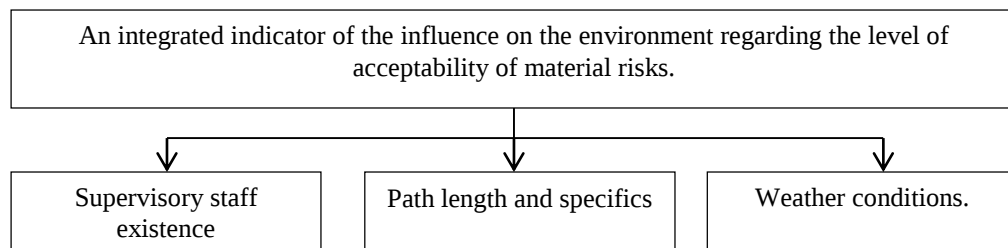


Fig. 1. Integrated index of the the environmental impact on the level of acceptability of material risks.

Source: made by the author

These risks are influenced by the following factors:

1. The existence of supervisory staff. Specially trained stuff is able to respond in a timely way to violations of the conditions of perishable goods contribute transportations to a significant reduction in the potential damage and the probability of the implementation of the risk situation. The influence of this factor has an inverse effect on the level of risk. The degree of influence of this factor can be assessed using the following indicators:

a. number of controlling personnel. Units of measure are people. It is measured statistically. The increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

b. qualification of the supervising personnel. Units of measurement are points. Measured by experts. The increase of this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

2. length and specificity of the route. With increasing track length, a probability of quantitative and/or qualitative damage to cargo increases significantly. An impact of this factor has a direct character by the level of risk. This factor's degree of influence can be assessed using the following indicators:

a. cumulative path length. The unit of measure is km. It is measured statistically. More of this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

b. number of road accidents committed on the way in the last 2 years according to the statistics of the Ministry of Internal Affairs. The unit of measure is pcs. Measured statistically. A multiplication of this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

3. The weather conditions. Any deterioration of weather can lead both to violations of the integrity of the transport package and to a deterioration in the ability to control the transport process. The impact of this factor is

inverse in terms of the level of risk. The extent of the influence from this factor can be assessed with the help of an indicator:

a. qualitative assessment of weather forecast results. Fr / m-5. The measuring unit is a score. Its measured expertly. Increasing of this indicator leads to decreasing of the influence of the factor.

The sixth direction of assessing the riskiness of the enterprise is operational risks. They describe the cumulative adverse impact of external and internal environment factors on the process of operation of cargo automobile rolling stock. The implementation of these risks can lead to the realization of environmental risks. At the same time, these risks are largely technical by their nature.

The following factors affecting the level of operational risks can be identified:

1. Wear and tear of the rolling stock. This factor is decisive in terms of ensuring the continuity of the transportation process. The influence of this factor has a direct character in terms of the level of risk. The degree of influence of this factor can be estimated by using the following indicators:

a. ratio of depreciation of rolling stock. This indicator is calculated as the accumulated depreciation to the original cost of rolling stock. Units of measurement is%. It is measured statistically. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

b. share of the normative time elapsed since the last scheduled maintenance of the rolling stock. This indicator is calculated as the ratio of the time remaining to the next planned maintenance and the normative time between the planned maintenance. Unit of measure is %. Measured

statistically. Reducing this index leads to an increase in the influence of the factor.

2. Load on the roadway. This factor is purely technical in nature. Its influence has a well-defined vector and direct character by the level of risk. The degree of influence of this factor can be assessed by the following indicators:

a. exceeding the permissible level of axle load. Calculation of this indicator is carried out by dividing the current level of load on the axle to its normative value. The unit of measurement is%. It is measured statistically. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

b. exceeding the permissible load level per 1 meter of road surface. Units of Measure is %. Measured statistically.

The increase of this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

3. Wear and tear of the road surface. This factor is exclusively external to the transport enterprise. The influence of this factor has a direct character on the level of risk. The degree of influence of this factor can be estimated by using the following indicator:

a. the proportion of normative time elapsed since the road was repaired. This indicator is calculated as the ratio of the time remaining to the next scheduled maintenance and the normative time between scheduled maintenance. The unit of measure is %. Measured statistically. Decrease of this index leads to increase of influence of the factor.

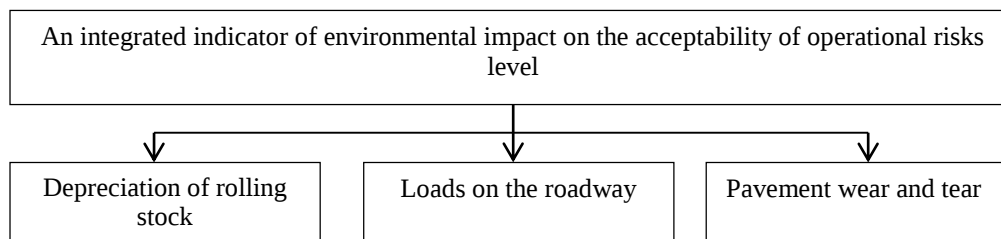


Fig. 2. Integrated indicator of the influence of environment upon the level of admissibility of operational risks

Source: made by the author

The seventh direction of assessment of riskiness of the enterprise – assessment of staff turnover at the enterprise during the year. 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, that in turn can lead to environmental risks.

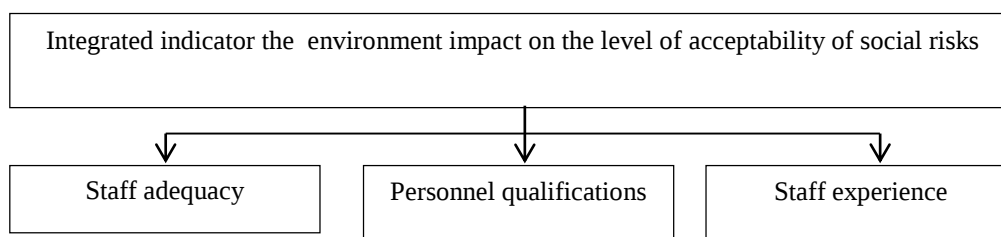


Fig. 3. Integrated indicator of environmental influence on the level of social tolerance risks.

Source: made by the author

The factors affecting the level of these risks can be identified as the following:

1. Staff sufficiency. This factor is decisive in terms of social risk tolerance. The impact of this factor is direct in terms of risk level. The extent of influence of this factor can be estimated by means of the following indicator:

a. staffing of the enterprise. The given indicator is calculated as a ratio of the personnel available at the enterprise in the quantity necessary for performance of tasks. Units of measurement are %. It is measured statistically. A decrease in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

2. Staff qualification. The effect of this factor is the inverse of the level of risk. The extent of the influence of this factor can be assessed using the following indicator:

a. average level of staff qualification. Estimated as a ratio of the sum of qualification assessments (expressed in points) and the total number of assessed personnel. The measurement units are score/person. It is measured by experts. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

3. staff working experience. Cumulative experience of work permits to form employee's practical skills in algorithms of elimination of consequences at realization of risk. However, the influence of this factor on the integral result is comparable to the nature of the previous factor. The extent of influence of the given factor can be evaluated by means of the following indicator:

a. average work experience of the staff involved. The calculation of this indicator is similar to the previous one. Measurement unit is score / person. This indicator is measured statistically. Rise of this indicator increases the influence of the factor.

The eighth area of estimation of the enterprise riskiness will be carried out according to the level of business reputation according to the enterprise:

- a well-known trademark (brand) presence - "2" points
- quality of products and services - "1" point;
- quality of management - "0" points;
- low-known enterprise - "-1" point;
- negative reputation - "2" points.

The ninth area of risk assessment of the enterprise determined as a financial (speculative) risk by us, considered as a risk of inflation and the resulting increase due to rising prices for raw materials, semi-finished products, components, changes in the growth rate of wages and so on.

- no inflation - "2" points
- moderate inflation - "1" score
- rampant inflation - "0" point;
- hyperinflation - "1" point;
- superinflation - "2" points.

The final tenth direction in evaluating risks of a motor transport enterprise is institutional risks that are characterized by the level of development of market institutions, availability of legal norms, rules and procedures, level of access to information and securing market transactions and contracts.

- a high level of development of institutions guaranteeing the stability, prudence and transparency of market rules and regulations - "2" points
- properly executed and efficiently used rights, fair and impartial judicial system - "1" point
- shortage of institutions, unsatisfactory access to information and asymmetry of entrepreneurs - "0" points
- incoherence of formal and informal institutions, blurred property rights, excessive regulation of entrepreneurial activity - "1" score
- contradictory set of institutions, lack of clear legal norms, structuring the activity of enterprises, focusing on the pseudo-market rules of behavior by institutions, availability of raiding procedures and a high level of corruption - "2" points.

Considering each of the directions of riskiness assessment to be equivalent, a comprehensive riskiness score of the enterprise can be calculated by the formula:

$$Z = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (1)$$

After comparing the value of the obtained comprehensive riskiness index with the intervals of the aggregate riskiness rank, we define the overall level of riskiness of the road transport enterprise.

Conclusions

1. The risk is a complex, multifaceted and immense phenomenon. Analyzing a methodological approaches to assessing the level of risk of economic activity has shown that all of them are mainly aimed at improving, expanding and adapting the system of characteristics and indicators of the activities of enterprises. The characteristics by which the risks of economic activity of the road transport enterprise are assessed can be both financial and non-financial. Nevertheless, they must necessarily manifest, be identified, assessed and optimized regardless of the origin of risk characteristics and attributes. And the earlier they will be revealed, the more time the MTE management will have for collecting the necessary information and developing the strategy of preventing the crisis situation at the enterprise.

2. Taking into account the accumulated experience of risk management, each motor transport enterprise should

introduce an effective system of risk management in order to achieve success in solving its tasks. This system should include:

- development of a procedure for identifying, monitoring and controlling risks;
- the introduction of existing and development of independent (and individual for each company) risk assessment models;
- training of qualified specialists in risk management;
- a set of measures, mechanisms and tools for minimizing risks (risk avoidance, risk prevention, risk acceptance, risk diversification, risk insurance, risk hedging, risk limitation).

3. The author's approach to the assessment of the risk of economic activity of motor transport enterprises in conditions of uncertainty is characterized by a clear and weighed system of factors, expressed in indicative indices, reflecting the influence of internal and external environment on the level of riskiness of economic activity of motor transport enterprises. Based on a indicator system, a clearly-multiple model for assessing the level of current riskiness of the economic activity of the road transport enterprise have been formed.

Список літератури

1. Гуцайлюк З. В. Економічні ризики: фінансово-обліково-аналітичний аспекти: монографія. Тернопіль. ТНТУ імені Івана Пулюя. 2011. 200 с.
2. Загурський О. М. Сутність репутаційних ризиків та особливості управління ними у банківському секторі. Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики. 2017. Т. 2. № 23. С. 38-44
3. Загурський О. М. Управління ризиками : навчальний посібник. Київ. Університет «Україна», 2016. 243 с.
4. Загурський О. М. Фінансовий аналіз: кредитно-модульний курс. навчальний посібник. Київ. Центр учбової літератури. 2013. 472 с.
5. Кривов'язюк І. В., Смерічевський С. Ф., Кулик Ю. М. Ризик-менеджмент логістичної системи машинобудівних підприємств: монографія. Київ. Видавничий дім «Кондор». 2018. 200 с.
6. Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T. «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. P. 199-213.
7. Посохов І. М. Теоретичні та практичні аспекти управління ризиками корпорацій: монографія. Харків. Слово. 2014. 499 с.
8. Beasley M. S., Clune R., Hermanson D. R. Enterprise risk management: an empirical analysis of factors associated with the extent of implementation. Journal of Accounting and Public Policy. 2005. Vol. 24. Issue 6. P. 521-531.
9. Bromiley P., Shane M., Nair A., Rustambekov E. Enterprise risk management: review, critique, and

research directions. Long Range Planning. 2015. Vol. 48. Issue 4. P. 265-276.

10. Conca A., Ridella C., Saponi E. A Risk assessment for road transportation of dangerous goods: a routing solution. Transportation Research Procedia. 2016. Vol. 14. P. 2890-2899.

11. Sprčić D. M., Kožul A., Pecina E. State and perspectives of enterprise risk management system development – the case of croatian companies. Procedia Economics and Finance. 2015. Vol. 30. P. 768-779.

12. Williams S. P., Hausman V. Categorizing the business risks of social media. Procedia Computer Science. 2017. Vol. 121. P. 266-273.

13. Zagurskiy O. M. Assessment model of risk tolerability level of perishable agricultural products transportation. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11, No 2. P. 59-66.

14. Zagurskiy O., Ohienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 162 p.

References

1. Gutsailyuk Z. V. (2011). Economic risks: financial, accounting and analytical aspects: monograph. Ternopil. Ivan Pulyuy TNTU. 200.

2. Zagurskiy O. M. (2017). The essence of reputational risks and features of their management in the banking sector. Financial and credit activities: problems of theory and practice. 2(23). 38-44.

3. Zagurskiy O. M. (2016). Risk management: a textbook. Kyiv. University "Ukraine". 243.

4. Zagurskiy O. M. (2013). Financial analysis: credit-module course. Tutorial. Kyiv. Center for Educational Literature. 472.

5. Kryvovyznyuk I. V., Smerichevsky S. F., Kulik Y. M. (2018). Risk management of the logistics system of machine-building enterprises: a monograph. Kyiv. Condor Publishing House. 200.

6. Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T. (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. 199-213.

7. Posokhov I. M. (2014). Theoretical and practical aspects of risk management of corporations: a monograph. Kharkiv. Slovo. 499.

8. Beasley M. S., Clune R., Hermanson D. R. (2005). Enterprise risk management: An empirical analysis of factors associated with the extent of implementation. Journal of Accounting and Public Policy. 24(6). 521-531.

9. Bromiley P., McShane M., Nair A., Rustambekov E. (2015). Enterprise risk management: review, critique, and research directions. Long Range Planning. 48(4). 265-276.

10. Conca A., Ridella C., Saponi E. (2016). Risk assessment for road transportation of dangerous goods: a

routing solution. Transportation Research Procedia. 14. 2890-2899.

11. Sprčić D. M., Kožul A., Pecina E. (2015). State and perspectives of enterprise risk management system development – the case of croatian companies. Procedia Economics and Finance. 30. 768-779.

12. Williams S. P., Hausman V. (2017). Categorizing the business risks of social media. Procedia Computer Science. 121. 266-273.

13. Zagurskiy O. M. (2020). Assessment model of risk tolerability level of perishable agricultural products transportation. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(2). 59-66.

14. Zagurskiy O., Ohienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. (2020). Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 162.

НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

О. М. Загурський

Анотація. У статті розглянуто сучасні методики визначення ризиковості підприємства. Запропоновано авторський підхід щодо оцінки ризику господарської діяльності автотранспортних підприємств в умовах невизначеності, який характеризується чіткою і зваженою системою факторів, виражених в індикативних показниках, що відображають вплив внутрішнього і зовнішнього середовища на рівень ризиковості господарської діяльності АТП. Удосконалено методику оцінки комплексного показника ризику автотранспортного підприємства. На основі узагальнень сформовані висновки та практичні рекомендації щодо оцінки ризику господарської діяльності автотранспортного підприємства.

Ключові слова: невизначеність, ризик, рейтинговий метод, комплексний показник ризику, зони ризику.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКОВ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

О. М. Загурский

Аннотация. В статье рассмотрены современные методики определения рискованности деятельности предприятия. Предложен авторский подход к оценке риска хозяйственной деятельности автотранспортных предприятия в условиях неопределенности, который характеризуется четкой и взвешенной системой факторов, выраженных в индикативных показателях, отражающих влияние внутренней и внешней среды на уровень рискованности хозяйственной деятельности АТП.

Усовершенствована методика оценки комплексного показателя риска автотранспортного предприятия.

На основе обобщений сформированы выводы и практические рекомендации по оценке риска хозяйственной деятельности автотранспортного предприятия.

Ключевые слова: неопределенность; риск; рейтинговый метод, комплексный показатель риска; зоны риска.

О. М. Загурский ORCID 0000-0002-5407-8466.

УДК 004.421:531.1

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛОСКИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

О. М. Черниш, М. Г. Березовий, В. В. Яременко, М. М. Круглій

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 131 – прикладна механіка.

Кореспонденція авторів: mechanics_chair@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.
Бібл. 17, рис. 10, табл. 0.

Анотація. Розглянуто аналітичні дослідження кінематичних параметрів плоских важільних механізмів на прикладі кінематичного розрахунку аксіального кривошипно-повзунного механізму. Застосовано алгоритм у програмному середовищі Mathcad, що суттєво спрощує і прискорює процес обрахунку і дає можливість використання отриманих даних для подальшого аналізу і синтезу механізмів.

Ключові слова: плоскі важільні механізми, кінематичні параметри, кінематичний аналіз, аналітичні розрахунки, програмне середовище.

Постановка проблеми

Комп'ютерні технології і програмні засоби є важливим елементом інженерної діяльності сучасного фахівця та пов'язані з процесами моделювання і проектування, потребують виконання значної кількості аналітичних обчислень. Інженерні розрахунки лежать в основі проектування виробів. Вони є необхідним елементом кожного етапу процесу проектування. Перевагою застосування прикладних програм при розв'язанні задач кінематики і динаміки механізмів є швидкість і зручність розв'язання більш складних завдань, наближених до реальних умов. При цьому математичні труднощі, які пов'язані із традиційними методами аналітичних розрахунків, можуть бути суттєво спрощені при використанні систем комп'ютерного математичного аналізу.

Застосування прикладних програм з метою аналітичного обчислення і графічного відображення інформації вимагає глибоких знань і практичних навичок у сфері їх створення і використання. Тому питання розробки прикладних методів і проведення інженерних розрахунків у певному програмному середовищі відповідно до конкретних поставлених умов на сьогодні є актуальні.

Аналіз останніх досліджень

У питанні проведення прикладних інженерних розрахунків можна відмітити використання таких

програмних систем як Mathcad, MATLAB, Maple, Mathematica, а також систем програмування високого рівня (Turbo Pascal, C++, VC++, Visual Basic тощо).

В роботах [1-14] розглянуто питання побудови розрахункових моделей механічних систем у відповідних програмних продуктах, алгоритми проведення деяких аналітичних розрахунків та приклади комп'ютерного моделювання.

Мета досліджень

Провести аналітичні дослідження кінематичних параметрів кривошипно-повзунного механізму із застосуванням програмного пакету Mathcad. Здійснити оцінку методики використання вбудованих в Mathcad функцій математичного розв'язку векторних рівнянь, проаналізувати результати обчислень методом замкнених векторних контурів із застосуванням функцій аналогів швидкостей і прискорень.

Результати досліджень

Для аналітичного визначення кінематичних параметрів механізмів застосовано кінематичні формули, що можуть бути отримані для ланок механізмів, як механічної системи твердих тіл [15-17].

З цією метою розглянемо кінематичні параметри аксіального (незміщеного) кривошипно-повзунного механізму, який обертається із кутовою швидкістю ω_1 (рис. 1).

Вхідними параметрами є кут повороту φ_1 кривошипа 1 і лінійні розміри ланок l_1 і l_2 .

Важливим кінематичними характеристиками даного механізму є закони зміни переміщення, швидкості і прискорення точки В повзуна 3, які необхідно визначити.

Систему координатних осей O, x, y розташовано так, щоб положення точки В можна було визначати за координатою s_B , яка відраховується від крайнього правого положення повзуна 3 (точки B_0) і знаходиться від осі обертання кривошипа O на відстані $x_B =$

$(OA_0 + A_0B_0) - BB_0 = (l_1 + l_2) - s_B$ (рис. 1).

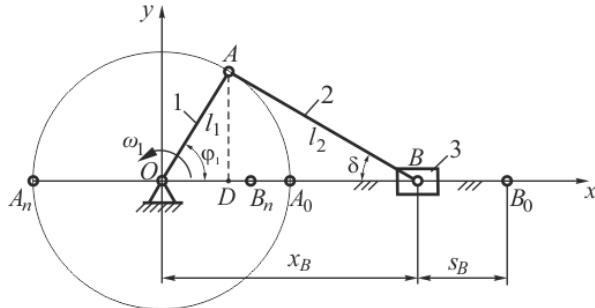


Рис. 1. Кінематична схема аксіального кривошипно-повзунного механізму.

Fig. 1. The kinematic scheme of the axial crank-slider mechanism.

Таким чином

$$s_B = (l_1 + l_2) - x_B. \quad (1)$$

Визначимо аналітичний закон зміни s_B положення точки B повзуна 3 при його переміщенні від крайнього правого положення B_0 до крайнього лівого положення B_n і навпаки. При цьому значення положення точки B повзуна буде змінюватись у межах від 0 до $(l_1 + l_2)$ і знову до 0.

Опустимо перпендикуляр із точки A на вісь x і запишемо довжину x_B як

$$x_B = l_{OD} + l_{DB},$$

Переміщення s_B визначається виразом:

$$s_B = (l_1 + l_2) - (l_{OD} + l_{DB}) = (l_1 + l_2) - l_1 \cos \varphi_1 - l_2 \cos \delta,$$

де φ_1 – кут повороту кривошипа 1; δ – кут між миттєвим напрямом лінії AB і віссю x (кут нахилу шатуна).

Кут нахилу шатуна можна знайти із $\triangle OAB$:

$$\sin \delta = \frac{l_1 \sin \varphi_1}{l_2},$$

або

$$\sin \delta = \frac{1}{k} \sin \varphi_1, \quad (2)$$

де $k = \frac{l_2}{l_1}$ – коефіцієнт співвідношення між довжиною шатуна і кривошипа (для стаціонарних поршневих двигунів $k \approx 5$, в автомобільних двигунах $k \approx 4$).

Чим менше величина k , тим менші габарити і вага двигуна при однаковому значенні довжини кривошипа.

З іншого боку, із зменшенням коефіцієнта k збільшується кут нахилу шатуна δ і збільшується тиск на стінки поршня циліндра. Тому зменшення величини k веде до більшого зносу двигуна і зниження його коефіцієнта корисної дії.

Кут нахилу шатуна δ у будь якому положенні механізму можна визначити як

$$\delta = \arcsin \frac{1}{k} \sin \varphi_1. \quad (3)$$

Представивши l_2 у вигляді

$$l_2 = k \cdot l_1,$$

з (1) отримаємо

$$s_B = l_1(k + 1 - \cos \varphi_1 - k \cos \delta). \quad (4)$$

Для визначення швидкості v_B точки B повзуна продиференціюємо попередній вираз за часом:

$$v_B = \frac{ds}{dt} = l_1 \left(\omega_1 \sin \varphi_1 - k \sin \delta \frac{d\delta}{dt} \right). \quad (5)$$

Для визначення кутової швидкості ω_2 шатуна 2 продиференціюємо за часом ліву і праву частини виразу (2):

$$\cos \delta \cdot \frac{d\delta}{dt} = \frac{1}{k} \cos \varphi_1 \cdot \frac{d\varphi_1}{dt},$$

або

$$\cos \delta \cdot \frac{d\delta}{dt} = \frac{\omega_1}{k} \cos \varphi_1,$$

звідки

$$\omega_2 = \frac{d\delta}{dt} = \frac{\omega_1 \cos \varphi_1}{k \cos \delta}, \quad (6)$$

Підставляючи цей вираз у (4), отримаємо

$$\begin{aligned} v_B &= l_1 \omega_1 \left(\sin \varphi_1 + \sin \delta \frac{\cos \varphi_1}{\cos \delta} \right) = \\ &= l_1 \omega_1 \left(\frac{\sin(\varphi_1 + \delta)}{\cos \delta} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Для визначення прискорення a_B точки B повзуна, запишемо попередній вираз у вигляді:

$$v_B = l_1 \omega_1 (\sin \varphi_1 + tg \delta \cos \varphi_1).$$

При умові, що $\omega_1 = \text{const}$, після диференціювання за часом знаходимо:

$$\begin{aligned} a_B &= \frac{dv}{dt} = l_1 \omega_1 \times \\ &\times \left(\cos \varphi_1 \cdot \omega_1 - tg \delta \sin \varphi_1 \cdot \omega_1 + \frac{\cos \varphi_1}{\cos^2 \delta} \cdot \frac{d\delta}{dt} \right), \end{aligned}$$

або із врахуванням (5), маємо:

$$a_B = l_1 \cdot \omega_1^2 \frac{1}{\cos \delta} \left(\cos(\varphi_1 + \delta) + \frac{\cos^2 \varphi_1}{k \cos^2 \delta} \right). \quad (8)$$

Треба зазначити, що при підрахунках переміщень, швидкостей і прискорень точки B повзуна за формулами (4), (7) і (8) крім кута повороту кривошипа φ_1 необхідно також знайти кут нахилу шатуна δ згідно із виразом (3).

Але величина δ теж залежить від величини φ_1 , а тому в кінцевому варіанті переміщення, швидкості і прискорення залежать тільки від кута повороту кривошипа.

У багатьох випадках положення, швидкість і прискорення точки B повзуна зручно визначати за наближеними формулами.

Для отримання таких наближених формул знайдемо із (2):

$$\cos \delta = \sqrt{1 - \sin^2 \delta} = \sqrt{1 - \frac{1}{k^2} \sin^2 \varphi_1}. \quad (9)$$

Якщо підставити даний вираз у (4), отримаємо:

$$s_B = l_1 \left(k + 1 - \cos \varphi_1 - k \sqrt{1 - \frac{1}{k^2} \sin^2 \varphi_1} \right). \quad (10)$$

Вираз кореня (9), що входить в (10), можна розкласти в ряд за формулою бінома Ньютона при $n = \frac{1}{2}$. В результаті будемо мати:

$$\begin{aligned} \cos \delta &= \left(1 - \frac{1}{k^2} \sin^2 \varphi_1 \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= 1 - \frac{1}{2k^2} \sin^2 \varphi_1 - \frac{1}{8k^4} \sin^4 \varphi_1 - \frac{1}{16k^6} \sin^6 \varphi_1 - \dots \end{aligned}$$

Із врахуванням того, що

$$\begin{aligned}\sin^2 \varphi_1 &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2 \varphi_1; \\ \sin^4 \varphi_1 &= \frac{3}{8} - \frac{1}{2} \cos 2 \varphi_1 + \frac{1}{8} \cos 4 \varphi_1; \\ \sin^6 \varphi_1 &= \frac{5}{16} - \frac{15}{32} \cos 2 \varphi_1 + \frac{3}{16} \cos 4 \varphi_1 - \frac{1}{32} \cos 6 \varphi_1; \\ &\dots\dots\dots\end{aligned}$$

остаточно отримаємо:

$$\begin{aligned}\cos \delta &= \left(1 - \frac{1}{k^2} \sin^2 \varphi_1\right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= 1 - \frac{1}{4k^2} + \frac{1}{4k^2} \cos 2 \varphi_1 - \frac{3}{64k^4} + \frac{1}{16k^4} \cos 2 \varphi_1 - \\ &- \frac{1}{64k^4} \cos 4 \varphi_1 - \frac{5}{256k^6} + \frac{15}{512k^6} \cos 2 \varphi_1 - \\ &- \frac{3}{256k^6} \cos 4 \varphi_1 + \frac{1}{512k^6} \cos 6 \varphi_1 - \dots = \\ &= \left(1 - \frac{1}{4k^2} - \frac{3}{64k^4} - \frac{5}{256k^6} - \dots\right) + \\ &+ \left(\frac{1}{4k^2} + \frac{1}{16k^4} + \frac{15}{512k^6} + \dots\right) \cos 2 \varphi_1 - \\ &- \left(\frac{1}{64k^4} + \frac{3}{256k^6} + \dots\right) \cos 4 \varphi_1 + \\ &+ \left(\frac{1}{512k^6} + \dots\right) \cos 6 \varphi_1 - \dots\end{aligned}$$

Найдене наближене значення кореня (9) підставимо у формулу визначення переміщення точки B повзуна (10):

$$\begin{aligned}s_B &= l_1 \left[\left(1 + \frac{1}{4k} + \frac{3}{64k^3} + \frac{5}{256k^5} + \dots\right) - \cos \varphi_1 - \right. \\ &- \left. \left(\frac{1}{4k} + \frac{1}{16k^3} + \frac{15}{512k^5} + \dots\right) \cos 2 \varphi_1 + \right. \\ &+ \left. \left(\frac{1}{64k^3} + \frac{3}{256k^5} + \dots\right) \cos 4 \varphi_1 - \right. \\ &- \left. \left(\frac{1}{512k^5} + \dots\right) \cos 6 \varphi_1 \dots \right].\end{aligned}$$

Таким чином, переміщення координати точки B повзуна може бути представлена у вигляді нескінченного ряду:

$$s_B = l_1 (A_0 + A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos 2 \varphi_1 + A_4 \cos 4 \varphi_1 + A_6 \cos 6 \varphi_1 + \dots), \quad (11)$$

в якому кожен член (окрім члена $A_1 = -1$) також являє собою нескінчений ряд:

$$\begin{aligned}A_0 &= 1 + \frac{1}{4k} + \frac{3}{64k^3} + \frac{5}{256k^5} + \dots; \\ A_2 &= -\left(\frac{1}{4k} + \frac{1}{16k^3} + \frac{15}{512k^5} + \dots\right); \\ A_4 &= \frac{1}{64k^3} + \frac{3}{256k^5} + \dots; \\ A_6 &= -\left(\frac{1}{512k^5} + \dots\right);\end{aligned} \quad (12)$$

Як видно із останніх виразів, коефіцієнти із ряду A швидко зменшуються. Наприклад, якщо у виразі (11) відкинути член $A_6 \cos 6 \varphi_1$ і всі інші, що йдуть за ним, то точність розрахунків буде до п'ятого знаку після коми.

Отже практичного значення набуває наближена формула із трьома першими членами, яка надає достатню точність наближених розрахунків переміщення:

$$s_B = l_1 (A_0 + A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos 2 \varphi_1). \quad (13)$$

При цьому і самі коефіцієнти A_0 і A_2 також розраховуються за старшими членами відповідних рядів:

$$\begin{aligned}A_0 &= 1 + \frac{1}{4k}; \\ A_2 &= -\frac{1}{4k}.\end{aligned}$$

Тоді із врахуванням того, що $A_1 = -1$, остаточно

будемо мати наступну формулу наближеного розрахунку переміщення координати точки B повзуна:

$$s_B = l_1 \left(1 + \frac{1}{4k} - \cos \varphi_1 - \frac{1}{4k} \cos 2 \varphi_1\right). \quad (14)$$

Диференціюючи за часом вираз (14) можна знайти формулу наближеного розрахунку швидкості точки B повзуна:

$$v_B = \frac{ds}{dt} = l_1 \omega_1 \left(\sin \varphi_1 + \frac{1}{2k} \sin 2 \varphi_1\right), \quad (15)$$

Аналогічно диференціюючи за часом вираз (15) можна знайти формулу наближеного розрахунку прискорення точки B повзуна:

$$a_B = \frac{dv}{dt} = l_1 \omega_1^2 \left(\cos \varphi_1 + \frac{1}{k} \cos 2 \varphi_1\right). \quad (16)$$

Треба зауважити, що точність наближених формул (15) і (16) внаслідок диференціювання значно менша точності формули (14). Знаки плюс і мінус тут вказують на напрямок швидкості і прискорення.

Отримані формули наближеного розрахунку можна застосовувати, наприклад, при знаходженні максимальної швидкості повзуна. У цьому випадку похідна швидкості (тобто величина прискорення) дорівнює нулю і тоді із (16) отримаємо

$$\cos \varphi_1 + \frac{1}{k} \cos 2 \varphi_1 = 0.$$

або

$$\frac{2}{k} \cos^2 \varphi_1 + \cos \varphi_1 - \frac{1}{k} = 0.$$

Розв'язком цього рівняння є значення кута повороту кривошипа φ_1 :

$$\cos \varphi_1 = \frac{-k + \sqrt{k^2 + 8}}{4},$$

де перед коренем вибраний тільки додатний знак як дійсно можливий.

Підставивши отримане значення кута φ_1 у вираз (15), можна знайти два максимальних значення швидкості v_B , які будуть відрізнятись тільки за знаком. Одне максимальне значення швидкості виникає на ділянці $\varphi_1 \in [0, \pi]$, друге – на ділянці $\varphi_1 \in [\pi, 2\pi]$.

При цьому швидкість буде максимальною у тому положенні механізму, коли кривошип і шатун будуть мати між собою прямий кут

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{l_2}{l_1} = k.$$

Далі для кінематичного дослідження застосуємо метод замкнених векторних контурів, представивши кінематичну схему механізму у вигляді одного замкненого векторного контуру, який утворюють його ланки (рис. 2).

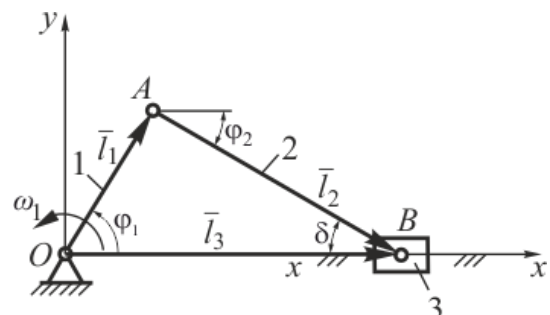


Рис. 2. Замкнений векторний контур механізму.
Fig. 2. The closed vector contour of the mechanism.

Визначимо закони переміщення, швидкості та прискорення шатуна 2 та повзуна 3 (його точки B).

Представимо схему механізму у вигляді замкнутого векторного контуру $OABO$. У цей контур входить структурна група Ассура другого класу 2-го виду: II кл. 2в. (2, 3).

Умова замкненості векторів $\vec{l}_1$, $\vec{l}_2$, $\vec{l}_3$ цього контуру буде наступною:

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 = \vec{l}_3, \quad (17)$$

Виберемо прямокутну систему координат xOy , за початок відліку якої приймемо центр шарніра O , а вісь Ox спрямуємо вздовж напрямної повзунів. Спроектуємо векторне рівняння (17) на осі x та y і отримаємо:

$$\begin{cases} l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 = l_3, \\ l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 = 0, \end{cases} \quad (18)$$

де l_1 , l_2 – відповідно довжини ланок 1 і 2; l_3 – відстань між центром шарніра O кривошипа та центром шарніра B повзуна; φ_1 – узагальнена координата механізму (кут повороту кривошипа 1); φ_2 – кут повороту ланки 2.

В системі тригонометричних рівнянь (18) знаки при складових визначаються знаками тригонометричних функцій. За додатний напрямок відліку кутів φ_1 і φ_2 приймемо напрямок проти руху годинникової стрілки (напрямок обертання кривошипа).

Так, при куті $\varphi_1 = 40^\circ$ кут $\varphi_2 = -20^\circ$ і у цьому випадку друге рівняння системи (18) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} l_1 \sin 40^\circ + l_2 \sin(-20^\circ) &= 0, \\ l_1 \sin 40^\circ - l_2 \sin 20^\circ &= 0. \end{aligned}$$

Для того, щоб знайти зв'язок між лінійними і кутовими координатами, скористуємось геометричними співвідношеннями в кінематичній схемі даного механізму.

Із $\triangle OAB$ маємо:

$$\begin{aligned} l_2 \sin \delta &= l_1 \sin \varphi_1, \\ \delta &= \arcsin\left(\frac{l_1}{l_2} \sin \varphi_1\right), \end{aligned} \quad (19)$$

Розв'язуючи рівняння (18) відносно невідомих φ_2 і l_3 , отримаємо аналітичні залежності положень ланок 2, 3 від узагальненої координати φ_1 , тобто функції положень ланок даного механізму.

Для контуру даного механізму $\varphi_2 = \delta$. В результаті із врахуванням напрямку відліку кутів із другого рівняння системи (18) маємо:

$$\varphi_2 = \arcsin\left(-\frac{l_1}{l_2} \sin \varphi_1\right), \quad (20)$$

а з першого рівняння (18):

$$l_3 = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2.$$

Враховуючи, що

$$\cos \varphi_2 = \sqrt{1 - \frac{l_1^2}{l_2^2} \sin^2 \varphi_1},$$

Закон зміни положення точки B повзуна 3 відносно центру шарніра O кривошипа може бути представлений у вигляді

$$s_B = l_3 = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \sqrt{1 - \frac{l_1^2}{l_2^2} \sin^2 \varphi_1}. \quad (21)$$

Визначення аналітичних залежностей швидкостей ланок і окремих точок механізму зводиться до диференціювання системи тригонометричних рівнянь (18), як складених функцій, за часом t :

$$\begin{cases} -l_1 \sin \varphi_1 \frac{d\varphi_1}{dt} - l_2 \sin \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{dt} = \frac{dl_3}{dt}, \\ l_1 \cos \varphi_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + l_2 \cos \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{dt} = 0. \end{cases}$$

Із врахуванням того, що

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1; \quad \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2; \quad \frac{dl_3}{dt} = v_3 = v_B,$$

отримаємо:

$$\begin{cases} -l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 - l_2 \omega_2 \sin \varphi_2 = v_B, \\ l_1 \omega_1 \cos \varphi_1 + l_2 \omega_2 \cos \varphi_2 = 0. \end{cases} \quad (22)$$

Сумісне розв'язання двох рівнянь системи (22) дозволяють визначити кутову швидкість ω_2 шатуна 2 і лінійну швидкість v_B точки B повзуна 3.

Із другого рівняння системи (22) визначаємо кутову швидкість шатуна 2:

$$\omega_2 = -\frac{l_1 \omega_1 \cos \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2}, \quad (23)$$

а із першого рівняння системи (22):

$$v_B = -(l_1 \omega_1 \sin \varphi_1 + l_2 \omega_2 \sin \varphi_2). \quad (24)$$

Підставимо у (24) вираз (23). Після перетворень остаточно лінійна швидкість точки B повзуна 3 визначиться як:

$$v_B = \frac{l_1 \omega_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{\cos \varphi_2}. \quad (25)$$

У випадку, коли закон руху початкової ланки невідомий, визначають аналоги швидкостей та прискорень, диференціюючи систему рівнянь (18) за узагальненою координатою.

Для визначення прискорень продиференціюємо за часом t систему рівнянь (22). В результаті отримаємо:

$$\begin{cases} -l_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1 - l_2 \omega_2^2 \cos \varphi_2 - l_2 \varepsilon_2 \sin \varphi_2 = a_B, \\ -l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 - l_2 \omega_2^2 \sin \varphi_2 + l_2 \varepsilon_2 \cos \varphi_2 = 0. \end{cases} \quad (26)$$

Сумісне розв'язання системи рівнянь (33) дають формули визначення кутового прискорення ε_2 шатуна 2 і лінійного прискорення a_B точки B повзуна 3.

Із другого рівняння системи (26) визначаємо:

$$\varepsilon_2 = \frac{l_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1 + l_2 \omega_2^2 \sin \varphi_2}{l_2 \cos \varphi_2}, \quad (27)$$

а із першого рівняння системи (34):

$$a_B = -(\omega_1^2 l_1 \cos \varphi_1 + \omega_2^2 l_2 \cos \varphi_2 + \varepsilon_2 l_2 \sin \varphi_2), \quad (28)$$

Підставивши значення ε_2 із (27) в рівняння (28), після перетворень остаточно визначаємо лінійне прискорення точки B повзуна 3:

$$a_B = -\frac{l_1 \omega_1^2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}{\cos \varphi_2}. \quad (29)$$

Координати будь-якої іншої характерної точки механізму, її швидкість та прискорення визначають, використовуючи рівняння проекцій даної точки на осі координат.

Наприклад, для точки центра мас S_2 шатуна 2 можна записати:

$$\begin{cases} x_{S_2} = l_1 \sin \varphi_1 + l_{AS_2} \sin \varphi_2, \\ y_{S_2} = l_1 \cos \varphi_1 + l_{AS_2} \cos \varphi_2. \end{cases} \quad (30)$$

Модулі швидкостей та прискорень цієї точки можна знайти за відомими формулами:

$$v_{s_2} = \sqrt{\dot{x}_{s_2}^2 + \dot{y}_{s_2}^2}, \quad a_{s_2} = \sqrt{\ddot{x}_{s_2}^2 + \ddot{y}_{s_2}^2}. \quad (31)$$

Аналітичне обчислення швидкостей і прискорень кривошипно-повзунного механізму при використанні базових лінійних рівнянь системи (18) можна проводити також за допомогою застосування аналогів швидкостей і прискорень.

Для визначення аналогів кутової швидкості шатуна 2 і лінійної швидкості повзуна 3, продиференціюємо лінійні рівняння системи (18) за узагальненою координатою φ_1 :

$$\left. \begin{aligned} -l_1 \sin \varphi_1 - l_2 \sin \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} &= \frac{dl_3}{d\varphi_1}, \\ l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} &= 0, \\ -l_1 \sin \varphi_1 - \varphi_2' \sin \varphi_2 l_2 &= s_3', \\ l_1 \cos \varphi_1 + \varphi_2' \cos \varphi_2 l_2 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

де $\varphi_2' = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}$ – аналог кутової швидкості шатуна 2; $s_3' = \frac{dl_3}{d\varphi_1}$ – аналог лінійної швидкості повзуна 3.

Із другого рівняння системи (32) знаходимо:

$$\varphi_2' = -\frac{l_1 \cos \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2} \quad (33)$$

Підставивши вираз (33) в перше рівняння системи (32), отримаємо:

$$\begin{aligned} s_3' &= -l_1 \sin \varphi_1 - \varphi_2' l_2 \sin \varphi_2 = \\ &= -l_1 \sin \varphi_1 + \frac{l_1 \cos \varphi_1 \cdot l_2 \sin \varphi_2}{l_2 \cos \varphi_2} = \\ &= \frac{-l_1 \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + l_1 \cos \varphi_1 \sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = \\ &= \frac{l_1 (\sin \varphi_2 \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2 \sin \varphi_1)}{\cos \varphi_2}. \end{aligned} \quad (34)$$

Остаточно після тригонометричних перетворень аналог лінійної швидкості повзуна 3 визначається як:

$$s_3' = \frac{l_1 (\varphi_2 - \varphi_1)}{\cos \varphi_2}. \quad (35)$$

В результаті кутову швидкість ω_2 шатуна 2 і лінійну швидкість v_B точки B повзуна 3 легко знайти через їх аналоги:

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \varphi_2' = -\omega_1 \cdot \frac{l_1 \cos \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2}, \quad (36)$$

$$v_B = \omega_1 \cdot s_3' = \omega_1 \cdot \frac{l_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{\cos \varphi_2}, \quad (37)$$

де ω_1 – кутова швидкість ведучої ланки (кривошипа 1).

Як бачимо, отримані вирази (36) і (37) ідентичні відповідним виразам (23) і (25).

Аналогічно для визначення аналогів кутового прискорення шатуна 2 і лінійного прискорення повзуна 3, продиференціюємо за узагальненою координатою φ_1 лінійні рівняння системи (22):

$$\left. \begin{aligned} -l_1 \cos \varphi_1 - l_2 \left(\frac{d\varphi_2'}{d\varphi_1} \sin \varphi_2 + \varphi_2' \cos \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \right) &= \frac{ds_3'}{d\varphi_1}, \\ -l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \left(\frac{d\varphi_2'}{d\varphi_1} \cos \varphi_2 - \varphi_2' \sin \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \right) &= 0, \end{aligned} \right\}$$

або

$$\left. \begin{aligned} -l_1 \cos \varphi_1 - l_2 \varphi_2'' \sin \varphi_2 - l_2 (\varphi_2')^2 \cos \varphi_2 &= s_3'', \\ -l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \varphi_2'' \cos \varphi_2 - l_2 (\varphi_2')^2 \sin \varphi_2 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

де $\varphi_2' = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}$, $\varphi_2'' = \frac{d\varphi_2'}{d\varphi_1} = \frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1^2}$ – відповідно аналоги

кутові швидкості і прискорення шатуна 2; $s_3'' = \frac{ds_3'}{d\varphi_1} = \frac{d^2 l_3}{d\varphi_1^2}$ – аналог лінійного прискорення повзуна 3.

Із другого рівняння системи (38) знаходимо:

$$\varphi_2'' = \frac{l_2 (\varphi_2')^2 \sin \varphi_2 + l_1 \sin \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2}. \quad (39)$$

Із першого рівняння системи (38), підставивши вираз (39), отримаємо вираз для аналога лінійного прискорення повзуна 3:

$$\begin{aligned} s_3'' &= -l_1 \cos \varphi_1 - l_2 (\varphi_2')^2 \cos \varphi_2 - l_2 \varphi_2'' \sin \varphi_2 = \\ &= -l_1 \cos \varphi_1 - l_2 (\varphi_2')^2 \cos \varphi_2 - \\ &\quad - l_2 \sin \varphi_2 \frac{l_2 (\varphi_2')^2 \sin \varphi_2 + l_1 \sin \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2}. \end{aligned} \quad (40)$$



Рис. 3. Вхідні параметри для розрахунку кінематичних параметрів аксіального кривошипно-повзунного механізму.

Fig. 3. Input parameters for calculating the kinematic parameters of the axial crank-slider mechanism.

Результати проведених програмних розрахунків наведено на рис. 4 – 7.

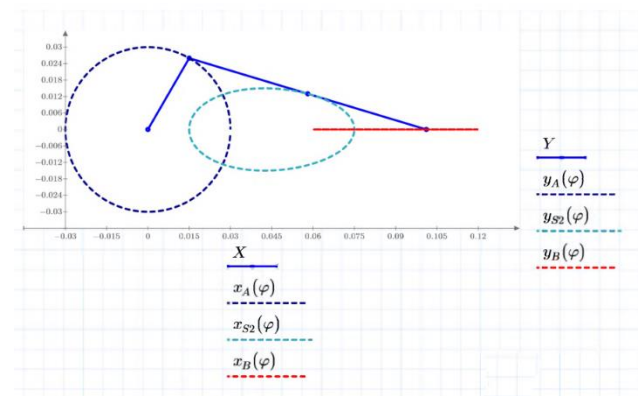


Рис. 4. План положення механізму і траєкторії руху характерних його точок A, B і A_{S2} (кут повороту кривошипа $\varphi_1 = 60^\circ$).

Fig. 4. The plan of the position of the mechanism and the trajectories of its key points A, B and A_{S2} (the crank angle $\varphi_1 = 60^\circ$).

В результаті кутове прискорення ε_2 шатуна 2 і лінійну швидкість a_B точки B повзуна 3 можна знайти через їх аналоги наступним чином:

$$\varepsilon_2 = \omega_1^2 \cdot \varphi_2'' + \varepsilon_1 \varphi_2', \quad (41)$$

$$a_B = \omega_1^2 \cdot S_3'' + \varepsilon_1 S_3', \quad (42)$$

де ω_1 , ε_1 – кутова швидкість і кутове прискорення ведучої ланки (кривошипа 1).

Вхідні параметри для побудови у програмному середовищі Mathcad кінематичних діаграм аксіального кривошипно-повзунного механізму із поточним положенням його кривошипа 60° показані на рис. 3.

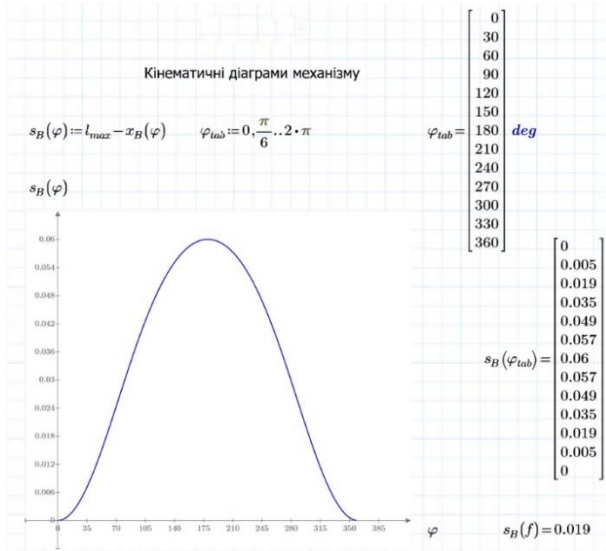


Рис. 5. Функція і графік лінійного переміщення s_B вихідної ланки.

Fig. 5. The function and graph of linear movement s_B of the output link.

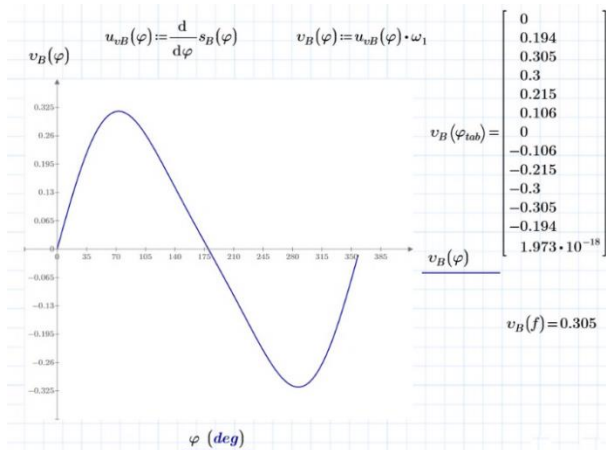


Рис. 6. Функція і графік лінійної швидкості v_B вихідної ланки.

Fig. 6. The function and graph of the linear velocity v_B of the output link.

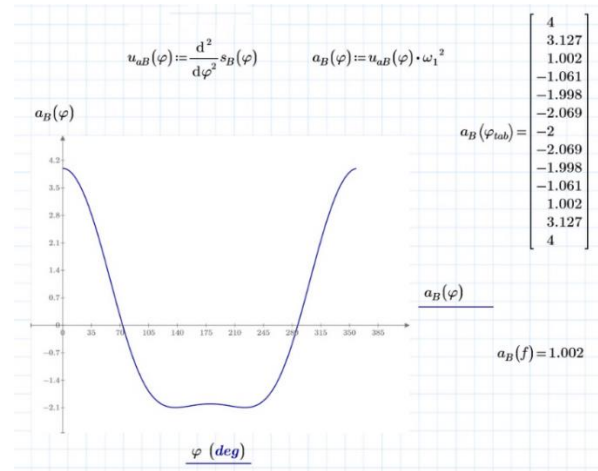


Рис. 7. Функція і графік лінійного прискорення a_B вихідної ланки.

Fig. 7. The function and graph of the linear acceleration a_B of the output link.

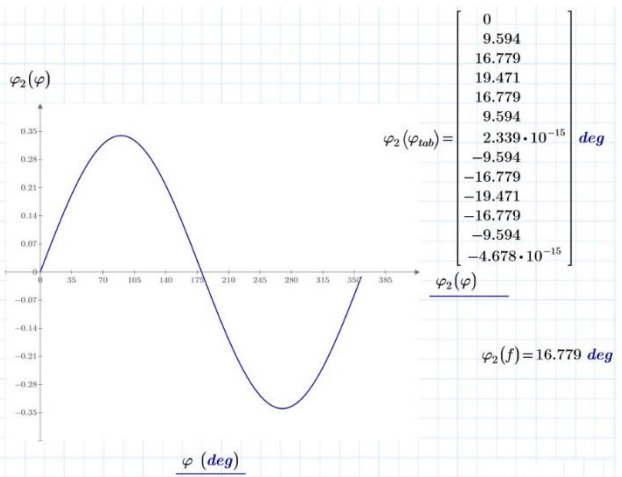


Рис. 8. Графік кутового переміщення шатуну.

Fig. 8. The graph of the angular movement of the connecting rod.

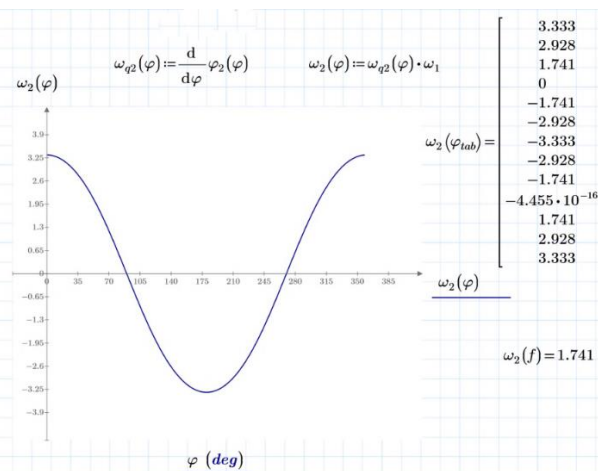


Рис. 9. Функція і графік кутової швидкості ω_2 шатуну.

Fig. 9. The function and graph of the angular velocity ω_2 of the connecting rod.

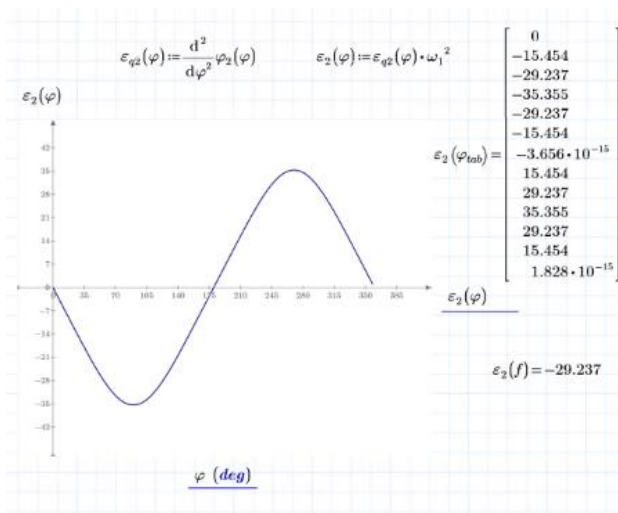


Рис. 10. Функція і графік кутового прискорення ε_2 шатуна.

Fig. 10. The function and graph of the angular acceleration ε_2 of the connecting rod.

Згідно кінематичних досліджень, що проведені, закон руху вихідної ланки – повзуна є гармонійною функцією, як і закон зміни швидкості його руху. Швидкість повзуна має максимальні значення у середині півперіодів його руху за один цикл, тобто при відповідних кутах повороту кривошипа від початкового положення і мінімальні значення у початку і кінці півперіодів руху одного циклу. Прискорення повзуна має максимальні значення в момент максимальної зміни його швидкості.

Висновки

1. Проведено аналітичні дослідження вхідних кінематичних параметрів кривошипно-повзунного механізму за допомогою математичного апарату розв'язання системи векторних рівнянь на базі програмного пакету Mathcad. Наведений алгоритм спрощує і прискорює процес обрахунків та дає можливість застосувати отримані данні для подальшого аналізу механізму аналітичним шляхом.

2. Швидкість вихідної ланки кривошипно-повзунного механізму має максимальні значення у середині півперіодів його руху (кути повороту кривошипа від початкового положення: $\frac{\pi}{2}$ і $\frac{3\pi}{4}$) і мінімальні значення на початку і в кінці півперіодів руху (кути повороту від початкового положення: $0, \pi, 2\pi$). Прискорення вихідної ланки має максимальні значення при кутах повороту кривошипа: $0, \pi, 2\pi$.

3. Точність аналітичних обрахунків, що проведені, дозволяє отримати вхідні дані для аналітичного розрахунку динамічних параметрів з метою проведення синтезу механічних пристроїв, що є подібними за структурою.

4. Можливість швидкої аналітичної обробки значної кількості вхідної інформації дозволяє здійснювати безперервний контроль технічного стану механізмів та визначати раціональні режими їх роботи.

Список літератури

1. Доронін Ф. А., Досєв В. С. Дослідження руху плоского механізму за допомогою пакету Mathcad. Теорія механізмів і машин. 2011. № 1. Т. 9. С. 77-87.
2. Петров Г. Н. Комп'ютерне моделювання механічних систем в середовищі Model Vision. Теорія механізмів і машин. 2004. № 1. Т. 9. С. 75-79.
3. Третьяков В. М. Використання програми Mathcad при визначенні швидкостей і прискорень важільних механізмів. Теорія механізмів і машин. 2009. № 2. Т. 7. С. 40-48.
4. Krasniqi Fehmi, Shala Ahmet, Krasniqi Valdrin. Planar kinematics analysis method of seven-bar mechanism using vector loops and the verification of results experimentally. Proc. 12th International research/expert conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" (TMT-2008). Istanbul, Turkey. 26-30 August. 2008. P. 985-988.
5. Lobontiu N., Garcia E. Analytical model of displacement amplification and stiffness optimization for a class of flexure-based compliant mechanisms. Computers and Structures. 2003. № 81 (32). P. 2797-2810. doi:10.1016/j.compstruc.2003.07.003.
6. Hoevenaars Antonius, Lambert Patrice, Herder Just. Kinematic Design of Two Elementary 3DOF Parallel Manipulators with Configurable Platforms. Mechanisms and Machine Science. 2014. № 15. P. 315-322. doi:10.1007/978-94-007-7214-4-35.
7. Zou H., Abdel-Malek K. A., Wang J. Y. Design propagation in mechanical systems: Kinematic analysis. Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME, 1997. № 119(3). P. 338-345. doi:10.1115/1.2826353.
8. Henning S., Linß S., Gräser P., Theska R., Zentner L. Non-linear analytical modeling of planar compliant mechanisms. Mechanism and Machine Theory, 2021. 155. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2020.104067.
9. Chen X., Jiang S., Wang S., Deng Y. Dynamics analysis of planar multi-DOF mechanism with multiple revolute clearances and chaos identification of revolute clearance joints. Multibody System Dynamics. 2019. № 47(4). P. 317-345. doi:10.1007/s11044-018-09654-0.
10. Geng X., Li M., Liu Y., Zheng W., Zhao Z. Non-probabilistic kinematic reliability analysis of planar mechanisms with non-uniform revolute clearance joints. Mechanism and Machine Theory. 2019. № 140. P. 413-433. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.010.
11. Калетнік Г. М., Черниш О. М., Березовий М. Г. Використання сучасних методів механіки для сільськогосподарства. Зб. наук. праць ВНАУ. Серія: технічні науки. 2012. № 11. Т. 1 (65). С. 8-18.
12. Черниш О. М., Березовий М. Г. Елементи графічного моделювання вектора сили на площині з використанням засобів програмування на ПК. MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. 2006. Т. 8. P. 69-80.
13. Zhang D., Xu Y., Yao J., Hu B., Zhao Y. Kinematics, dynamics and stiffness analysis of a novel 3-DOF kinematically/actuation redundant planar parallel mechanism. Mechanism and Machine Theory. 2017. 116. P. 203-219. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2017.04.011.
14. Chen Y., Sun Y., Yang D. Investigations on the dynamic characteristics of a planar slider-crank

mechanism for a high-speed press system that considers joint clearance. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2017. Vol. 31(1). P. 75-85. doi:10.1007/s12206-016-1209-z.

15. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4. Issue 7(112). P. 41-49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

16. Кініцький Я. Т. Теорія механізмів і машин. Київ. Наукова думка. 2002. 662 с.

17. Marghitu, Dan B. San Diego. Mechanical engineer's handbook. Academic Press. 2001. 864 с.

References

1. Doronin F. A., Doyev V. S. (2011). Study of the motion of a planar mechanism using the Mathcad package. *Theory of Mechanisms and Machines*. 1(9). 77-87.

2. Petrov G. N. (2004). Computer model of mechanical systems in the Model Vision. *Theory of Mechanisms and Machines*. 1(9). 75-79.

3. Tretiakov V. M. (2009). Using Mathcad in determining the speeds and accelerations of rod mechanisms. *Theory of Mechanisms and Machines*. 2(7). 40-48.

4. Krasniqi Fehmi, Shala Ahmet, Krasniqi, Valdrin. (2008). Planar kinematics analysis method of seven-bar mechanism using vector loops and the verification of results experimentally. *Proc. 12th International research/expert conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" (TMT)*. Istanbul. Turkey. 26-30 August. 985-988.

5. Lobontiu N., Garcia E. (2003). Analytical model of displacement amplification and stiffness optimization for a class of flexure-based compliant mechanisms. *Computers and Structures*. 81 (32). 2797-2810. doi:10.1016/j.compstruc.2003.07.003.

6. Hoevenaars Antonius, Lambert Patrice, Herder Just. (2014). Kinematic Design of Two Elementary 3DOF Parallel Manipulators with Configurable Platforms. *Mechanisms and Machine Science*. 15. 315-322. doi:10.1007/978-94-007-7214-4-35.

7. Zou H., Abdel-Malek K. A., Wang J. Y. (1997). Design propagation in mechanical systems: Kinematic analysis. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*. 119(3). 338-345. doi:10.1115/1.2826353.

8. Henning S., Linß S., Gräser P., Theska R., Zentner L. (2021). Non-linear analytical modeling of planar compliant mechanisms. *Mechanism and Machine Theory*. 155 doi:10.1016/j.mechmachtheory.2020.104067.

9. Chen X., Jiang S., Wang S., Deng Y. (2019). Dynamics analysis of planar multi-DOF mechanism with multiple revolute clearances and chaos identification of revolute clearance joints. *Multibody System Dynamics*. 47(4). 317-345. doi:10.1007/s11044-018-09654-0.

10. Geng X., Li M., Liu Y., Zheng W., Zhao Z. (2019). Non-probabilistic kinematic reliability analysis of planar mechanisms with non-uniform revolute clearance joints.

Mechanism and Machine Theory. 140. 413-433. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.010.

11. Kaletnik H. M., Chernysh O. M., Berezovyi M. H. (2012). Use of modern methods of mechanics for agriculture. *Collection of scientific papers of Vinnytsia National Agrarian University. Technical Sciences Series*. 11. (65). 8-18.

12. Chernysh O. M., Berezovyi M. H. (2006). Elements of graphic modeling of the force vector on the plane using programming tools. *MOTROL Motorization and Power Industry in Agriculture*. 8. 69-80.

13. Zhang D., Xu Y., Yao J., Hu B., Zhao Y. (2017). Kinematics, dynamics and stiffness analysis of a novel 3-DOF kinematically/actuation redundant planar parallel mechanism. *Mechanism and Machine Theory*, 116. 203-219. doi:10.1016/j.mechmachtheory. 2017.04.011.

14. Chen Y., Sun Y., Yang D. (2017). Investigations on the dynamic characteristics of a planar slider-crank mechanism for a high-speed press system that considers joint clearance. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 31(1). 75-85. doi:10.1007/s12206-016-1209-z.

15. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4(7(112)). 41-49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

16. Kinitskiy Ya. T. (2002). *Theory of Mechanisms and Machines*. Kyiv. Naukova Dumka. 662.

17. Marghitu Dan B. (2001). *Mechanical engineer's handbook*. San Diego: Academic Press. 864.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛОСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ МЕХАНИЗМОВ

О. Н. Черныш, Н. Г. Березовый, В. В. Яременко,
М. М. Круглий

Аннотация. Рассмотрены аналитические исследования кинематических параметров плоских стержневых механизмов на примере кинематического расчета аксиального кривошипно-ползунного механизма. Для исследований использован алгоритм в программной среде Mathcad, что существенно упрощает и ускоряет процесс расчетов и дает возможность использования полученных данных для дальнейшего анализа и синтеза механизмов.

Ключевые слова: плоские стержневые механизмы, кинематические параметры, кинематический анализ, аналитические расчеты, программная среда.

ANALYTICAL STUDIES OF THE KINEMATIC PARAMETERS OF PLANAR ROD MECHANISMS

O. M. Chernysh, M. H. Berezovyi, V. V. Yaremenko,
M. M. Kruhlii

Abstract. Analytical studies of the kinematic parameters of planar (2D) rod mechanisms are considered on the example of the kinematic calculation of the axial crank-slider mechanism. The algorithm in the Mathcad

software environment is used, which greatly simplifies and speeds up the calculation process and makes it possible to use the obtained data for further analysis and synthesis of mechanisms.

Key words: planar rod mechanisms, kinematic parameters, kinematic analysis, analytical calculations, software environment.

О. М. Черниш ORCID 0000-0001-6173-0259.

М. Г. Березовий ORCID 0000-0001-9221-9787.

В. В. Яременко ORCID 0000-0002-3271-6287.

М. М. Круглій ORCID 0000-0003-4753-4352.

УДК 631.1.004

РЕСУРСНІСТЬ ВИТРАТ ВИНОСУ ЗА НАПРУЖЕНИЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИЙ ПЕРІОД ОБСЯГУ ОПЕРАЦІЙ З ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

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 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.
Бібл. 26, рис. 8, табл. 5.

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 робоздатності 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

Виробництво зерна в Україні у сучасних умовах знаходиться на етапі зростання та збільшення валового збору [1, 2]. Так, у 2012–2020 рр. він зріс з 40 до 60 млн тон зерна [3, 4]. Поряд з цим необхідно відмітити, що показники успіху супроводжуються таким негативним явищем, як втрати вирощених урожаїв, які сягають 7–8 млн тон, а це складає 16–18% від валового збору [5,

6]. Домінуючою причиною таких значних втрат урожаю є постійна нестача зернозбиральних комбайнів [7], низька технічна готовність [8] і невідповідність персоналу застосовувати сучасну техніку [9]. Відомо [10], що в агротерміни збирають лише 30 % посівів зернових культур, а тривалість збирального сезону перевищує їх в 3–5 разів [11].

Навантаження на один фізичний комбайн складає 189 га, на технічно справний – приблизно 218 га або 770 т [12]. Понад 70 % комбайнів мають термін експлуатації до 30 років з ймовірним значенням коефіцієнта готовності 0,4–0,7, які намолочують 200–600 т [13]; втрати від біологічного осипання досягають мінімум 10 % від валового збору [14]. Причинами значних втрат вирощеного урожаю є високе фізичне навантаження на комбайн і низька ефективність використання наявного парку за потужністю двигуна та пропускною здатністю молотарки, агробіологічним станом хлібної маси, втратами зерна за молотаркою [15]. В умовах реального виробництва потужність двигунів зернозбиральних комбайнів [16] і пропускна здатність молотарки використовуються максимально до 57–63 % від номінального завантаження [17]. Безумовно [18], низьке завантаження є основною причиною низької продуктивності, затягування термінів жнив і значних втрат зерна від біологічного осипання та перевитрат палива [19]. Втрати вирощеного урожаю через осипання і низький відсоток збирання продовольчих класів зерна у встановлені агротерміни є причиною значних збитків (≈ 1 млрд \$) вітчизняних аграріїв [20]. Ось чому тема роботи є актуальною, а сама робота має значну практичну цінність як для виробників зернозбиральних комбайнів, так і для їх користувачів, а також у навчальному процесі при підготовці інженерних кадрів сільськогосподарського виробництва [21].

Аналіз останніх досліджень

Виходячи з результатів досліджень Національної програми виробництва, технологічних комплексів машин і устаткування для сільського господарства,

харчової і переробної промисловості сформульовані такі локальні критерії (показники) оцінки [22]:

- 1) експлуатаційні затрати;
- 2) прямі витрати палива;
- 3) затрати сукупної енергії;
- 4) матеріаломісткість;
- 5) приведені затрати.

Локальні показники визначають на одиницю продукції (для технологій і технологічних комплексів машин) або на одиницю роботи (для технологічних ліній, окремих машинно-тракторних агрегатів) [23].

На основі аналізу сучасних наукових досягнень по багатокритеріальній оптимізації технічних рішень та існуючих нормативних документів [24, 25] визначено такі комплексні критерії оцінки:

- 1) Байєса-Лапласа;
- 2) Гурвіца;
- 3) Севіджа;
- 4) Ходжа-Лемана
- 5) критерій за ДСТУ ISO 9000-2.

Відповідно то прийнятих локальних критеріїв визначена номенклатура показників оцінки [26]: питомі експлуатаційні затрати, грн/одиницю продукції чи роботи; питомі прямі витрати палива, кг одиницю продукції чи роботи; питомі затрати сукупної енергії, МДж/одиницю продукції чи роботи; питомі приведені затрати, грн/одиницю продукції чи роботи; питома матеріаломісткість, кг/одиницю продукції чи роботи.

Якщо є можливість визначити прибуток при оцінюванні технології або комплексу машин, то показники за рештою критеріїв тільки контролюють, а прибуток як критерій буде основним для прийняття рішення [12]. Коли ж прибуток визначити неможливо (при оцінюванні технологічних ліній, окремих машинно-тракторних агрегатів), то використовують перші 5 локальних критеріїв [2].

Критерії оцінки технічного рівня відображають

кінцеві результати використання комплексу машин чи окремого машинно-тракторного агрегату [4]. Показники визначають в розрахунку на одиницю кінцевої сільськогосподарської продукції, як правило на 1 ц продукції [11]. Коли проводять оцінку технічного рівня окремої машини, МТА або технологічної лінії, тоді показники визначають на одиницю обсягу робіт: на один гектар, на одну тону тощо [19].

Мета досліджень

Мета досліджень – описати особливості аналітичних підходів до ресурсності витрат виносу за напружений сільськогосподарський період обсягу операцій з технічного обслуговування сільськогосподарських машин.

Результати досліджень

Дані методичні рекомендації поширюються на Для розрахунку економії витрат від виносу обсягу операцій з технічного обслуговування за напружений сільськогосподарський період для господарств: Господарство № 1, Господарство № 2, Господарство № 3 - був виконаний розрахунок витрат на ТО-2, ТО-3 і усунення відмов в напружений і ненаголошений періоди (таблиця 1) із застосуванням програми MS Office Exel 2010.

Розрахунок частки економії прибутку господарств від виносу обсягу операцій за напружений сільськогосподарський період виконаний на підставі витрат, представлених в таблиці 1. Результати розрахунку представлені в таблиці 2.

Таблиця 1. Результати розрахунку витрат на ТО-2, ТО-3 і усунення відмов від виносу операцій за напружений сільськогосподарський період для господарств Київської області.

Table 1. The results of the calculation of costs for TO-2, TO-3 and the elimination of refusals to carry out operations for a busy agricultural period for farms in the Kiev region.

Показник		Господарства		
		Господарство № 1	Господарство № 2	Господарство № 3
Сумарні витрати на ТО2, ТО-3 і усунення відмов в напружений період, грн.	K701	2782269	391950	3825184
	John Deere- 8420	268800	-	-
Сумарні витрати на ТО-3 в ненапружений період, тис. грн.	K701	156845	41605,2	156845
	John Deere-8420	17400	-	-

Таблиця 2. Результати розрахунку частки економії прибутку від виносу операцій по ТО-2, ТО-3 і усунення відмов за напружений період для господарств Київської області.

Table 2. The results of calculating the share of profit savings from the removal of operations on TO-2, TO-3 and the elimination of failures during the stressful period for farms in the Kiev region.

Господарство	Показник	
	Економія витрат, грн.	Частка економії прибутку
Господарство № 1	2906824	0,12
Господарство № 2	350344,8	0,09
Господарство № 3	3668339	0,13

На рис. 1 представлений графік залежності від площі господарства частки прибутку, яку можна використовувати при передачі робіт по обслуговування тракторів спеціалізованому підприємству.

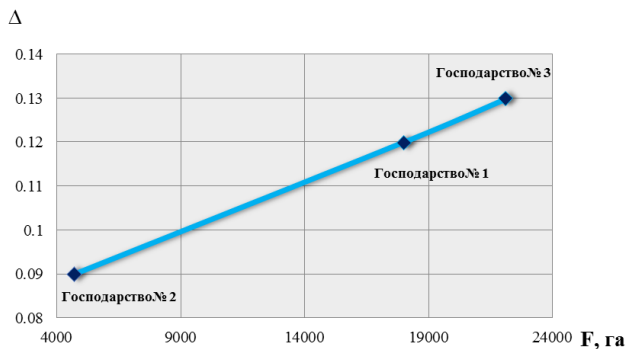


Рис. 1. Залежність частки прибутку господарств від їх площі.

Fig. 1. Dependence of the share of farm profits on their area.

Аналіз показує: чим більше господарство і вище його виручка, тим більше частки свого прибутку воно буде використовувати на передачу робіт по обслуговування тракторів спеціалізованим підприємствам.

Розрахунок частки робіт з технічного обслуговування, які можливо передати підприємству спеціалізованого технічного сервісу. Розрахунок здійснений на підставі показань виконання ТО-2 для тракторів марок К-701 і John Deere-8420 на сільськогосподарському підприємстві і в умовах підприємства спеціалізованого технічного сервісу (таблиця 3).

На підставі поданої в розділі 3.7 методики виконано розрахунок витрат на ТО-2 тракторів К-701, а також John Deere-8420 на СТО (Z) і в господарстві (M) (таблиця 4).

Доля робіт по ТО-2, які можливо передати підприємству спеціалізованого технічного сервісу, для тракторів К-701 і John Deere-8420 відповідно складе 0,71 і 0,40.

Таблиця 3. Вихідні дані для розрахунків витрат по господарству № 1 для ТО-2.

Table 3. Initial data for calculations of farm costs № 1 for TO-2.

Показник	K701		John Deere-8420	
	СТО	Господарство	СТО	Господарство
$\bar{t}_{toj}$ - тривалість ТО, год	4	6,4	4,5	10,4
S_x - собівартість ТО, грн./год	550	475	600	500
C_{zv} - вартість години простою трактора, грн.	2100	2100	2100	2100
R_{xjv} - відстань транспортування трактора на ТОР, км	130	0	130	0
V_{trv} - швидкість транспортування трактора, км/год	60	0	60	0
C_{tr} - вартість години транспортування агрегату ТО (трактора), грн.	1000	0	1000	0
t_{toj} - трудомісткість ТО, люд.-год	9,6	11,6	4,1	5,3
$t_{пто}$ - питома трудомісткість ТО, люд.-год/год	0,14	0,08	0,145	0,12
N_v - напрацювання на відмову, год	200	150	482	320
$\bar{t}_{усун}$ - тривалість усунення наслідків відмов, год	6,92	28	6,95	31
N_{rx} - міжремонтний напрацювання, год	3500	2500	4570	3010
$\bar{t}_p$ - тривалість ремонту трактора, год	40	160	39	196

Таблиця 4. Результати розрахунку витрат на ТО-2.

Table 4. The results of the calculation of costs for TO-2.

Показник	K701		John Deere-8420	
	СТО (Z)	Господарство (M)	СТО (Z)	Господарство (M)
Витрати, грн.	32397,38	110072,7	27335,68	45642
доля ϕ	0,71		0,40	

На підставі даних, отриманих по господарствах №1, №2, №3 можна встановити закономірність зміни $\varphi = f(R)$ (рис. 2) і записати у вигляді формули

$$\varphi = -0,0021 \cdot R + 0,9628, \quad (1)$$

де R – відстань від спеціалізованого технічного сервісу до господарства і назад, км.

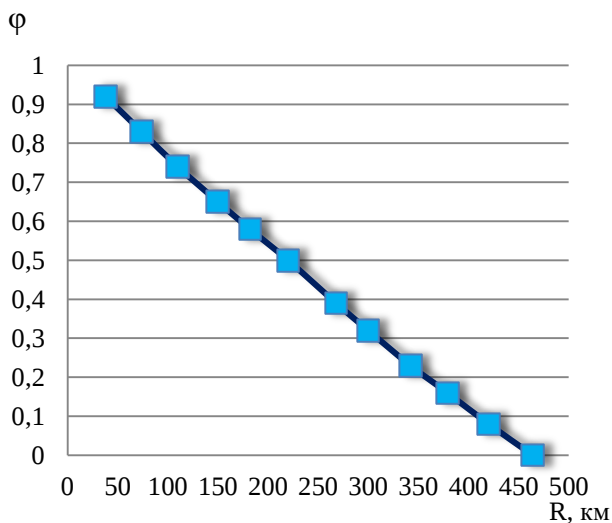


Рис. 2. Прогнозування залежності частки робіт по ТО-2, переданих на СТО, від радіуса.

Fig. 2. Forecasting the dependence of the share of work on TO-2, transferred to the service station, the radius.

При збільшенні відстані R до критичної позначки (≈ 200 - 230 км), передача робіт по ТО-2 на СТО не має сенсу, так як витрати в господарстві прагнуть до витрат на СТО, а при подальшому збільшенні відстані (до ≈ 458 - 459 км) стають такими ж. Перегонка тракторів на СТО і назад обходиться занадто дорого.

Аналогічно здійснюється розрахунок витрат на виконання ТО-3 у господарстві № 1 згідно з вихідними даними (таблиця 3).

На підставі проаналізованих даних по організаціях, які виконують технічне обслуговування тракторів і сільськогосподарської техніки на території Київської області, встановлено, що фахівці підприємств технічного сервісу виїжджають на пересувних агрегатах технічного обслуговування на відстань до 500 км. Чим віддалено знаходиться господарство від спеціалізованої організації технічного сервісу, тим дорожче обходиться технічне обслуговування. Подорожчання компенсує споживач послуг, що ставить в нерівноцінні партнерські відносини господарства і техцентри.

Щоби розподілити частку (φ) обсягу передачі робіт на підприємства спеціалізованого технічного сервісу за сформованими групам господарств, визначимо залежність φ від економії, отриманої при винесенні операцій складних видів технічного обслуговування за напружений період. скористаємося співвідношенням.

$$\varphi = 1 - \frac{Z}{\Sigma E} \quad (2)$$

де Z – затрати на ТО2 і ТО-3, виконувані на підприємстві спеціалізованого технічного сервісу;

ΣE – сумарна економія підприємства від перенесення операцій ТО-2 і ТО-3 за напружений період.

Залежність φ від економії, отриманої при винесенні операцій складних видів технічного обслуговування за напружений період, розрахована за формулою (2), представлена на рис. 3.

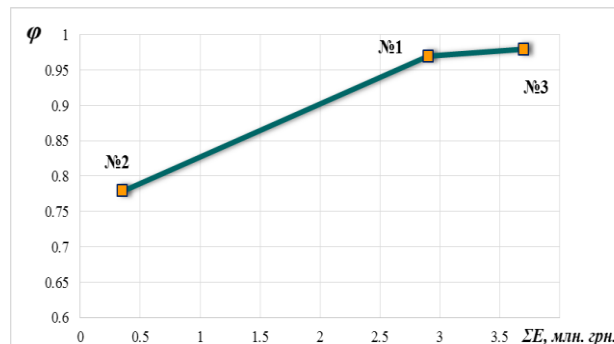


Рис. 3. Прогнозування залежності частки обсягу робіт, переданих на СТО, від економії витрат.

Fig. 3. Forecasting the dependence of the share of work transferred to the service station on cost savings.

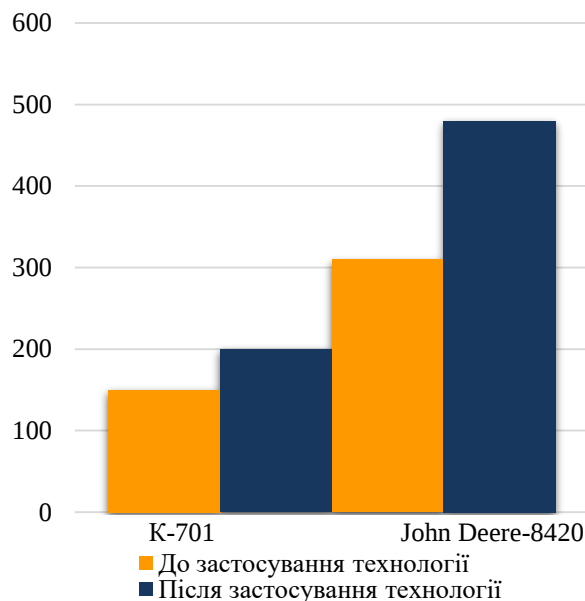


Рис. 4. Напрацювання на відмову H_B , год.

Fig. 4. Operating time on refusal H_B , h.

Дохід підприємства безпосередньо залежить від економії витрат при винесенні робіт складних видів технічного обслуговування за напружений період. Отже, чим вище економія витрат, тим більший обсяг робіт господарство може передати підприємствам спеціалізованого технічного сервісу.

На підставі виконаних розрахунків можна дати наступні рекомендації: при $\varphi \geq 0,5$ всі роботи по ТО-2 і ТО-3 передаються підприємству спеціалізованого технічного сервісу. Це підвищить надійність тракторів і звільнить механізатора від участі у виконанні операцій з технічного обслуговування (ТО-2, ТО-3). Обслуговування тракторів на підприємствах спеціалізованого технічного сервісу підвищує їх

надійність і скорочує кількість відмов, напрацювання на відмову збільшується на 30% (рис. 4), міжремонтний напрацювання на 40% (рис. 5). Механізатор на основну роботу буде витрачати близько 73% робочого часу (рис. 6), а витрати часу на проведення технічного обслуговування, ремонту машин, усунення та очікування усунення наслідків відмов скоротяться до 25%, що дозволить підвищити продуктивність машинно-тракторних агрегатів та якість виконуваних робіт.

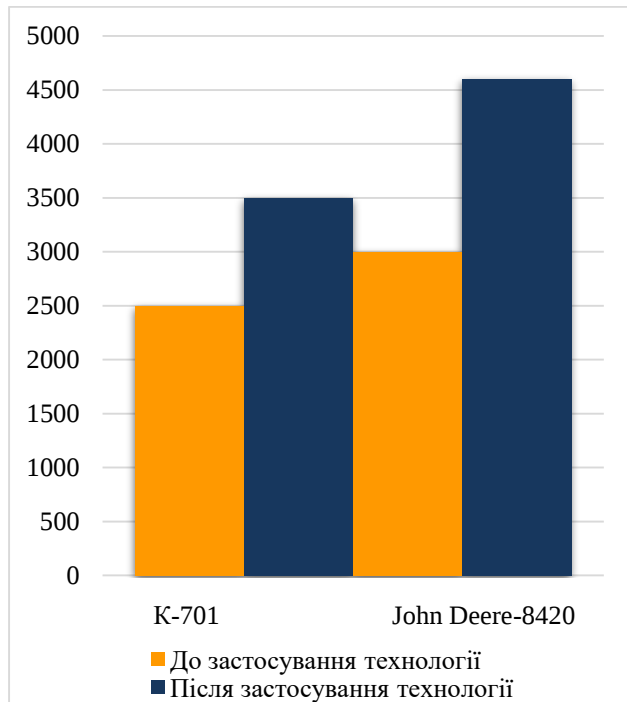


Рис. 5. Міжремонтне напрацювання H_{px} , год.
Fig. 5. Inter-repair time H_{px} , h.



Рис. 6. Діаграма зайнятості механізатора протягом року.
Fig. 6. Chart of employment of the machine operator during the year.

Організація технічного обслуговування в кооперації з спеціалізованими центрами дозволить збільшити дохідність підприємства.

Фактична змінна продуктивність залежить від коефіцієнта технічної готовності:

$$k_r = \frac{M_{sp}}{M} \quad (3)$$

де M_{sp} – кількість справних машин, шт;

M – загальна кількість машин, шт.

Однак даний коефіцієнт за відносно короткий проміжок часу (посівні роботи, зяблева оранка і ін.) Не в повній мірі відображає фактичну кількість працюючих машинно-тракторних агрегатів через недостатню кількість механізаторів, а також простою тракторів на технічному обслуговуванні, ремонті, усунення відмов і очікуванні. Тому більш кращою характеристикою готовності техніки, на наш погляд, може бути коефіцієнт технічного використання техніки:

$$k_{tv} = \frac{W_{\phi}}{W_j} \quad (4)$$

де W_{ϕ} – фактична змінна продуктивність, га/см;

W_j – номінальна змінна продуктивність j -ї машини, га/см.

Коефіцієнт технічного використання техніки залежить від часу, витраченого на виконання операцій з технічного обслуговування (3). При своєчасному проведенні технічного обслуговування в повному обсязі підвищується продуктивність машинно-тракторних агрегатів, збільшуються напрацювання тракторів на відмову і їх міжремонтний наробіток.

Винос операцій складних видів технічного обслуговування за напружений період і виконання ТО-2 в обсязі ТО-3 ведуть до збільшення часу його проведення, що підвищує надійність тракторів, відповідно і продуктивність машинно-тракторних агрегатів при виконанні технологічних операцій.

Залежність коефіцієнта використання техніки k_{tv} від часу на технічне обслуговування T_{to} представлена на рис. 7.

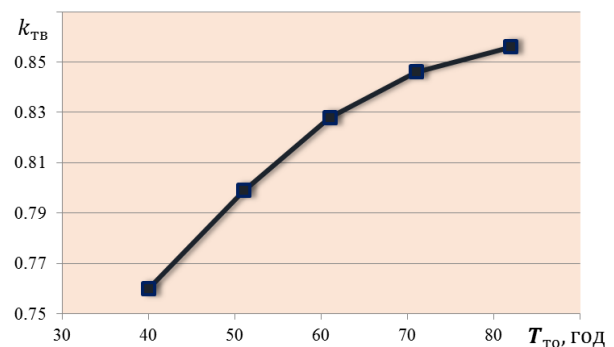


Рис. 7. Залежність коефіцієнта використання техніки k_{tv} від часу на технічне обслуговування T_{to} .
Fig. 7. Dependence of the utilization factor of technology k_{tv} on time for maintenance T_{to} .

Визначення фактичної змінної продуктивності машино-тракторного агрегату здійснювали в двох господарствах Київської області №1 та №3 при виконанні польових операцій: посіву зернових і зяблевої оранки. На посіві в господарствах використовувалися посівні машинно-тракторні агрегати в складі тракторів марки «Кировець» і John Deere-8420 з п'ятьма універсальними зерновими

сівалками; на зяблевої оранки – трактора марки «Кировець» і John Deere-8420 з плугами ПЛН-9-35. Встановлено, що після впровадження нової технології технічного обслуговування підвищується фактична змінна продуктивність машинно-тракторного агрегату

за рахунок скорочення часу на технічне обслуговування тракторів, усунення їх відмов, ремонт, транспортування і очікування виконання цих робіт. Результати представлені в таблиці 5.

Таблиця 5. Фактична змінна продуктивність, га/см.
Table 5. Actual variable productivity, ha/cm.

Господарство	№1		№3	
	До застосування	Після застосування	До застосування	Після застосування
Посів зернових	35,5	40,5	34,9	39,8
Зяблева оранка	29	33,1	27,9	31,8

Із аналізу таблиці 4.10 видно, що фактична змінна продуктивність машинно-тракторних агрегатів збільшується на 14%, прямо пропорційно зміні коефіцієнта технічного використання техніки $k_{ТВ}$ (рис. 8), а також покращилася якість виконання робіт.

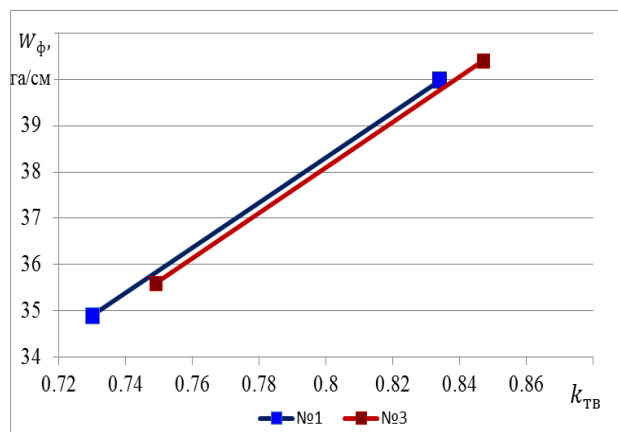


Рис. 8. Фактична змінна продуктивність машинно-тракторних агрегатів при зміні коефіцієнта технічного використання техніки.

Fig. 8. The actual variable productivity of machine-tractor units when changing the coefficient of technical use of equipment.

Висновки

1. На підставі виконаних розрахунків можна дати наступні рекомендації: при $\varphi \geq 0,5$ всі роботи по ТО-2 і ТО-3 передаються підприємству спеціалізованого технічного сервісу. Це підвищить надійність тракторів і звільнить механізатора від участі у виконанні операцій з технічного обслуговування (ТО-2, ТО-3). Обслуговування тракторів на підприємствах спеціалізованого технічного сервісу підвищує їх надійність і скорочує кількість відмов, напрацювання на відмову збільшується на 30%, міжремонтний напрацювання на 40%. Механізатор на основну роботу буде витрачати близько 73% робочого часу, а витрати часу на проведення технічного обслуговування, ремонту машин, усунення та очікування усунення наслідків відмов скоротяться до 25%, що дозволить підвищити продуктивність машинно-тракторних агрегатів та якість виконуваних робіт..

2. Винос операцій складних видів технічного обслуговування за напружений період і виконання ТО-2 в обсязі ТО-3 ведуть до збільшення часу його

проведення, що підвищує надійність тракторів, відповідно і продуктивність машинно-тракторних агрегатів при виконанні технологічних операцій.

3. Фактична змінна продуктивність машинно-тракторних агрегатів збільшується на 14%, прямо пропорційно зміні коефіцієнта технічного використання техніки $k_{ТВ}$ (рис. 8), а також покращилася якість виконання робіт.

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. P. 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. 2017. Vol. 19. P. 158-163.
3. Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I. Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters. 2018. Vol. 16. P. 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. P. 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. 2018. Vol. 298. P. 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. P. 95-98.
7. Luo A.C.J., Guo Y. Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.
8. Astatshv 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. P. 108-113.

9. Zagurskiy O., Ohienko 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. P. 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. P. 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. 2016. Vol. 266. Issue 3. P. 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. Rogovskii I. 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.
16. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 2019. Vol. 18. P. 291-298.
17. Kalinichenko D., Rogovskii I. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179-184.
18. Kalinichenko D., Rogovskii I. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 93-102.
19. Kalinichenko D., Rogovskii I. Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105-115.
20. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.
21. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Штучні когнітивні системи в процесах технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.
22. Rogovskii I. L. Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.
23. Роговський І. Л. Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314–322.
24. Rogovskii Ivan. Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 2016. Vol. 18. No 3. P. 155–164.
25. Роговський І. Л. Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143–150.
26. Роговський І. Л. Моделі формування альтернатив інженерного менеджменту в методах підвищення виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146.

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. 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. 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. 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. 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. 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. 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, 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. 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*, 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. 10(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. 10(4). 145-150.
15. Rogovskii I. L. (2020). Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(1). 155-162.
16. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 18. 291-298.
17. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2014). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. *MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin. 19(3). 179-184.
18. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin–Rzeszów. 17(3). 93-102.
19. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2018). Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 18(1). 105-115.
20. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 258. 380-390.
21. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 262. 353-361.
22. Rogovskii I. L. (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 258. 399-407.
23. Rogovskii I. L. (2015). Metodological performance of technological operations of restoration of working capacity of agricultural mashines at limited resources. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 212(1). 314-322.
24. Rogovskii Ivan. (2016). Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. *MOTROL. Lublin*. 18(3). 155-164.
25. Rogovskii I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(3). 143-150.
26. Rogovskii I. L. (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146.

РЕСУРСНОСТЬ РАСХОДОВ ВЫНОСА
ЗА НАПРЯЖЕННЫЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ
ПЕРИОД ОБЪЕМА ОПЕРАЦИЙ
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

І. Л. Роговський

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. Оценка 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.

Key words: methodology, availability, efficiency, agricultural machine.

I. Л. Роговський ORCID 0000-0002-6957-1616.

RESOURCE OF REMOVAL EXPENSES FOR STRONG AGRICULTURAL PERIOD OF VOLUME OF OPERATIONS

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).

УДК 631.155.1

СИНЕРГЕТИКА ІНТЕРАКТИВНИХ ІНДИКАТОРІВ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОСТІ ТОЧНОСТІ ВИСІВУ ОСНОВНИХ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР АПАРАТОМ З ДОЗАТОРОМ СПРЯМОВАНОЇ ДІЇ

П. С. Попик

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: psporyk@gmail.com.

*Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.
Бібл. 15, рис. 4, табл. 2.*

Анотація. Одним з найбільш проблемних місць в агропромисловому комплексі (АПК) є системність впровадження ресурсозбереження зокрема в сільськогосподарському машинобудуванні. Для подолання даної проблеми автором запропонована схема вибору ресурсозберігаючого проекту для того щоб оцінити ефективність технологій по збереженню ресурсів.

Автором ставилась мета проаналізувати ефективність впровадження ресурсозберігаючих заходів у комплексі першої сфери АПК. Для деталізації мети було поставлене завдання апробації схеми вибору ресурсозберігаючого проекту та визначення ефективності ресурсозберігаючих заходів. В результаті була оцінена модель багатокритеріального обґрунтування підвищення ресурсозбереження підприємств АПК як така, що є адекватною для оцінки ефективності виробництва і рівня ресурсозбереження.

Розрахована економічна ефективність ресурсозберігаючої технології посіву просапних культур висівним апаратом з дозатором спрямованої дії. Середній річний приріст прибутку від впровадження удосконаленого висівного апарата для основних технічних просапних культур (кукурудза, соняшник, соя, буряк) складає 1216,45 у.о. на посіві одного гектару. На прикладі посіву однієї з культур найбільший економічний ефект дає кукурудза – 1,6 млн. у.о. на рік, найменший – соняшник (266 тис. у.о.). Водночас найкращим чином дослідний зразок показав себе при сівбі сої, зменшивши втрати у вартісному виразі на 98 %.

Ключові слова: технологія, точний висів, пневмомеханічний висівний апарат, дозатор спрямованої дії, насіння, комірка, ресурсозбереження, ймовірність пропусків, ймовірність двійників.

Постановка проблеми

Організаційно-економічний розвиток агропромислового комплексу представляє собою процес безперервного вдосконалення організаційно-технологічної структури і технічно-економічних параметрів функціонування виробничих систем.

Таким чином, концепція формування системи ресурсозберігаючого функціонування агроекономіки продовжує і розвиває сформовані наукові положення в області ефективного використання ресурсів і вирішує найважливішу для держави соціально-економічну проблему емергентної взаємодії галузей АПК.

Відповідно до цієї концепції було обґрунтовано постановку нової наукової проблеми формування ресурсозберігаючого типу АПК як результату системної дії складових активної ресурсозберігаючої політики. Ця задача була виконана шляхом створення соціально-економічних, організаційних і правових умов для ефективного відтворення, розвитку й використання потенціалу ресурсозбереження агропромислового виробництва. Основними напрямками підвищення ефективності використання ресурсів є:

- формування і реалізація державних, галузевих, регіональних та місцевих програм збереження ресурсів;

- створення нормативно-правової бази та економічних механізмів для підтримки і стимулювання пристосування інноваційної ресурсозберігаючої діяльності;

- готовність українського АПК використовувати передовий досвід застосування ефективного збереження та використання ресурсів.

Ефективним методом виявлення нових джерел заощадження ресурсів при розробці технічних засобів для сфер АПК, а також проектів виготовлення або відновлення окремих деталей сільськогосподарських і переробних машин є математичне моделювання. В основу модельних побудов покладено математичні системи, представлені в роботі [1]. При виготовленні або відновленні деталей сільськогосподарських і переробних машин необхідно не тільки закладати параметри оптимальної надійності, але і прагнути до досягнення мінімальних витрат ресурсів при дотриманні умов їх відтворення і екологічної стійкості.

Ефективність збереження ресурсів в аграрному виробництві нерозривно пов'язана із застосуванням інноваційних методів, технологій, засобів праці. Необхідність вирішення теоретичних і практичних завдань, спрямованих на виявлення і використання

резервів зростання ефективності підприємств АПК за рахунок зниження ресурсомісткості виробництва визначила актуальність досліджуваної проблеми.

Об'єктом дослідження є впровадження систем збереження ресурсів в агропромисловому комплексі, зокрема в першій його сфері – машинобудуванні для сільського господарства. Як найбільш характерним для досягнення мети дослідження було обрано технологію точного висіву апаратом з дозатором спрямованої дії.

Вибір об'єкту зумовив той факт, що, по даним структури витрат сільськогосподарського виробництва у 2019 році, витрати на посівний матеріал становили від 11,1 до 21,2 % в залежності від культури.

Одним з найбільш проблемних місць є системність впровадження ресурсозбереження в АПК. Для подолання даної проблеми автором запропонований алгоритм вибору ресурсозберігаючого проекту сфери технічного обслуговування, для того щоб оцінити ефективність технологій ресурсозбереження.

Аналіз останніх досліджень

Різні аспекти стратегії збереження ресурсів досліджувалися вченими у працях [2-4]. Сільськогосподарське ресурсозбереження аналізував автор [7], але в подальшому цей напрямок не розвивався. Окремі аспекти ресурсозбереження в контексті інноваційного розвитку досліджували автори [8].

Більшість досліджень, в яких тема ресурсозбереження була розглянута, стосувалася глобального аспекту [9-13]. Зокрема автор праці [9] аналізував ресурсозбереження подібно до автора роботи [5], в рамках структурної трансформації національної економіки. Автор праці [10] зробив ґрунтовний аналіз ресурсозбереження у розрізі регіонального аспекту. Автори праць [11-13] аналізували ресурсозбереження в аспекті його впливу на економічний розвиток України.

Разом з тим, для більш повного розкриття мети даного дослідження, зокрема, для цілей аналізу першої сфери агропромислового комплексу, були розглянуті, крім прямих досліджень по збереженню ресурсів, дотичні теорії і сфери наук, зокрема технічні.

Разом з тим, багато питань ефективної організації матеріально-технічного забезпечення сільськогосподарського виробництва, створення ефективної системи збереження ресурсів як пріоритетного напрямку реалізації потенціалу аграрної сфери на інноваційній основі вимагають подальшого вивчення та обґрунтування.

Мета досліджень

Метою даного дослідження є аналіз ефективності впровадження ресурсозберігаючих заходів у комплексі першої сфери АПК. Для деталізації мети було поставлене завдання створення алгоритму визначення резервів ефективності ресурсів у виробництві,

необхідних для досягнення конкурентних переваг. Це дозволить розробити гнучкі сценарії структурування стратегічних рішень, оцінити економічну ефективність впровадження технологій по збереженню ресурсів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Оцінити адекватність запропонованої моделі для оцінки ефективності виробництва та обґрунтування пріоритетних напрямків збереження ресурсів.

2. Розрахувати економічну ефективність технології посіву просапних культур висівним апаратом з дозатором спрямованої дії.

Результати досліджень

Дані методичні рекомендації поширюються на Для розрахунку економії витрат від виносу обсягу операцій з технічного обслуговування за напружений сільськогосподарський період для господарств: Господарство № 1, Господарство № 2, Господарство № 3 - був виконаний розрахунок витрат на ТО-2, ТО-3 і усунення відмов в напружений і ненаголошений періоди (таблиця 1) із застосуванням програми MS Office Exel 2010.

Для вирішення задачі розрахунку економічної ефективності ресурсозберігаючої технології точного посіву технічних культур висівним апаратом з дозатором спрямованої дії була використана розробка вчених [1], як така, що з усіх альтернативних варіантів найбільшою мірою може бути застосована в українських реаліях.



Рис. 1. Схема вибору проекту по збереженню ресурсів [16].

Fig. 1. The scheme of project selection for resource conservation [16].

В якості економічних показників були використані трудомісткість, металомісткість, енергомісткість, капіталомісткість та інші питомі витрати по i -ій технології виготовлення або відновлення.

В якості технічних показників – ресурс (напрацювання від початку експлуатації машини до

досягнення нею граничного стану), напрацювання до відмови, якість одержуваної продукції (виконуваної машиною операції) і продуктивність робочого процесу.

Схема моделі вибору проекту збереження ресурсів стосовно першої сфери АПК зображена на рис. 1.

Сільськогосподарські та переробні машини повинні мати оптимальний технічний ресурс і напрацювання до відмови, водночас забезпечувати необхідну якість одержуваної продукції і продуктивність робочого процесу.

Для виміру досягнення заданих характеристик пропонується комплексний коефіцієнт g_i який визначається зі співвідношення:

$$g_i = \frac{\tau_{i1}}{\tau_{n1}} \cdot \frac{\tau_{i2}}{\tau_{n2}} \cdot \frac{\tau_{i3}}{\tau_{n3}} \cdot \frac{\tau_{i4}}{\tau_{n4}}, \quad (1)$$

Для вибору ресурсозберігаючого проекту виготовлення (відновлення) деталей сільськогосподарських і переробних машин загальна математична модель оптимізації сільськогосподарського виробництва, описана в [3], трансформується з урахуванням введення наступних параметричних позначень:

i – вид технології виготовлення (відновлення) машини сільськогосподарського або переробного призначення;

X_i – інтенсивність застосування i -ої технології виготовлення (відновлення), змін;

T_i – трудомісткість i -ої технології з одиничною інтенсивністю, люд.-год;

M_i – металоємність i -ої технології з одиничною інтенсивністю, кг;

E_i – енергоємність i -ої технології з одиничною інтенсивністю, кВт-год;

K_i – капіталомісткість i -ої технології з одиничною інтенсивністю, у.о.;

D_i – інші питомі витрати по i -й технології з одиничною інтенсивністю, у.о.;

a_i – продуктивність i -ої технології з одиничною інтенсивністю, шт.;

τ_{i1}, τ_{n1} – технічний ресурс машини, виготовленої за i -ою технологією і за нормативом;

τ_{i2}, τ_{n2} – напрацювання до відмови нової машини по i -й технології і за нормативом;

τ_{i3}, τ_{n3} – показник якості продукції (операції), що отримується на новій машині і по нормативу;

τ_{i4}, τ_{n4} – продуктивність нової машини і за нормативом.

Будь-який висівний апарат точного висіву порівняно з ідеальним посівом вносить свої недоліки у вигляді «пропусків» і «двійників». Для зрозуміння і оцінки недоліків роботи пневмомеханічних висівних апаратів вводимо поняття «пропуск», тобто збій у формуванні регулярного однозернового потоку насіння (насінина не висівається) та «двійник» - висів двох і більше насінин в одне гніздо при однозерновому висіві. Кращим серед апаратів слід вважати той, який виконує посів ближче до ідеального, а економічний ефект від його роботи є різниця в економічних показниках порівняно з базовим (серійним).

Проведення експериментальних польових досліджень висівної секції обладнаної дозатором спрямованої дії потребує деяких її доопрацювань.

Доопрацювання передбачають лише введення в конструкцію висівного апарата сівалки СТВТ-12/8М дозатора з спрямованої дії.

Для цього достатньо замінити серійний висівний диск з периферійними комірками (рис. 2, а.) у вигляді отворів необхідного діаметра і форми, на дозатор спрямованої дії. (рис. 2, б).

Заміна серійного висівного диска на експериментальний не потребує значних змін конструкції висівного апарата.

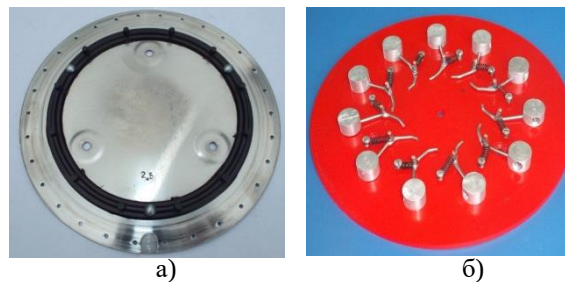


Рис. 2. Діскові дозатори насіння: а – серійний висівний диск; б – дозатор спрямованої дії.

Fig. 2. Disk seed dispensers: a - serial sowing disc; b - directed dispenser.

Дозатор спрямованої дії по своїм основним геометричним розмірам аналогічний серійному і встановлюється замість його на лопатевому роторі, що розміщений у корпусі вакуумної камери (рис. 3).



Рис. 3. Дослідний висівний апарат.

Fig. 3. Experimental seeding machine.

Встановлення дозатора спрямованої дії не вимагає змін форми і об'єму вакуумної камери. Доопрацюванню підлягає тільки насіннева камера, в якій встановлюється нерухомий копір.

Загальний вигляд посівного МТА зображено на рис. 4.



Рис. 3. Посівний МТА: трактор МТЗ-82.1 та сівалка СТВТ-12/8М.

Fig. 3. Sowing AIT: MTZ-82.1 tractor and STVT-12/8M seeder.

Таким чином, при однаковому впливі всіх інших факторів основою економії стає різниця в ефективності роботи дослідного і серійного висівних апаратів. При цьому необхідно розглянути два аспекти, що визначають кінцевий результат: перший – безпосереднє виконання технологічного процесу посіву і другий – отримання урожайності культур при їх збиранні. При такій постановці завдання загальні збитки від роботи висівного апарата порівняно з ідеальним посівом по всіх культурам, що вирощуються, можна представити сумою:

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k Z_i, \quad (2)$$

де Z_i – збитки від роботи апарата, що отримують при вирощуванні i -тої культури;

k – кількість культур.

Економія для кожної із культур при роботі удосконаленого дослідного апарата у порівнянні з штатним серійним складає:

$$E = Z_d - Z_s, \quad (3)$$

де Z_d – збитки від дослідного апарата для i -тої культури;

Z_s – збитки від серійного апарата для i -тої культури.

В загальному збитки складаються як з витратної, так і з доходної частини, тобто можна записати:

$$Z = D - B, \quad (4)$$

де D – доходна частина;

B – витратна частина.

Недоліками в роботі висівних апаратів є можливі пропуски, а також поява двійників. З точки зору прямої економії пропуски зменшують витрати посівного матеріалу Q_{np} . Об'єм посівного матеріалу зекономленого на пропусках, може бути підрахованим згідно формули:

$$Q_{np} = \xi_{np} \cdot Q, \quad (5)$$

де Q – запланований об'єм висіву тієї чи іншої культури;

ξ_{np} – ймовірність пропусків.

Запланований об'єм висіву визначається добуток:

$$Q = S \cdot q, \quad (6)$$

де S – площа відведена під посів культури;

q – встановлена норма висіву.

Таким чином, економія посівного матеріалу внаслідок утворення пропусків складає:

$$Q_{np} = \xi_{np} \cdot S \cdot q, \quad (7)$$

а економія, виражена в грошових одиницях, дорівнює:

$$D_{np} = Q_{np} \cdot C_{nm}, \quad (8)$$

де C_{nm} – ціна посівного матеріалу.

Підставляючи складові з (8), маємо:

$$D_{np} = \xi_{np} \cdot S \cdot q \cdot C_{nm}. \quad (9)$$

Двійники при сівбі дають прямі збитки у додатковій витраті посівного матеріалу.

По аналогії ці збитки можуть бути підраховані наступним чином:

$$Q_{dv} = \zeta_{dv} \cdot Q. \quad (10)$$

Підставляючи складові з виразів (7) і (9) отримаємо:

$$Q_{dv} = \zeta_{dv} \cdot S \cdot q, \quad (11)$$

або

$$B_{dv} = \zeta_{dv} \cdot S \cdot q \cdot C_{nm}, \quad (12)$$

де ζ_{dv} – ймовірність появи двійників;

B_{dv} – прямі збитки у додатковій витраті посівного матеріалу.

Наступним етапом після посіву є розвиток і дозрівання рослин, які в кінцевому результаті і формують майбутній урожай.

Пропуски внаслідок відсутності насінини приводить до прямих втрат можливого врожаю, які визначаються наступним чином:

$$Q_{np} = \zeta_{np} \cdot S \cdot V, \quad (13)$$

де V – урожайність культури.

В грошових одиницях ці втрати складають:

$$B_{np} = \zeta_{np} \cdot S \cdot V \cdot C_{vp}. \quad (14)$$

де C_{vp} – ціна за 1 тону врожаю, у.о.

Таким чином, при посіві пропуски дають економію посівного матеріалу, що може бути підрахована по формулі (9), а двійники – додаткові витрати, які визначаються згідно виразу (12).

Особливістю пропусків є те, що внаслідок відсутності насінин на потрібному їх місці площа живлення для сусідів зростає і їх врожайність підвищується на величину ΔV . Так як кожному пропуску відповідають дві сусідні насінини, то:

$$\Delta V_{np} = 2 \cdot \xi_{np} \cdot K_{np \cdot e} \cdot V, \quad (15)$$

де $K_{np \cdot e}$ – коефіцієнт приросту врожайності сусідів пропуску. $K_{np \cdot e} = 0,15$.

В грошових одиницях прибуток складає:

$$D_{npv} = \Delta V_{np} \cdot S \cdot C_{vp} \quad (16)$$

Після підстановки складових маємо:

$$D_{npv} = 2 \cdot \xi_{np} \cdot K_{np \cdot e} \cdot V \cdot S \cdot C_{vp} \quad (17)$$

Поява двійників знижує рівень можливої врожайності. Це означає, що внаслідок появи двійників врожайність втрачається

$$\Delta V_{dv} = \xi_{dv} \cdot K_{dv \cdot e} \cdot V, \quad (18)$$

де $K_{dv \cdot e}$ – коефіцієнт підвищення врожайності у сусідніх рослин між якими утворився двійник, $K_{dv \cdot e} = 0,3$.

Або в грошових одиницях

$$B_{dvu} = \Delta V_{dv} \cdot C_{vp} \cdot S$$

Звідкіля

$$B_{\text{деу}} = \xi_{\text{де}} \cdot K_{\text{де}} \cdot Y \cdot C_{\text{вр}} \cdot S \quad (19)$$

Таким чином, такий недолік в роботі висівного апарата, як поява двійників, приносить подвійні економічні збитки: додаткові витрати посівного матеріалу, а також недобір врожаю.

Виходячи з викладеного і повертаючись до рівняння (4), збитки висівного апарата при вирощуванні тієї чи іншої культури з використання серійної чи дослідної сівалок можна представити сумою доходних і витратних частин.

$$Z_i = D_{\text{пр}} - B_{\text{пр}} + D_{\text{прд}} - B_{\text{де}} - B_{\text{деу}} \quad (20)$$

Кожен з апаратів не є повністю досконалою конструкцією, що виконує посів без недоліків. Недоліки, як відомо, складають пропуски і двійники. Той апарат, у якого недоліки будуть меншими, дасть кращі результати у вирощуванні врожаю. При цьому економічна ефективність формується як різниця між збитками від роботи апаратів. Тому на підставі (3) підраховується економічна ефективність від впровадження дослідного апарата для кожної з i -тих культур.

Таблиця 1. Дані для проведення розрахунку економічної ефективності впровадження результатів досліджень.

Table 1. Data for calculating the cost-effectiveness of implementing research results.

Показник	Величина
1	2
Виробнича потужність СТБТ-12/8М	
Річне завантаження сівалки, год.	160
Продуктивність сівалки, га/год.	3-5
Площа посіву, га, (S)	786
Витрати посівного матеріалу, q, шт./га (кг/га),	
Соя	500000 (130)
Кукурудза	80000 (25)
Соняшник (при міжрядді 70 см.)	150000 (8)
Цукровий буряк	100000 (3,5)
Ціна посівного матеріалу $C_{\text{пм}}$, у.о./га (у.о./кг)	
Соя	1950 (15)
Кукурудза	500 (20)
Соняшник	280 (35)
Цукровий буряк	1400 (400)
Урожайність, Y, т/га.	
Соя	2,16
Кукурудза	6,16
Соняшник	1,94
Цукровий буряк	47,65
Ціна за тону врожаю, $C_{\text{вр}}$, у.о./т.	
Соя	18500
Кукурудза	6450
Соняшник	19500
Цукровий буряк	1120

Загальна економічна ефективність використання висівного апарата з дозатором спрямованої дії для всіх просапних культур розраховується як сума

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n E_i. \quad (21)$$

Прикладом розрахунку може бути визначення економічної ефективності від впровадження дослідного висівного апарата. Розрахунок приводиться на 1 га посівної площі (S = 1), дані для розрахунку наведені в табл. 1.

Результати розрахунків зведені в табл. 2.

Таблиця 2. Результати розрахунку економічної ефективності впровадження дослідного висівного апарата з дозатором спрямованої дії на 1 га.

Table 2. The results of calculation of economic efficiency of implementation of experimental sowing machine with a dispenser of directed action per 1 ha.

Культура	Економічна ефективність, у.о.
1. Соя	1198,11
2. Кукурудза	2087,58
3. Соняшник	346,79
4. Буряк	1232,11
Середнє значення	1216,45

Середнє значення економічної ефективності на 1 гектар при використанні дослідного апарата становить 1216,45 у. о.

Для визначення економічної ефективності однієї сівалки в рік необхідно:

$$N = E_i \cdot S_c, \quad (22)$$

де E_i – економічна ефективність певної культури;

S_c – загальна площа посіву однієї сівалки в рік, яка визначається за формулою:

$$S_c = P \cdot T, \quad (23)$$

де P – продуктивність сівалки, що складає 4,8 га/год.;

T – річне завантаження однієї сівалки, що складає 160 год.

Тоді, виходячи з (23), маємо:

$$S_c = P \cdot T = 4,8 \cdot 160 = 786 \text{ га.} \quad (24)$$

Виходячи з попередніх розрахунків, можна записати економічну ефективність однієї сівалки (N) для аналізованих культур:

$$N_{\text{сой}} = 1198,11 \cdot 786 = 920145,89 \text{ у. о.}$$

$$N_{\text{кук}} = 2087,58 \cdot 786 = 1603259,94 \text{ у. о.}$$

$$N_{\text{сон}} = 346,79 \cdot 786 = 266334,6 \text{ у. о.}$$

$$N_{\text{бур}} = 1232,11 \cdot 786 = 946259,15 \text{ у. о.}$$

$$N_{\text{сер}} = 1216,45 \cdot 786 = 955891,95 \text{ у. о.}$$

Як показують наведені розрахунки, найбільша економічна ефективність використання дослідної сівалки при сівбі кукурудзи, що дає змогу отримати 1,6 млн. у. о. прибутку на рік з однієї сівалки.

Висновки

1. На підставі виконаних розрахунків можна дати 1. В процесі даного дослідження було проведено оцінювання ефективності збереження ресурсів аграрної сфери і виробництва основних технічних культур. Практичне впровадження системи збереження ресурсів в АПК завдяки синергетичному

поєднанню інтерактивних індикаторів ресурсоефективності дозволяє ефективно використовувати механізм збалансованого інноваційно-ресурсозберігаючого розвитку. Відповідаючи при цьому різним етапам виробничо-переробних циклів підприємств АПК у вигляді керованого перетікання (дифузії) різних видів ресурсів в сектор з найбільш ефективним розвитком. Впровадження цієї системи дозволить створювати оптимальні умови для ефективності виробництва.

2. Розрахована економічна ефективність ресурсозберігаючої технології висівного апарата з дозатором спрямованої дії. Середній річний приріст прибутку від впровадження модернізованого висівного апарата точного висіву для основних просапних культур (кукурудза, соняшник, соя, буряк) складає 1216,45 у. о. на посіві одного гектару.

3. На прикладі посіву однієї з культур найбільший економічний ефект дає кукурудза – 1,6 млн. у. о. на рік, найменший – соняшник (266 тис. у. о.). Водночас найкращим чином дослідний зразок показав себе при сівбі сої, зменшивши втрати у вартісному виразі на 98 %.

Список літератури

1. Boiko A., Popyk P., Gerasymchuk I., Bannyi O., Gerasymchuk N. Application of the new structural solutions in the seeders for precision sowing as a resource saving direction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5. No 1 (95). P. 46-53.

2. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH. Agricultural Engineering*. Bucharest. 2019. Vol. 57. No 1. P. 141-146.

3. Попик П. С. Определение условий сброса лишних семян пневмомеханическим высевным аппаратом с периферийным торцевым расположением присасывающих ячеек. *Motrol: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17. No 3. P. 316-321.

4. Zagurskiy O., Ohienko 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. P. 64-74.

5. Попик П. С. Пневмомеханічний висівний апарат з дозатором направленої дії. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 244-248.

6. 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. 2018. Vol. 298. P. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

7. 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. P. 95-98.

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

9. Astatheev 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. P. 108-113.

10. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4. Issue 7(112). P. 41-49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. Роговський І. Л. Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143-150.

15. Роговський І. Л. Моделі формування альтернатив інженерного менеджменту в методах підвищення виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146.

References

1. Boiko A., Popyk P., Gerasymchuk I., Bannyi O., Gerasymchuk N. (2018). Application of the new structural solutions in the seeders for precision sowing as a resource saving direction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5(1-95). 46-53.

2. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. (2019). Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH. Agricultural Engineering*. Bucharest. 57(1). 141-146.

3. Popyk P. S. (2015). Determining the conditions for dumping excess seeds by a pneumomechanical sowing device with a peripheral end location of suction cells.

Motrol: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 17(3). 316-321.

4. Zagurskiy O., Ohienko 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.

5. Popyk P. S. (2018). Pneumomechanical hanging device with directional dispenser. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. 282. 244-248.

6. 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. 298. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

7. 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.

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

9. 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, 76, UNSP 04036.

10. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezoviy M., Shatrov R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 4(7(112)). 41-49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

11. Rogovskii I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10(3). 181-187.

12. 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. 10(4). 145-150.

13. Rogovskii I. L. (2020). Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(1). 155-162.

14. Rogovskii I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(3). 143-150.

15. Rogovskii I. L. (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146.

СИНЕРГЕТИКА ІНТЕРАКТИВНИХ ІНДИКАТОРІВ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОСТІ ТОЧНОСТІ ПОСЕВА ОСНОВНИХ ТЕХНІЧЕСКИХ КУЛЬТУР АППАРАТОМ С ДОЗАТОРОМ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

П. С. Попик

Аннотация. Одним из наиболее проблемных мест в агропромышленном комплексе (АПК) является системность внедрения ресурсосбережения, в частности, в сельскохозяйственном машиностроении. Для преодоления данной проблемы автором предложена схема выбора ресурсосберегающего проекта для того, чтобы оценить эффективность технологий по сохранению ресурсов.

Автором ставилась цель проанализировать эффективность внедрения ресурсосберегающих мероприятий в комплексе первой сферы АПК. Для детализации цели была поставлена задача апробации схемы выбора ресурсосберегающего проекта и определение эффективности ресурсосберегающих мероприятий. В результате была оценена модель многокритериального обоснования повышения ресурсосбережения предприятий АПК как адекватная для оценки эффективности производства и уровня ресурсосбережения.

Рассчитана экономическая эффективность ресурсосберегающей технологии посева пропашных культур высевальным аппаратом с дозатором направленного действия. Средний годовой прирост прибыли от внедрения усовершенствованного высевального аппарата для основных технических пропашных культур (кукуруза, подсолнечник, соя, свекла) составляет 1216,45 у.е. на посеве одного гектара. На примере посева одной из культур наибольший экономический эффект дает кукуруза – 1,6 млн. у.е. в год, наименьший – подсолнечник (266 тыс. у.е.). Наилучшим образом опытный образец показал себя при посеве сои, уменьшив потери в стоимостном выражении на 98%.

Ключевые слова: технология, точный высеv, пневмомеханический высевальний апарат, дозатор направленного действия, семена, ячейка, ресурсосбережение, вероятность пропусков, вероятность двойников.

SYNERGETICS OF INTERACTIVE INDICATORS OF RESOURCE EFFICIENCY OF SOWING ACCURACY OF MAIN TECHNICAL CULTURES WITH DEVICE WITH DISPENSER OF DIRECTED DIRECTION

P. S. Popyk

Abstract. One of the most problematic places in the agro-industrial complex (AIC) is the systematic implementation of resource conservation, in particular in agricultural engineering. To overcome this problem, the author proposed a scheme for selecting a resource-saving project in order to assess the effectiveness of technologies for conserving resources.

The author aimed to analyze the effectiveness of the implementation of resource-saving measures in the complex of the first sphere of agriculture. To detail the

goal, the task was to test the scheme of choosing a resource-saving project and determine the effectiveness of resource-saving measures. As a result, the model of multi-criteria justification for increasing the resource saving of agro-industrial enterprises was evaluated as one that is adequate for assessing the efficiency of production and the level of resource saving.

The economic efficiency of resource-saving technology of sowing of row crops by the sowing device with the batcher of the directed action is calculated. The average annual increase in profit from the introduction of an advanced sowing machine for the main technical row crops (corn, sunflower, soybeans, beets) is 1216,45 c.u. on sowing of one hectare. On the example of sowing one of the crops, the greatest economic effect is given by corn – 1,6 million c.u. per year, the smallest - sunflower (266 thousand c.u.). At the same time, the experimental sample showed itself best in sowing soybeans, reducing losses in terms of value by 98%.

Key words: technology, precision sowing, pneumomechanical sowing machine, directional action dispenser, seeds, cell, resource saving, probability of omissions, probability of duplicates.

П. С. Попик ORCID 0000-0002-1320-3603.

UDC 631.1.004

HARDWARE COMPLEXES FOR TECHNICAL CONTROL OF TECHNICAL CONDITION PARAMETERS OF SELF-PROPELLED SPRAYERS

I. S. Liubchenko

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

Speciality of article: 133 – industry engineering.

Corresponding author: lub4enko.ira@gmail.com.

Article history: Received – January 2021, Accepted – June 2021, Published – 30 July 2021.

Bibl. 27, fig. 1, tabl. 0.

Abstract. The main indicator used for reliability research is hardware systems of technical control of parameters of technical condition of self-propelled sprayers, which means the probability that a self-propelled sprayer will be operational at any time, except for planned periods during which the use of self-propelled sprayers is not expected. Derivation of analytical expression for hardware systems of technical control of parameters of technical condition of self-propelled sprayers is a rather time-consuming operation. The complexity increases with the complication of the graph, ie in an effort to take into account more technical conditions, factors that affect the process of technical control of self-propelled sprayers. Therefore, it is advisable to solve the problem of such a plan using a simulation model. Using the stateflow modeling tool of the MatLab software package, a model has been developed that allows modeling discrete-event models. Model of self-propelled sprayers among Stateflow for estimating the coefficient of readiness during technical control of programs. The results of simulation modeling are the values of hardware complexes of technical control of parameters of technical condition of self-propelled sprayers in various technical control programs, which allows to draw conclusions about the influence of technical control program of self-propelled sprayers on the readiness factor. It is quite justified in cases when the technical control differs only in the place of measurement of the parameter of technical condition, and the means of measurement are the same. The author found that the hardware systems of technical control of the parameters of the technical condition of self-propelled sprayers are sensitive to errors of the second kind in this case. Ways of further research are found in the study of other programs of technical control of self-propelled sprayers, in which the readiness factor is sensitive to the probability of errors of the first kind.

Key words: simulation model, parameter, self-propelled sprayer, technical control, technical condition.

Introduction

The analysis of existing instrumental and software systems for determining the operational characteristics of

technical objects of self-propelled sprayers was carried out [1].

The methods of mathematical modeling of the states of the technical object of self-propelled sprayers are analyzed [2].

The advantages of using an acoustic signal coming from the investigated technical object of self-propelled sprayers in order to identify the operational state are determined [3].

The methods of filtering, spectral and wavelet analysis and artificial intelligence algorithms that allow automatic processing of audio signals are analyzed [4].

Formulation of problem

The analysis of existing complexes of vibro-acoustic analysis of technical objects of self-propelled sprayers was carried out [5]. The advantages and disadvantages of these software systems are revealed [6].

Known software package Discriminant, designed to analyze the state of the mechanisms of the cyclic type [7]. The complex implements a set of methods for analyzing the results of vibroacoustic measurements:

- the method of S-discriminants, which implements a multiband analysis of vibration signals clipped in amplitude and is used for early detection of changes in the vibration signal under study [8];
- methods of spectral analysis for the study of the spectral characteristics of the vibration signal [9];
- methods of statistical analysis [10].

One of the main features of the software package is the implementation of wide possibilities for post-processing the results of the calculations [11]. The software package allows you to identify trends in vibration signal changes [12], formulate hypotheses linking these changes with the technical condition of the equipment [13], and test these hypotheses using the results of several alternative analysis methods [14]. Thus, the software package solves not only monitoring tasks [15], but also identifies individual problems of diagnosing the control object [16]. For example, sharp changes in the value of the S-discriminant in any of the frequency bands indicate the occurrence of technical problems in the operation of the test object [17]. Using the result of the analysis of the

frequency distribution of the vibration signal [18] and the dependence of this distribution on the operating time, it is possible to test various hypotheses that explain the increase in the values of S-discriminants [19].

The complex does not implement automatic diagnostics.

Analysis of recent research results

Known software-tool complex for diagnosing the technical condition of Watson [20]. This complex ensures the collection, storage and processing of measurement information coming from sensors when conducting research on the service characteristics of engineering products [21]. With the help of this complex it is possible to produce: vibration monitoring; diagnostics; sorting and comparative evaluation of the quality characteristics of engineering products; identify the causes of deviations in performance characteristics from the specified ones and carry out their refinement, which makes it possible to reduce the volume and terms of tests created and studied samples of complex technical systems [22]. The disadvantage of this complex is the lack of automatic diagnostics of components and assemblies [23].

A known system of vibroacoustic monitoring of the technical condition of reciprocating machines [24]. Functionality of this complex: determination of vibration velocity and vibration displacement signals; analysis of the spectral characteristics of the signal; analysis of the spectral composition of the signal envelope; correlation analysis; determination of damping properties of structural elements; time-frequency signal analysis and detection [25]. The software package implements a new method for linking frequency-time representations of signals to the phase of machine operation, which is used in the synthesis and calculation of a frequency-time quadratic detector for monitoring the technical condition of the object under study, which does not require additional hardware [26]. The operator completely determines the set and sequence of actions performed on the signals, choosing the fragments of the signal that are of interest to him and setting the transformation function [27].

The disadvantage of this complex is the need for complete control of the analysis process by a person [9]. The inability to diagnose technical objects of non-reciprocating action [2].

The analysis of existing complexes showed the need to create a software and hardware complex that can automatically determine the state of a technical object, be able to clean diagnostic signals from noise, and also adapt to diagnosing a wide range of technical objects [17].

Works are devoted to the study of methods of mathematical modeling of the states of technical objects. There are several types of models that can be used to describe the properties of some given signal [11]. These types of models can be divided into a class of deterministic and a class of stochastic models. Deterministic models use some known specific properties of the signal. For example, the signal may look like a sinusoid, or it may be represented as a sum of exponentials [3]. In such cases, determining the signal model is not a difficult task, since for this it is only necessary to estimate the values of its parameters, such as

amplitude, frequency, phase, exponent, etc. The second class of models are stochastic models that describe the stochastic properties of the signal [14]. These models include Gaussian processes, Markov processes, hidden Markov processes, Bayesian networks, neural networks, etc. These stochastic models are based on the assumption that the signal can be described by some parametric random process and that the parameters of this process can be estimated with a sufficient degree of accuracy [7].

The state of the technical system is determined using a set of parameters or features. The studied parameters are characterized by physical quantities that have a continuous distribution of feature values [2].

The set of parameters x_n , characterizing the state of the technical object, forms a set of parameters [24]:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1)$$

The observed real state of the object corresponds to the actual values of the parameters, due to which, as a result, each instance of the object corresponds to a set of parameters [9].

For research, the range of possible values of the measured parameter is divided into intervals, and the main thing is the presence of the parameter in this interval. The result of a quantitative study can be represented as a feature that takes several possible states [19].

In general, the sign of k_n is the result of observation, which can be expressed in one of the digits. We are interested in systems in which states are characterized by a set of features [1].

A sign that has one possible state ($n = 1$) is single-digit. It does not carry any practical value, and is not considered in the problem of determining the state of an object [25].

The statement of the recognition problem in the probabilistic approach is as follows:

- there is a system that is in one of n random states D_i . The possible states of the system (D_i diagnoses) are assumed to be known a priori [14];

- a set of parameters X is known, each of which characterizes the state of the system with a certain probability [2];

- it is required to build a decision rule, with the help of which the result of the inspection of a technical object is determined [9];

- it is desirable to assess the reliability of the decision and the degree of risk of an erroneous decision [21].

In the deterministic approach, the recognition problem can be conveniently formulated as follows:

- if the system is characterized by a multidimensional vector, then any state of this system is a point in the n -dimensional space of parameters (features) [8];

- it is assumed that each possible diagnosis D_i corresponds to some area of the considered feature space [4];

- it is required to find a decision rule, according to which the presented (implemented in the object under study) vector X will be assigned to a certain area of diagnoses [22].

Thus, in the deterministic approach, the problem of recognition is reduced to the distribution of the feature space into areas of diagnoses [18].

The areas of diagnoses in the deterministic approach are usually considered non-overlapping, i.e. the probability

of one diagnosis is equal to one, and the probability of others is zero. Similarly, it is assumed that each feature either occurs in a given diagnosis or is absent.

Purpose of research

Purpose of research is description of the analytical position of the evaluation of hardware complexes for technical control of the technical condition of self-propelled sprayers.

Research results

Probabilistic recognition methods are more general, but require a much larger amount of preliminary information. However, the results obtained using these methods are more accurate. In the case of building systems for monitoring phenomena, the probabilistic approach is the most promising.

Tire noise is a continuous, non-stationary signal distorted by interference and reverberation of vehicle components and assemblies, aerodynamic noise.

Therefore, it is relevant to develop a mathematical model for determining the state of tires by analyzing the sound signal. The signal model can be used to create a system that will optimally remove noise and these distortions. Second, the signal model is important because it provides information about the source of the signal (the operating state of the bus that generated the signal). Not having direct access to the bus. This property is especially important, since the cost of diagnosing a tire is very high. With a good signal model, you can simulate the source and study it with the degree of accuracy that such simulations provide. And finally, the most significant reason for the use of signal models is that in practice they often provide exceptionally good results, enabling the effective implementation of important practical systems of prediction, recognition, and identification.

With a non-contact method for determining the state of the tire during operation, noise is always present in the recorded signals, so the first stage of signal processing should be associated with the removal of noise.

To obtain a clean signal that excludes noise, various filtering methods are used. Direct Filtration Method:

$$s + n \rightarrow \text{Filter} \rightarrow \hat{S}$$

where s – signal, n – noise, $\hat{S}$ – cleaned signal.

Usually, direct filtering is used as methods for obtaining a clean signal. In this case, two approaches are usually used for direct filtering.

In the case when the structure of the signal and noise is known, fixed filters are usually used that pass the frequencies containing the signal and block the frequencies corresponding to the noise.

To clean the signals of technical objects, which in most cases are non-linear, non-stationary, from ambient noise, adaptive filtering is used. Filtering does not require any prior information about signal and noise properties.

The adaptive filter automatically adjusts to the noise impulse response to minimize the error. The criterion for assessing the quality of filtration is the mean square error.

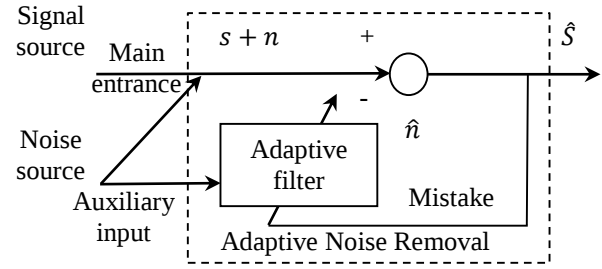


Fig. 1. Scheme of the adaptive filter

As shown in fig. 1 adaptive filter has two inputs: main and auxiliary. The signal under study $s + n$ is fed to the main input.

A noise signal n_0 is applied to the auxiliary input. This noise signal is not correlated with the main signal, but has a relationship with the noise component n . The noise n_0 , passing through the adaptive filter, is converted to $\hat{n}$ in order to approximate the noise contained in the signal n . This noise is subtracted, and the signal $\hat{S}$ is obtained at the filter output.

The goal of the output noise filtering system is to obtain the signal $\hat{S} = s + n - \hat{n}$, which will be the best approximation to the signal s , in connection with which the calculated result at the output again passes through the adaptive filter, where the least squares method minimizes the discrepancy between the result and reference signal s .

Let us represent s , n_0 , $\hat{n}$ and y as statistically stationary, and having arithmetic means equal to zero. The signal s is uncorrelated with n_0 and $\hat{n}$, but $\hat{n}$ is correlated with n_0 , then:

$$\hat{S} = s + n - \hat{n} \rightarrow \hat{S}^2 = s^2 + (n - \hat{n})^2 - 2 \cdot s \cdot (n - \hat{n}). \quad (2)$$

Hence the signal energy at the output $E[\hat{S}^2]$ is equal to:

$$E[\hat{S}^2] = E[s^2] + E[(n - \hat{n})^2] - 2 \cdot E[s \cdot (n - \hat{n})] = E[s^2] + E[(n - \hat{n})^2] \quad (3)$$

The signal energy $E[s^2]$ will not be distorted if the filter is set to minimize $E[\hat{S}^2]$:

$$\min E[\hat{S}^2] = E[s^2] + \min E[(n - \hat{n})^2]. \quad (4)$$

Herefore, if the filter is set to minimize the energy of the output signal $E[\hat{S}^2]$, then the energy of the noise component of the signal $E[(n - \hat{n})^2]$ will also be minimal.

Since the output signal remains stationary, the expression is true:

$$(s - \hat{S}) = (n - \hat{n}). \quad (5)$$

This corresponds to the condition that $\hat{S}$ is the best approximation to s by the method of least squares.

Consider the filtering algorithm. Let the input discrete random signal $s(x)$ be processed by a non-recursive discrete filter of N order, the coefficients of which are represented by the vector $(w_0, w_1, \dots, w_n)^T$. Then the output of the filter is:

$$\hat{s}(x) = u^T(x) \cdot w, \quad (6)$$

where $u(x) = [s(x), s(x-1), \dots, s(x-N)]^T$ the content vector of the filter delay line per step. In addition, there is an exemplary signal $d(x)$.

The error during reproduction of this signal will be equal to:

$$e(x) = d(x) - \hat{s}(x) = d(x) - u^T(x) \cdot w. \quad (7)$$

It is necessary to choose such coefficients w that would minimize the expression (7). Thus, the optimization problem is reduced to the following expression:

$$J(w) = \min[e^2(x)]. \quad (8)$$

The square of the error is:

$$e^2(x) = [d(x) - u^T(x) \cdot w]^2 = d^2(x) - 2 \cdot d(x) \cdot u^T(x) \cdot w + w^T \cdot u(x) \cdot u^T(x) \cdot w. \quad (9)$$

Averaging this expression statistically we get:

$$J(w) = \overline{e^2(x)} = \overline{d^2(x)} - 2 \cdot \overline{d(x) \cdot u^T(x) \cdot w} + \overline{w^T \cdot u(x) \cdot u^T(x) \cdot w}, \quad (10)$$

where $\overline{d^2(x)} = \sigma^2$ – mean square of the reference signal, $\overline{d(x) \cdot u^T(x)} = k^T$ – the transposed vector k of the correlation between the reference signal sample and the contents of the filter delay line.

$u(x) \cdot u^T(x) = R_s(m)$ – signal correlation matrix with dimensions $(N + 1) \cdot (N + 1)$. It looks like:

$$R_s(m) = \begin{bmatrix} R_s(0) & R_s(1) & R_s(2) & \dots & R_s(N) \\ R_s(1) & R_s(0) & R_s(1) & \dots & R_s(N-1) \\ R_s(2) & R_s(1) & R_s(0) & \dots & R_s(N-2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_s(N) & R_s(N-1) & R_s(N-2) & \dots & R_s(0) \end{bmatrix} \quad (11)$$

where $R_s(m) = s(x) \cdot s(x - m)$ – random process correlation function $\{s(x)\}$. Taking into account the new notation, (10) takes the form:

$$J(w) = \sigma^2 - 2 \cdot k^T \cdot w + w^T \cdot R_s(m) \cdot w. \quad (12)$$

One of the most common adaptation algorithms is the least mean squares method. In this case, the vector of filter coefficients $w(x)$ must be updated recursively:

$$w(x + 1) = w(x) - 0,5 \cdot \mu \cdot \text{grad}[J(w\{x\})] = w\{x\} + \mu \cdot k - \mu \cdot R_s(m) \cdot w\{x\} \quad (13)$$

where $\text{grad}[J(w\{x\})] = 2 \cdot k - 2 \cdot R_s(m) \cdot w\{x\}$ – gradient vector; μ – gradient step.

The algorithm converges if $0 < \mu < (2 \cdot \lambda_{\max}^{-1})$, where $\lambda_{\max}$ – the maximum eigenvalue of the correlation matrix $R_s(x)$. In practice, to calculate the gradient, it is enough to know the estimates of the values $R_s(x)$ and the vector k . The simplest such estimates will be the instantaneous values of the correlation matrix and the cross-correlation vector:

$$\hat{R}_s(x) = u(x) \cdot u^T(x), \hat{k}(x) = d(x) \cdot u(x). \quad (14)$$

The using such estimates, expression (13) takes the form:

$$\begin{aligned} w(x + 1) &= w(x) + \mu \cdot d(x) \cdot u(x) - \mu \cdot u(x) \cdot u^T(x) \cdot w(x) \\ w(x) &= w(x) + \mu \cdot u(x) \cdot u^T(x) [d(x) - u^T(x) \cdot w(x)] \end{aligned} \quad (15)$$

The expression in brackets, according to (10), is the difference between the reference signal and the output signal of the filter at step x , which is the filter error $e(x)$. Then expression (15) takes the form:

$$w(x + 1) = w(x) + \mu \cdot u(x) \cdot e(x). \quad (16)$$

The algorithm based on expression (16) is called LMS (Least Mean Square, least squares method). LMS convergence analysis shows that the upper step limit in this case is smaller than when using true gradient values.

$$\mu_{\max} = 2 \cdot (\sum_k \lambda_k)^{-1} = 2 \cdot [(N + 1) \cdot \sigma^2]^{-1}, \quad (17)$$

where λ_k – eigenvalues of the correlation matrix $R_s(m)$, and σ^2 – the mean square of the filter input.

The main advantage of the LMS algorithm is its extreme computational simplicity – to adjust the filter coefficients, $(N + 1)$ pairs of multiplication and addition operations are performed at each step.

Based on the analysis carried out, it can be concluded that in order to solve the problem of developing mathematical modeling methods for automating the process of analyzing the technical condition of an object of self-propelled sprayers from ambient noise, the adaptive filtering method is suitable, since, unlike conventional filters, cleaning by removing certain frequencies corresponding to noise component of the signal, the adaptive filter adapts to changing noise characteristics, which makes it possible to achieve effective signal filtering under conditions of randomly changing noise components. This method should be used to filter the acoustic signal from ambient noise in mathematical modeling to automate the process of analyzing the technical condition of an object of self-propelled sprayers.

Conclusions

1. The most promising systems for analyzing the technical object of self-propelled sprayers are in-place diagnostic systems by removing sound or vibration information. There is a need to develop mathematical modeling methods to automate the process of analyzing the technical condition of an object of self-propelled sprayers in order to increase its efficiency.

2. The study of modeling methods has shown that the most promising approach in solving the problem of determining the technical condition of an object is a probabilistic one. This method is universal, but requires much more preliminary information than the deterministic approach. Nevertheless, the results obtained within the framework of the probabilistic approach are more accurate, which is the key point in creating a system for determining the state of a technical object.

3. Analysis of existing software and hardware systems showed that with a wide range of mathematical tools for analyzing signals, the results of diagnosing technical systems of self-propelled sprayers, these complexes allow monitoring the current state, but do not solve the issues of automatically determining the state of a technical object, and therefore there is a need creation of a software package for automatic determination of the state of the technical object of self-propelled sprayers.

Список літератури

1. Savickas D. Self-propelled sprayers fuel consumption and air pollution reduction. Water, Air & Soil Pollution. 2020. Vol. 231. P. 95. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4466-5>.
2. Meng A. Modeling and experiments on Galfenol energy self-propelled sprayers. Acta Mechanica. Sinica 2020. <https://doi.org/10.1007/s10409-020-00943-6>.
3. Li P. Design and experimental study of broadband hybrid energy self-propelled sprayers with frequency-up conversion and nonlinear magnetic force. Micro- and Nanosystems Information Storage and Processing Systems. 2020. Issue 5. <https://doi.org/10.1007/s00542-019-04716-5>.
4. Beneš L., Novák P., Mašek J., Petrášek S. John Deere self-propelled sprayers fuel consumption and

operation costs. *Engineering for Rural Development*. 2015. Vol. 15. P. 13-17.

5. *Craessaerts G., De Baerdemaeker J., Saeys W.* Fault diagnostic systems for agricultural machinery. *Biosystems Engineering*. 2020. Vol. 106(1). P. 26-36.

6. *Toro A., Gunnarsson C., Lundin G., Jonsson N.* Cereal harvesting – strategies and costs under variable weather conditions. *Biosystems Engineering*. 2021. Vol. 111(4). P. 429-439.

7. *Findura P., Turan J., Jobbágy J., Angelovič M., Ponjican O.* Evaluation of work quality of the green peas self-propelled sprayers. *Research in agricultural engineering*. 2019. Vol. 59. P. 56-60.

8. *Hanna H. M., Jarboe D. H.* Effects of full, abbreviated, and no clean-outs on commingled grain during self-propelled sprayers. *Applied Engineering in Agriculture*. 2021. Vol. 27(5). P. 687-695.

9. *Korenko M., Bujna M., Földešiová D., Dostál P., Kyselica P.* Risk analysis at work in manufacturing organization. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2015. Vol. 63. P. 1493-1497.

10. *Lee D. H., Kim Y. J., Choi C. H., Chung S. O., Nam Y. S., So J. H.* Evaluation of operator visibility in three different cabins type Far-East self-propelled sprayers. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2016. Vol. 9(4). P. 33-44.

11. *Přistavka M., Bujna M.* Use of statistical methods in quality control. *Acta Technologica Agriculturae*. SUA in Nitra. 2013. Vol. 13. P. 33-36.

12. *Přistavka M., Bujna M., Korenko M.* Reliability monitoring of self-propelled sprayers in operating conditions. *Journal of Central European Agriculture*. 2013. Vol. 14. P. 1436-1443.

13. *Singh M., Verma A., Sharma A.* Precision in grain yield monitoring technologies: a review. *AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*. 2012. Vol. 43(4). P. 50-59.

14. *Žitňák M., Kollárová K., Macák M., Přistavková M., Božanský M.* Assessment of risks in the field of safety, quality and environment in post-harvest line. *Research in Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 61. P. 26-36.

15. *Žitňák M., Macák M., Korenko M.* Assessment of risks in implementing automated satellite navigation systems. *Research in Agricultural Engineering*. 2014. Vol. 60. P. 16-24.

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

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

18. *Astashev V., Krupenin V.* Efficiency of vibration machines. *Engineering for Rural Development*. 2017. Vol. 16. P. 108-113.

19. *Zagurskiy O., Ohienko 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. P. 64-74.

20. *Тимова Л. Л., Нучай І. М.* Методологічні положення технічного рівня використання комплексу

сільськогосподарських машин. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. № 3. P. 151-162. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.151>.

21. *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. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.

22. *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. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.04.145>.

23. *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. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.01.155>.

24. *Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V.* Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 291-298.

25. *Rogovskii Ivan.* Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. *MOTROL*. Lublin. 2016. Vol. 18. No 3. P. 155-164.

26. *Роговський І. Л.* Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143-150. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.143>.

27. *Роговський І. Л.* Моделі формування альтернатив інженерного менеджменту в методах підвищення виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

References

1. *Savickas D.* (2020). Self-propelled sprayers fuel consumption and air pollution reduction. *Water, Air & Soil Pollution*. 231. 95. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4466-5>.

2. *Meng A.* (2020). Modeling and experiments on Galfenol energy self-propelled sprayers. *Acta Mechanica Sinica*. <https://doi.org/10.1007/s10409-020-00943-6>.

3. *Li P.* (2020). Design and experimental study of broadband hybrid energy self-propelled sprayers with frequency-up conversion and nonlinear magnetic force. *Micro- and Nanosystems Information Storage and Processing Systems*. 5. <https://doi.org/10.1007/s00542-019-04716-5>.

4. *Beneš L., Novák P., Mašek J., Petrášek S.* (2015). John Deere self-propelled sprayers fuel consumption and

- operation costs. *Engineering for Rural Development*. 15. 13-17.
5. Craessaerts G., De Baerdemaeker J., Saeys W. (2020). Fault diagnostic systems for agricultural machinery. *Biosystems Engineering*. 106(1). 26-36.
6. Toro A., Gunnarsson C., Lundin G., Jonsson N. (2021). Cereal harvesting – strategies and costs under variable weather conditions. *Biosystems Engineering*. 111(4). 429-439.
7. Findura P., Turan J., Jobbágy J., Angelovič M., Ponjican O. (2019). Evaluation of work quality of the green peas self-propelled sprayers. *Research in agricultural engineering*. 59. 56-60.
8. Hanna H. M., Jarboe D. H. (2021). Effects of full, abbreviated, and no clean-outs on commingled grain during self-propelled sprayers. *Applied Engineering in Agriculture*. 27(5). 687-695.
9. Korenko M., Bujna M., Földešiová D., Dostál P., Kyselica P. (2015). Risk analysis at work in manufacturing organization. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 63. 1493-1497.
10. Lee D. H., Kim Y. J., Choi C. H., Chung S. O., Nam Y. S., So J. H. (2016). Evaluation of operator visibility in three different cabins type Far-East self-propelled sprayers. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 9(4). 33-44.
11. Prístavka M., Bujna M. (2013). Use of statistical methods in quality control. *Acta Technologica Agriculturae*. SUA in Nitra. 13. 33-36.
12. Prístavka M., Bujna M., Korenko M. (2013). Reliability monitoring of self-propelled sprayers in operating conditions. *Journal of Central European Agriculture*. 14. 1436-1443.
13. Singh M., Verma A., Sharma A. (2012). Precision in grain yield monitoring technologies: a review. *AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*. 43(4). 50-59.
14. Žitňák M., Kollárová K., Macák M., Prístavková M., Bošanský M. (2015). Assessment of risks in the field of safety, quality and environment in post-harvest line. *Research in Agricultural Engineering*. 61. 26-36.
15. Žitňák M., Macák M., Korenko M. (2014). Assessment of risks in implementing automated satellite navigation systems. *Research in Agricultural Engineering*. 60. 16-24.
16. Viba J., Lavendelis E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. *Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME*, 22 April 2006. Tallinn, Estonia. 95-98.
17. Luo A.C.J., Guo Y. (2013). *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag. 213.
18. Astashev V., Krupenin V. (2017). Efficiency of vibration machines. *Engineering for Rural Development*. 16. 108-113.
19. Zagurskiy O., Ohienko 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.
20. Titova L. L., Nichay I. M. (2020). Methodological provisions of technical level of use of complex of agricultural machines. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(3). 151-162. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.151>.
21. Rogovskii I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 10(3). 181-187. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
22. 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. 10(4). 145-150. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.04.145>.
23. Rogovskii I. L. (2020). Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(1). 155-162. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.01.155>.
24. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 18. 291-298.
25. Rogovskii Ivan. (2016). Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. *MOTROL*. Lublin. 18(3). 155-164.
26. Rogovskii I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(3). 143-150. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.143>.
27. Rogovskii I. L. (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ САМОХОДНЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

И. С. Любченко

Аннотация. Основным показателем, используемым для исследования надежности, являются аппаратные комплексы технического контроля параметров технического состояния самоходных опрыскивателей, под которым понимается вероятность того, что самоходный опрыскиватель окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме запланированных периодов, в течение которых применение самоходных опрыскивателей по назначению не предусматривается. Вывод аналитического выражения для аппаратных комплексов технического контроля параметров технического состояния самоходных опрыскивателей – довольно трудоемкая операция. Трудоемкость растет с усложнением графа, то есть при стремлении учесть больше технических состояний, факторов, влияющих на процесс технического контроля самоходных опрыскивателей. В этой связи решение задачи такого

плана цілеспрямовано проводити з допомогою імітаційної моделі. С допомогою інструмента моделювання Stateflow програмного пакета MatLab розроблена модель, що дозволяє моделювати дискретно-подійні моделі. Модель самохідних опрыскивателей серед Stateflow для оцінки коефіцієнта готовності при проведенні технічного контролю над програмами. Результатами імітаційного моделювання є значення апаратних комплексів технічного контролю параметрів технічного стану самохідних опрыскивателей при різних програмах технічного контролю, що дозволяє зробити висновок про вплив програми технічного контролю на значення коефіцієнта готовності. Цілком обґрунтовано у випадках, коли технічний контроль відрізняється лише місцем вимірювання параметру технічного стану, а засоби вимірювання при цьому однакові. Авторкою встановлено, що апаратні комплекси технічного контролю параметрів технічного стану самохідних опрыскивателей чутливі до помилок другого роду в даному випадку. Шляхи подальших досліджень зустрічаються у дослідженні інших програм технічного контролю самохідних опрыскивателей, у яких коефіцієнт готовності чутливий до ймовірності помилок першого роду.

Ключевые слова: імітаційна модель, параметр, самохідний опрыскиватель, технічний контроль, технічне состояние.

технічного стану самохідних опрыскивателей при різних програмах технічного контролю, що дозволяє зробити висновок про вплив програми технічного контролю на значення коефіцієнта готовності. Цілком обґрунтовано у випадках, коли технічний контроль відрізняється лише місцем вимірювання параметру технічного стану, а засоби вимірювання при цьому однакові. Авторкою встановлено, що апаратні комплекси технічного контролю параметрів технічного стану самохідних опрыскивателей чутливі до помилок другого роду в даному випадку. Шляхи подальших досліджень зустрічаються у дослідженні інших програм технічного контролю самохідних опрыскивателей, у яких коефіцієнт готовності чутливий до ймовірності помилок першого роду.

Ключові слова: імітаційна модель, параметр, самохідний опрыскиватель, технічний контроль, технічний стан.

І. С. Любченко ORCID 0000-0001-5259-1760.

АПАРАТНІ КОМПЛЕКСИ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ САМОХІДНИХ ОБПРИСКУВАЧІВ

І. С. Любченко

Анотація. Основним показником, що використовується для дослідження надійності є апаратні комплекси технічного контролю параметрів технічного стану самохідних опрыскивателей, під яким розуміється ймовірність того, що самохідний опрыскиватель опиниться у працездатному стані у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких застосування самохідних опрыскивателей за призначенням не передбачається. Виведення аналітичного виразу для апаратних комплексів технічного контролю параметрів технічного стану самохідних опрыскивателей – досить трудомістка операція. Трудомісткість зростає з ускладненням графа, тобто при прагненні врахувати більше технічних станів, чинників, які впливають на процес технічного контролю самохідних опрыскивателей. У зв'язку з цим розв'язання задачі такого плану доцільно проводити за допомогою імітаційної моделі. За допомогою інструменту моделювання Stateflow програмного пакета MatLab розроблено модель, яка дозволяє моделювати дискретно-подійні моделі. Модель самохідних опрыскивателей серед Stateflow для оцінювання коефіцієнта готовності під час проведення технічного контролю за програмами. Результатами імітаційного моделювання є значення апаратних комплексів технічного контролю параметрів

UDC 631.1.004

ALGORITHMICITY OF DETERMINATION OF EFFICIENCY OF STORAGE OF GRAIN HARVESTERS

I. M. Kuzmich

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

Speciality of article: 133 – industry engineering.

Corresponding author: beliy1994@meta.ua.

Article history: Received – January 2021, Accepted – June 2021, Published – 30 July 2021.

Bibl. 26, fig. 5, tabl. 1.

Abstract. The article conducts research and generalization of storage efficiency of combine harvesters. The most efficient storage of machines is provided indoors by agro-industrial enterprises. However, about 60% of the combine harvester fleet is stored in open areas. Due to limited economic opportunities in many organizations there are cases of non-compliance with the rules of storage of machines and low quality of work on corrosion protection. Due to corrosion during storage of machines and equipment, their durability is reduced, the complexity of maintenance and repair operations is increased. The most susceptible to corrosion are gear teeth and bush-roller chains, threaded connections, working parts of tillage machines: plowshares, cultivator legs and others. Due to corrosion, the cost of maintaining the fleet increases. Costs for maintenance and repair of working tools of tillage implements in organizations range from 32 to 78% of the cost of machines. In recent years, there has been a tendency to reduce the cost of corrosion protection in the use of waste preservatives. However, there are no specific recommendations in the literature for the preparation of such preservatives and the results of their tests for combine harvesters.

Key words: durability, efficiency, storage, corrosion, nanopowder, mineral oils, resource-saving compositions.

Introduction

Based on the analysis of the results of monitoring the storage conditions [1] and corrosion damage of combine harvesters [2], it is necessary to monitor the storage conditions and corrosion damage of combine harvesters [3]. To analyze modern domestic and world trends in the creation of conservation warehouses to protect combine harvesters from corrosion during storage [4].

To date, no theoretical prerequisites have been developed for the selection of rational conservation compositions for corrosion protection of combine harvesters during storage in different natural and climatic conditions [5].

To do this, many researchers suggest using the corrosion rate of the machine surface after applying the composition [6].

Formulation of problem

The optimal conservation composition is the one that will provide the minimum cost to ensure the maximum possible protection of the machine from corrosion [7]. However, when choosing preservatives [8], keep in mind that when the machine is put into operation after storage, preservatives are removed [9]. Therefore, we proposed a technical and economic criterion for the effectiveness of conservation warehouses [10], according to which the optimal composition is considered to provide sufficient durability (rational protective capacity, taking into account the corrosive environment of the region where harvesters will be stored) at minimum cost [11].

$$C_{ks}/K_d \rightarrow \min \quad (1)$$

where C_{ks} – specific cost of conservation composition, UAH/kg;

K_d – rational protective ability, which provides the necessary durability of the conservation composition.

Analysis of recent research results

For storage of combine harvesters are exposed to a large number of external and internal factors [12], but the rate of atmospheric corrosion is mainly determined by temperature and humidity [13]. The section summarizes mathematical models developed by various scientists to determine the protective ability of conservation compositions by the rate of atmospheric corrosion [14]. Their analysis allowed us to choose a regression equation that describes the corrosion rate of steel parts depending on the parameters of the environment [15]. It is obtained on the basis of statistical processing of long-term observations and corrosion tests:

$$V = 0.78 \cdot RH + 1.22 \cdot T + 0.173 \cdot Cl + 0.3 \cdot S - 52.68 \quad (2)$$

where RH – average annual relative humidity

T – average annual temperature, °C;

Cl – average annual concentration of chlorides, mg/m³;

S – the average annual concentration of sulfur dioxide, mg/(m³ per day).

Analysis of the state of air pollution by harmful emissions in the regions [16], taking into account the maximum allowable concentration in Ukraine (sulfur dioxide 0.05 mg/m³, chlorides 0.1 mg/(m³ per day) and our comparative calculations of atmospheric corrosion showed that the impact of harmful emissions absorbed in 0.3...0.5%. Therefore [17], to determine the rate of atmospheric corrosion of combine harvesters, you can use the equation of influence of meteorological factors only:

$$V = 0.78 \cdot RH + 1.22 \cdot T - 52.68 \quad (3)$$

Based on the obtained formula, it is proposed to compile maps of atmospheric corrosion of machines in different regions [18]. Based on the corrosion maps, different preservatives with different corrosion resistance can be recommended [19], depending on the corrosion rate in the region. It is proposed to take into account the corrosion aggressiveness of the region by the correction factor Corrosion aggressiveness of the region [20]. It is defined as the ratio of the corrosion rate in the i-region to the corrosion rate in the base region [21]. For the base region, data on the protective effectiveness of conservation formulations are obtained experimentally [22].

Thus, taking into account the proposed criterion, the rational composition in the i-region will be a composition that will satisfy the requirement:

$$C_{ksi} / (K_{db} \cdot K_{ap}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

where C_{ksi} – specific cost of the i-composition of the conservation composition, g kg;

K_{db} – rational protective capacity of the conservation composition for the base region;

K_{ap} – he coefficient of corrosion aggressiveness of the i-region, which is defined as the ratio of the corrosion rate in the region to the corrosion rate in the base region (determined taking into account the developed maps of corrosion regions).

The analysis of the obtained model shows that in order to increase the efficiency of corrosion protection of combine harvesters, low-cost warehouses are required [23], which provide the necessary durability. To reduce the cost of conservation compositions [24], it is advisable to use as their components waste vegetable oils [25] and waste mineral oils [26]. However, the proposed approaches require experimental and production testing.

Purpose of research

The purpose of research is to create resource-saving conservation warehouses for corrosion protection of combine harvesters during long-term storage.

Research results

The comparative tests of anticorrosive properties of compositions with addition of nanopowders are carried out in the article. A laboratory stirrer with an electric motor was used to make the preservative compositions. The viscosity of the compositions was determined according to DSTU 8420 "Methods for determining the conditional viscosity" to obtain corrosion inhibitors as a raw material used waste rapeseed oil, and as a solvent spent motor and

transformer oils. Based on this technology, a new corrosion inhibitor and preservative composition have been developed. When performing research used samples of steel Article 3 coated with preservatives. The samples were rectangular plates measuring 50x50 mm and 3.0 mm thick. The samples were degreased with acetone and dried in the open air. To apply preservative compositions, the samples were immersed for 30... 40 s in the preservative material at room temperature. Then the samples were removed and kept in air in a suspended state for 24 hours. The diameter of the spreading drop of the preservative composition applied to the steel surface was taken as the wetting characteristic. The hydrophobicity of the preservative compositions was evaluated by the wetting angle of a drop of water on a coated metal surface using an installation whose main components are a catheter and a cuvette measuring cell, using software.

The adhesion strength of preservatives to the metal surface was measured on a PosiTest AT adhesiometer. The comparative resistance of preservative coatings to washing away was determined by irrigating them at the same intensity in the shower in a certain sequence. The criterion for resistance of coatings to washing was the difference in the weight of the samples before and after irrigation. BP-310S scales of the second class of accuracy were used for weighing of samples. For comparative corrosion tests of preservative compositions as a thermal-moisture chamber used air sterilizer HS62A. The duration of the tests was set before the appearance of traces of corrosion on the samples. Electrochemical studies using the IPC-ProMF potentiostat were performed to study the mechanism of corrosion inhibition by preservative compositions.

Field tests of conservation compositions were performed on samples in Cherkasy, Kyiv and Khmelnytsky regions. Plates with applied preservatives were hung in a vertical position on the rods with nylon thread. The distance between the plates was at least 150 mm. The tests were conducted outdoors, as well as under a canopy and indoors (metal garage). The total duration of the tests was 12 months. During the tests, the plates were inspected to determine the time of appearance of the first corrosion center.

Corrosion destruction was considered corrosion cells on the surface of metal plates in the form of individual points, spots, threads, ulcers. The ratio of the area of corrosion foci to the area of the tested plate in percent was used to assess the protective ability of preservative materials.

Of the studied compositions, the best wetting of the steel surface are compositions containing mineral oils. Increasing the content of corrosion inhibitor in the preservative composition increases the hydrophobicity of the surface of the coated sample (Fig. 1).

Corrosion inhibitor Telaz-L, obtained from rapeseed oil, has the best adhesive strength and resistance to washing. The effect of the content of corrosion inhibitor in the spent engine oil on the adhesive strength of the preservative composition is shown in Fig. 2.

The effect of the content of corrosion inhibitor in the spent engine oil on the corrosion resistance of the preservative composition is shown in Fig. 3.

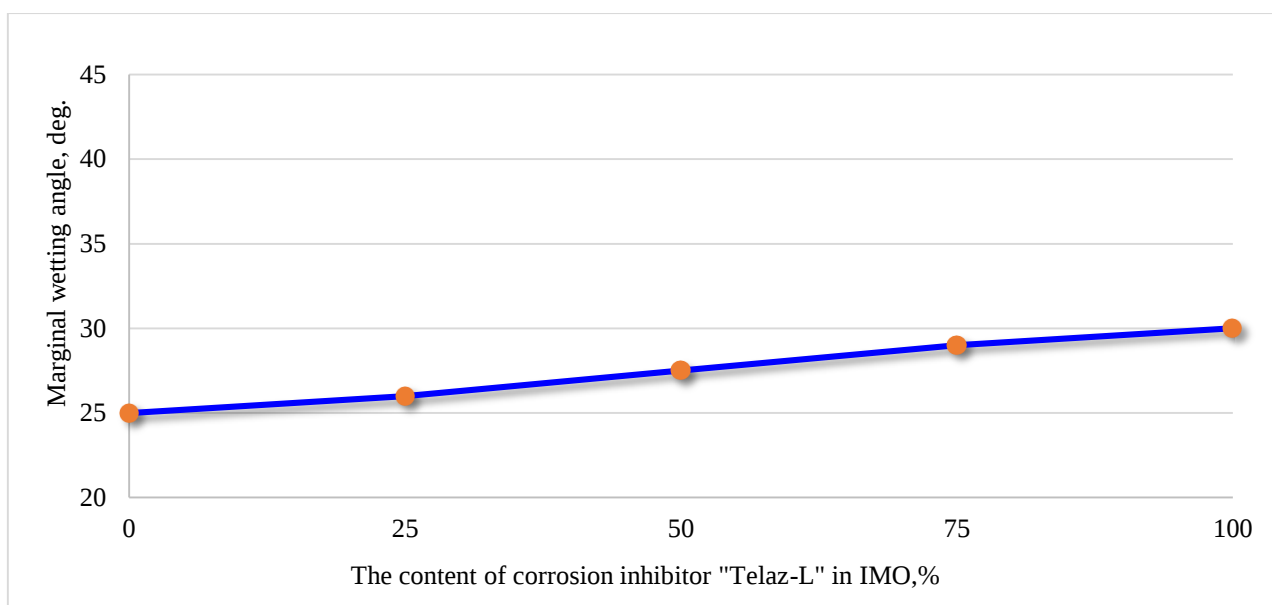


Fig. 1. The effect of the content of corrosion inhibitor in the preservative composition on the edge angle of wetting the surface of the coated sample.

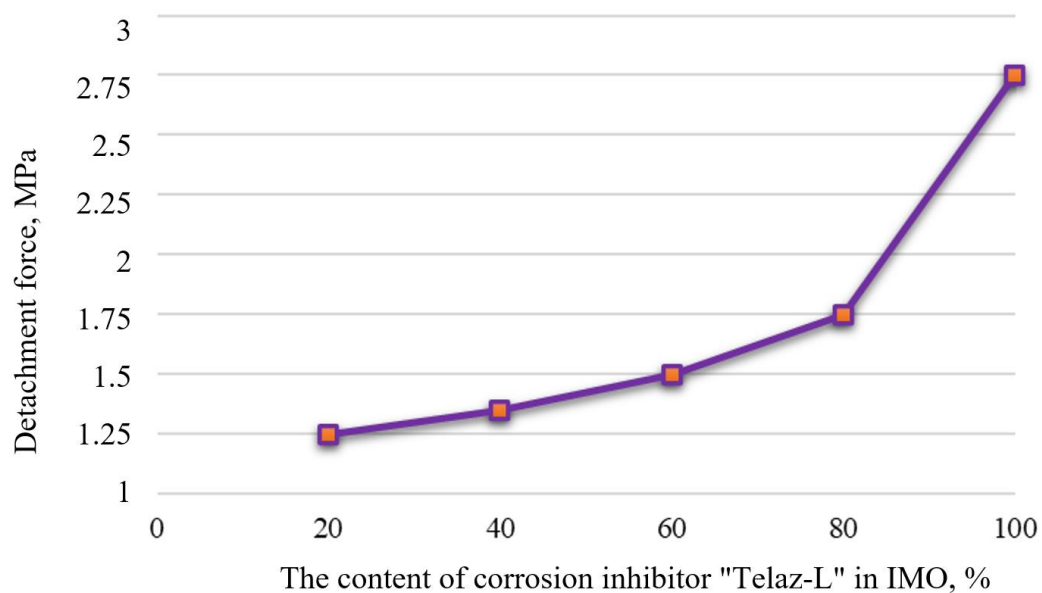


Fig. 2. Influence of corrosion inhibitor content in spent motor oil on the adhesive strength of the preservative composition.

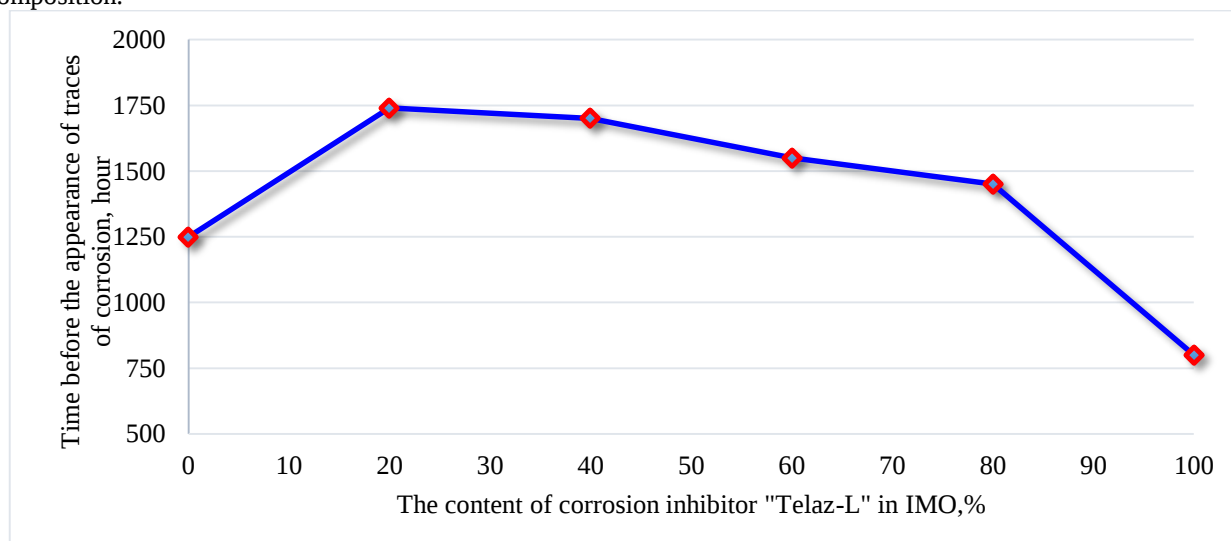


Fig. 3. Influence of corrosion inhibitor content in spent engine oil on corrosion resistance of preservative composition

Studies show that the greatest corrosion resistance of samples is observed in the content in the conservation composition of 20...40% corrosion inhibitor.

The effect of boehmite nanopowder content in spent mineral oils (motor and transformer) on corrosion resistance is shown in Fig. 4.

According to the results of electrochemical studies, it can be concluded that the addition of bemit nanopowder to waste oils reduces the corrosion rate (Table 1).

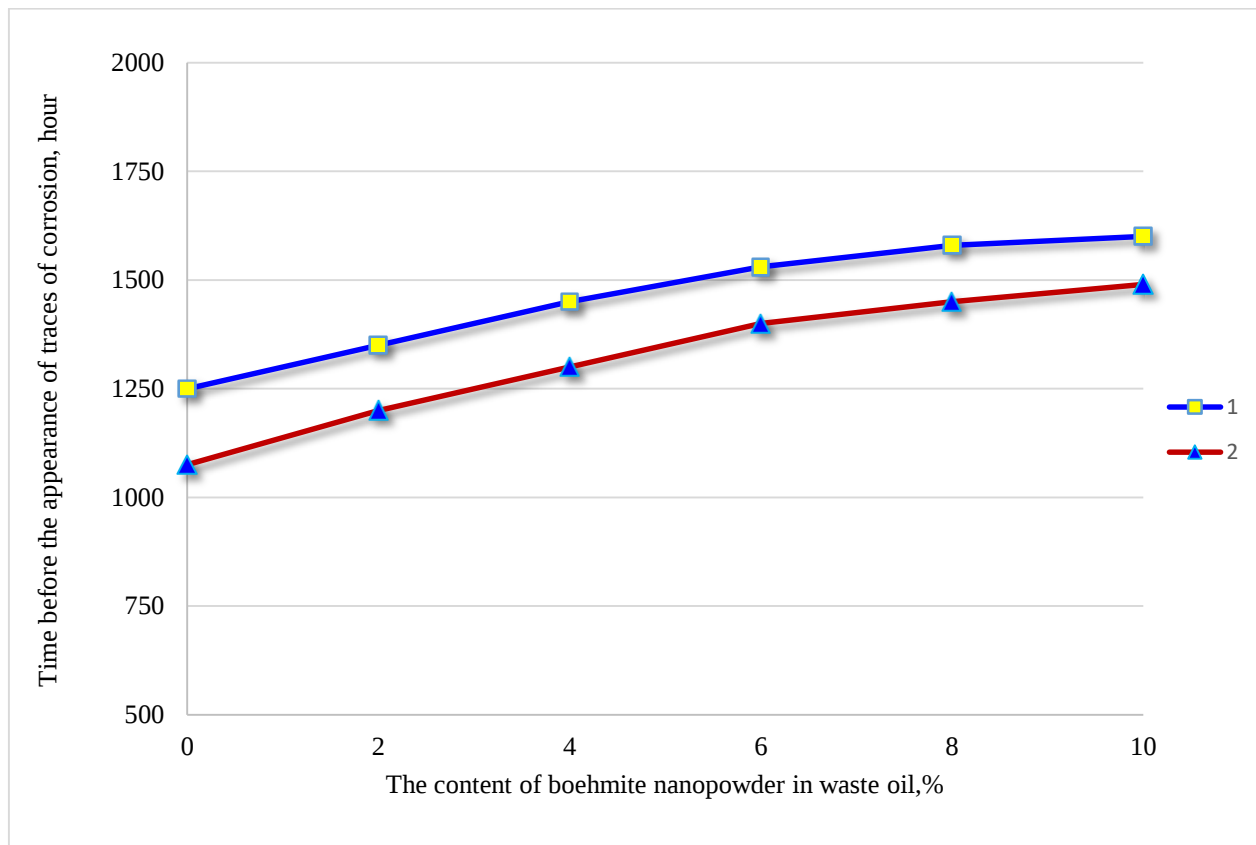


Fig. 4. Influence of boehmite nanopowder content in waste oil on corrosion resistance of preservative composition: 1 – motor oil; 2 – transformer oil

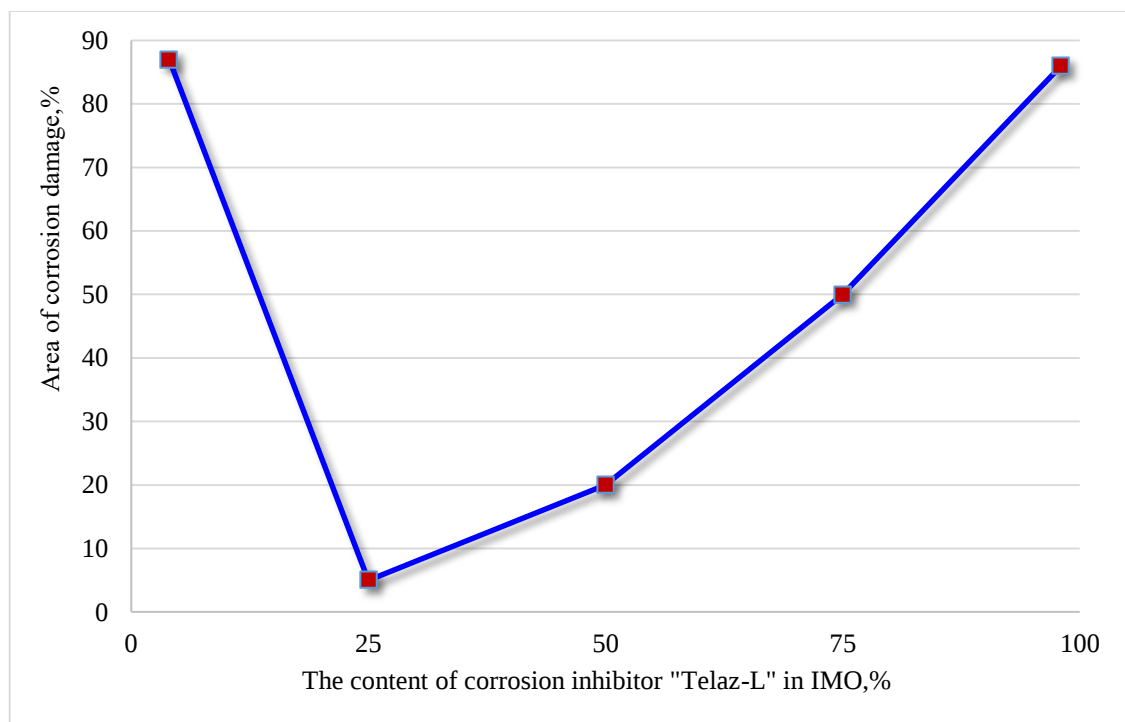


Fig. 5. Dependence of the area of corrosion damage on the content of corrosion inhibitor in spent engine oil

Table 1. The results of electrochemical measurements on steel 3 in 0.5 M NaCl solution

The studied composition	Corrosion current density (i_{kor}), A/m ²	Corrosion rate $K_{e/x}$, g/(m ² hour)	Protective effect Z, %
Used transformer oil	0.0631	0.0658	-
Spent transformer oil + boron nanopowder (5%)	0.0316	0.0328	50.15
Corrosion inhibitor (20%) + waste engine oil (80%)	0.0002	0.0002	99.69

After 12 months of indoor testing, no traces of corrosion were found on the samples covered with oil production waste. The addition of boehmite nanopowder to waste engine oil also eliminates the appearance of corrosion foci during the year. When stored under a canopy, preservatives based on oil production waste are completely protected from corrosion for 3 months. After 12 months of testing, all samples covered with oil production waste showed minor traces of corrosion. When tested in the open atmosphere, uncoated samples begin to corrode during the first month, after 3 months the area of corrosion foci reaches 20%, and by the end of the year - 95%. Waste motor oil and vegetable oil waste also cannot provide reliable protection of steel surfaces during outdoor storage. After 12 months of testing, the area of corrosion damage is at least 50%, and in some cases reaches 90%. The results of corrosion tests of samples in the open field show that the optimal conservation composition contains 25% corrosion inhibitor "Telaz-L" and 75% spent engine oil. In this case, the area of corrosion damage after 12 months of testing is 5% (Fig. 5).

To determine the protective effectiveness of the developed compositions, tests were performed in production conditions. No traces of corrosion were detected on the surfaces treated with preservatives during storage of the machines.

Conclusions

1. The greatest corrosion resistance of samples is observed for the content in the conservation composition of 20...40% corrosion inhibitor. When bemite nanopowder is added to waste mineral oils, their corrosion resistance increases slightly. The corrosion resistance of the preservative composition is most intensively increased by changing the concentration of boehmite nanopowder in waste oil in the range from 4 to 8%, then its growth slows down. The results of electrochemical studies show that the addition of boehmite nanopowder to waste oils reduces the corrosion rate.

2. The results of tests of corrosion resistance of samples in open areas show that the optimal conservation composition contains 25% corrosion inhibitor "Telaz-L" and 75% spent engine oil. In this case, the area of corrosion damage after 12 months of testing is 5%. With a further increase in the content of corrosion inhibitor in the IMO, the protective ability of the preservative composition deteriorates.

3. The stored indoors after 12 months of testing on samples covered with waste vegetable oil, no signs of corrosion. The area of corrosion foci of samples coated with waste engine oil after 12 months was 5%. The addition of boehmite nanopowder to waste engine oil eliminates the appearance of corrosion foci during the year.

4. During storage under a canopy After 12 months of testing, all samples covered with vegetable oil production waste showed minor traces of corrosion. The area of corrosion foci of samples coated with waste engine oil after 12 months was 8%. When boehmite nanopowder was added to the spent engine oil, the area of corrosion damage decreased to 5%. When using a composition containing 25% corrosion inhibitor "Telaz-L" and 75% spent engine oil, the area of corrosion damage after 12 months of testing is 2%.

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. P. 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. 2017. Vol. 19. P. 158-163.
3. Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I. Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters. 2018. Vol. 16. P. 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. P. 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. 2018. Vol. 298. P. 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. P. 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. P. 108-113.
9. Zagurskiy O., Ohienko 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. P. 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. P. 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. 2016. Vol. 266. Issue 3. P. 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. Rogovskii I. L. 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.

16. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 2019. Vol. 18. P. 291-298.

17. Kalinichenko D., Rogovskii I. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179-184.

18. Kalinichenko D., Rogovskii I. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2017. Lublin-Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 93-102.

19. Kalinichenko D., Rogovskii I. Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin-Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105-115.

20. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380-390.

21. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Штучні когнітивні системи в процесах технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353-361.

22. Rogovskii I. L. Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.

23. Роговський І. Л. Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314-322.

24. Rogovskii Ivan. Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 2016. Vol. 18. No 3. P. 155-164.

25. Роговський І. Л. Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143-150.

26. Тітова Л. Л. Моделювання перехідних процесів динамічної моделі силової енергетичної установки машин для лісотехнічних робіт. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 147-154.

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. 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. 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. 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. 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. 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. 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, 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. 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*, 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. 10(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. 10(4). 145-150.
 15. Rogovskii I. L. (2020). Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(1). 155-162.
 16. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 18. 291-298.
 17. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2014). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. *MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin. 19(3). 179-184.
 18. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin–Rzeszów. 17(3). 93-102.
 19. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2018). Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 18(1). 105-115.
 20. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 258. 380-390.
 21. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 262. 353-361.
 22. Rogovskii I. L. (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 258. 399-407.
 23. Rogovskii I. L. (2015). Metodological performance of technological operations of restoration of working capacity of agricultural mashines at limited resources. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 212(1). 314-322.
 24. Rogovskii Ivan. (2016). Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. *MOTROL. Lublin*. 18(3). 155-164.
 25. Rogovskii I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(3). 143–150.
 26. Titova L. L. (2021). Simulation of transitional processes of dynamic model of power energy installation of machines for forestry works. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 147-154.

АЛГОРИТМІЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

I. М. Кузьмич

Анотація. В статті проведено дослідження та узагальнення ефективності зберігання зернозбиральних комбайнів. Найбільш ефективне зберігання машин забезпечується у закритих приміщеннях агропромислових підприємств. Проте близько 60% парку зернозбиральних комбайнів зберігається на відкритих майданчиках. Через обмежені економічні можливості у багатьох організаціях є випадки недотримання правил зберігання машин та низької якості виконання робіт із протикорозійного захисту. Внаслідок корозії при зберіганні машин та обладнання знижується їх довговічність, підвищується трудомісткість операцій

технічного обслуговування та ремонту. Найбільш схильні до корозії зуби шестерень і втулково-роликові ланцюги, різьбові з'єднання, робочі органи ґрунтообробних машин: леміхи плугів, лапи культиваторів та інші. Через корозію зростають витрати на утримання парку машин. Витрати на технічне обслуговування та ремонт робочих органів ґрунтообробних знарядь в організаціях становлять від 32 до 78% вартості машин. Останніми роками зниження витрат на протикорозійний захист спостерігається тенденція використання консерваційних складів з відходів. Проте конкретні рекомендації щодо приготування таких консерваційних складів та результати їх випробувань стосовно зернозбиральних комбайнів у літературі відсутні.

Ключові слова: довговічність, ефективність, зберігання, корозія, нанопорошок, мінеральні оливи, ресурсозберігаючі склади.

АЛГОРИТМИЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОСБОРНЫХ КОМБАЙНОВ

И. М. Кузьмич

Аннотация. В статье проведены исследования и обобщение эффективности хранения зерноуборочных комбайнов. Наиболее эффективное хранение машин обеспечивается в закрытых помещениях агропромышленных предприятий. Однако около 60% парка зерноуборочных комбайнов хранится на открытых площадках. Из-за ограниченных экономических возможностей во многих организациях есть случаи несоблюдения правил хранения машин и низкого качества выполнения работ по противокоррозионной защите. В результате коррозии при хранении машин и оборудования снижается их долговечность, повышается трудоемкость операций технического обслуживания и ремонта. Наиболее подвержены коррозии зубья шестерен и втулочно-роликовые цепи, резьбовые соединения, рабочие органы почвообрабатывающих машин: лемехи плугов, лапы культиваторов и другие. Из-за коррозии растут расходы на содержание парка машин. Расходы на техническое обслуживание и ремонт рабочих органов почвообрабатывающих орудий в организациях составляют от 32% до 78% стоимости машин. В последние годы снижение затрат на противокоррозионную защиту наблюдается тенденция использования консервационных составов из отходов. Однако конкретные рекомендации по приготовлению таких консервационных составов и результаты их испытаний по зерноуборочным комбайнов в литературе отсутствуют.

Ключевые слова: долговечность, эффективность, хранение, коррозия, нанопорошок, минеральные масла, ресурсосберегающие составы.

Зміст

1. Експериментальні дослідження режимів руху стріли та рукояті крана-маніпулятора <i>В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, О. О. Сподоба, М. О. Сподоба</i>	5-14
2. Вплив товщини слябів на сегрегацію елементів при безперервному литті заготовок <i>Є. Г. Афтандіяни</i>	15-22
3. Аналіз нормативної бази безпеки праці для механізованого обприскування сільськогосподарських культур <i>В. О. Тимочко, І. М. Городецький, А. П. Березовецький, О. В. Войналович, О. О. Вісин</i>	23-31
4. Дослідження руху частинки по обертовому сферичному сегменту <i>Т. М. Воліна, С. Ф. Пилипака</i>	33-38
5. Статистичний аналіз функціонування ремонтної служби України <i>А. В. Новицький, О. О. Банний</i>	39-47
6. Дослідження способів нейтралізації біодизеля водним розчином лимонної кислоти <i>В. М. Поліщук, Д. А. Дерев'янка, С. Є. Тарасенко, Є. О. Антипов</i>	49-60
7. Підвищення якості практичної підготовки з дисципліни “Правила дорожнього руху” <i>І. О. Колосок</i>	61-66
8. Рух частинки ґрунту по поверхні розгортного гелікоїда з горизонтальною віссю обертання і заданим кутом атаки <i>Т. А. Кресан</i>	67-75
9. Дослідження гравітаційного сепаратора насіння ріпаку <i>О. В. Богомолів, М. В. Брагінець, В. С. Хмельовський, О. О. Богомолів</i>	77-82
10. Техніко-страхова оцінка вуглецевих сорбентів на основі рослинної сировини для очищення нафтопродуктів <i>О. М. Калівошко, М. Ф. Калівошко</i>	83-88
11. Оцінка ефективності застосування змащувальних матеріалів з фулереновими композиціями при експлуатації в магістральному циклі вантажних автомобілів <i>А. Г. Кравцов, М. В. Карнаух</i>	89-95
12. Розробка способів пошуку оптимальних параметрів виробничих процесів зі змінним складом машин для лісотехнічних робіт <i>Л. Л. Тітова</i>	97-104
13. Напрями удосконалення методики оцінки ризиків господарської діяльності автотранспортних підприємств <i>О. М. Загурський</i>	105-111
14. Аналітичні дослідження кінематичних параметрів плоских важільних механізмів <i>О. М. Черниш, М. Г. Березовий, В. В. Яременко, М. М. Круглій</i>	113-121
15. Ресурсність витрат виносу за напружений сільськогосподарський період обсягу операцій з технічного обслуговування сільськогосподарських машин <i>І. Л. Роговський</i>	123-131
16. Синергетика інтерактивних індикаторів ресурсоефективності точності висіву основних технічних культур апаратом з дозатором спрямованої дії <i>П. С. Попик</i>	133-140
17. Апаратні комплекси технічного контролю параметрів технічного стану самохідних обприскувачів <i>І. С. Любченко</i>	141-147

18. Алгоритмічність визначення ефективності зберігання зернозбиральних комбайнів <i>І. М. Кузьмич</i>	149-156
--	---------

Contents

1. Experimental studies of the motion modes of the main boom and jib of loader crane <i>V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, O. O. Spodoba, M. O. Spodoba</i>	5-14
2. Thickness influence on element segregation in continuously cast steel slabs <i>Ye. G. Aftandilants</i>	15-22
3. Analysis of safety regulations for mechanized spraying of agricultural crops <i>V. O. Tymochko, I. M. Horodetskyi, A. P. Berezovetskyi, O. V. Voynalovich, O. O. Visyn</i>	23-31
4. Investigation of particle movement on rotary spherical segment <i>T. M. Volina, S. F. Pylypaka</i>	33-38
5. Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine <i>A. V. Novytskyi, O. O. Bannyi</i>	39-47
6. Study of methods for neutralizing biodiesel with aqueous solution of citric acid <i>V. M. Polishchuk, D. A. Derevianko, S. Ye. Tarasenko, Ie. O. Antypov</i>	49-60
7. Quality improvement of practical training on the subject "The road traffic regulations" <i>I. O. Kolosok</i>	61-66
8. Movement of soil particles on surface of developable helicoid with horizontal axis of rotation with given angle of attack <i>T. A. Kresan</i>	67-75
9. Research of gravity separator of rapeseed <i>O. V. Bogomolov, M. V. Braginet, V. S. Khmelovskiy, O. O. Bogomolov</i>	77-82
10. Technical and insurance evaluation of carbon sorbents on basis of vegetable raw materials for purification of petroleum products <i>O. M. Kalivoshko, M. F. Kalivoshko</i>	83-88
11. Estimation of efficiency of application of lubricants with fullerene compositions during operation in main cycle of trucks <i>A. G. Kravtsov, M. V. Karnaukh</i>	89-95
12. Methods of searching for optimal parameters of production processes with variable composition of machines for forestry technology <i>L. L. Titova</i>	97-104
13. Directions for enhancing methodology of assessing risks of economic activity of motor transport enterprise <i>O. M. Zagurskiy</i>	105-110
14. Analytical studies of the kinematic parameters of planar rod mechanisms <i>O. M. Chernysh, M. H. Berezovyi, V. V. Yaremenko, M. M. Kruhlii</i>	111-121
15. Resource of removal expenses for strong agricultural period of volume of operations <i>I. L. Rogovskii</i>	123-131
16. Synergetics of interactive indicators of resource efficiency of sowing accuracy of main technical cultures with device with dispenser of directed direction <i>P. S. Popyk</i>	133-140
17. Hardware complexes for technical control of technical condition parameters of self-propelled sprayers <i>I. S. Liubchenko</i>	141-147
18. Algorithmicity of determination of efficiency of storage of grain harvesters <i>I. M. Kuzmich</i>	149-156

Guidelines for authors (2021)

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 reproduction 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 nomenclature (all explanations placed in the text);

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

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

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

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

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

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

Colour figures will not be printed.

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

7. Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao. (2021). 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 12

№ 2

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

Редактор І. Л. Роговський

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

Здано до набору 30.06.2021
Формат 60×84/16
Наклад 100 прим.

Підписано до друку 30.06.2021
Папір офсетний.
Зам. № 1021 від 30.06.2021

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