

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

DOI: 10.31548/machenergy.2019.03.194

# 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. 10

## № 3

(July – September)

**Kyiv – 2019**

**Editor-in-Chief**

*Prof., DS, Stanislav Nikolajenko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine*

**Vice-Editor**

*Prof. Ildus Ibatullin, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine*

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

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

**Assistants Editor**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Prof. Volodymyr Gorobet, 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. Vyatcheslav Loveykin, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine*

*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](http://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: *Lyudmila Titova*

Photo on the cover: *Ivan Rogovskii*

© Copyright by National University of Life and Environmental Science of Ukraine, 2019

**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](mailto:rogovskii@nubip.edu.ua)

**Printing**

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

**Publishing Office address**

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

ISSN 2663-1334 (print)

ISSN 2663-1342 (online)

Edition 100+16 vol.

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

DOI: 10.31548/machenergy.2019.03.194

# 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 10

### № 3

(липень – вересень)

**Київ – 2019**

## **Національний університет біоресурсів і природокористування України**

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Редкол. : С. М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. Київ. 2019. Вип. 10. № 3. 194 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 аграрної політики та продовольства України.

**Редакційна колегія:** С. М. Ніколаєнко, д-р пед. наук, проф. (відповідальний редактор); І. І. Ібатуллін, д-р с.-г. наук, проф.; В. Д. Войтюк, д-р техн. наук, проф.; В. В. Козирський, д-р техн. наук, проф. (заступники відповідального редактора); В. І. Кирилюк, канд. с.-г. наук, (відповідальний секретар); І. Л. Роговський, канд. техн. наук, старший наук. співр., О. Ю. Синявський, канд. техн. наук, доц. (заступники відповідального секретаря); В. В. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Аніскевич, д-р техн. наук, проф.; Є. Г. Афтандіянц, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Баль-Прилипко, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, старший наук. співр.; В. М. Булгаков, д-р техн. наук, проф.; Д. Г. Войтюк, канд. техн. наук, проф.; Г. А. Голуб, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Горобець, д-р техн. наук, старший наук. співр.; М. В. Гребченко, д-р техн. наук, проф.; П. Євич, д-р техн. наук, проф.; А. В. Жильцов, д-р техн. наук, доц.; В. В. Каплун, д-р техн. наук, проф.; В. В. Коваль, д-р техн. наук, проф.; І. П. Кондратенко, д-р техн. наук, проф.; О. Б. Коршунов, канд. техн. наук, доц.; В. І. Кравчук, д-р техн. наук, проф.; В. Романюк, д-р техн. наук, проф.; В. П. Лисенко, д-р техн. наук, проф.; В. С. Ловейкін, д-р техн. наук, проф.; К. Г. Лопатько, д-р техн. наук, доц.; С. Марек, д-р техн. наук, проф.; І. І. Назаренко, д-р техн. наук, проф.; В. М. Несвідомін, д-р техн. наук, проф.; Т. Павловські, д-р техн. наук, проф.; С. Ф. Пилипака, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Самосюк, д-р техн. наук, проф.; Г. Собчук, д-р техн. наук, проф.; О. Б. Таширев, д-р техн. наук, проф.; В. В. Теслюк, д-р с.-г. наук, проф.; С. Г. Фришев, д-р техн. наук, проф.; В. В. Харченко, д-р техн. наук, проф.; А. Хоховські, проф.; С. П. Циганков, д-р техн. наук, старший наук. співр.; С. А. Шворов, д-р техн. наук, проф.; Ю. Яцкевич, д-р техн. наук, проф.

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 1 від 28 серпня 2019 р.

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

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

Відповідальний за випуск І. Л. Роговський.

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

© Національний університет біоресурсів і  
природокористування України, 2019

УДК 621.87

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПОВОРОТУ СТІЛОВОГО КРАНА ЗА КРИТЕРІЄМ СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ ПРИШВИДШЕННЯ ЗМІНИ ЗУСИЛЛЯ В ПРИВОДНОМУ МЕХАНІЗМІ

В. С. Ловейкін<sup>1</sup>, Ю. О. Ромасевич<sup>1</sup>, А. В. Ловейкін<sup>2</sup>, І. О. Кадикало<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: lovvs@ukr.net, kadykaloivan@nubip.edu.ua.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 23, рис. 6, табл. 2.*

**Анотація.** На основі попереднього динамічного аналізу виявлено, що під час роботи механізму повороту баштового крана виникають коливання вантажу та значні динамічні навантаження в елементах конструкції та приводу. Ці явища виникають під час перехідних режимів руху (пуску та гальмування). Для їх мінімізації проведено оптимізацію процесу пуску за певним оптимізаційним критерієм. В даній статті розв'язана задача оптимізації режиму повороту стрілового крана за критерієм середньоквадратичного значення пришвидшення зміни зусилля в приводному механізмі. Розв'язок варіаційної задачі отриманий у вигляді функціональних залежностей режиму руху окремих ланок механізму повороту баштового крана, який представлений у графічному вигляді.

Отримані закони руху за критерієм середньоквадратичного значення пришвидшення зміни зусилля в приводному механізмі (режим 2) мають значні переваги порівняно з законами руху за критерієм середньоквадратичного значення швидкості зміни пружного моменту в приводному механізмі (режим 1). В результаті проведеного аналізу було виявлено, що за режиму 2 максимальні та середньоквадратичні значення більшості кінематичних і силових характеристик приймають менші значення в порівнянні з режимом 1, по деяких показниках ці параметри рівнозначні. Однак характер зміни цих показників при режимі 2 має плавний вигляд. Отриманий оптимальний режим руху механізму повороту крана дозволяє усунути коливання вантажу на гнучкому підвісі під час роботи механізму повороту, а також зменшити динамічні навантаження в приводі та металоконструкціях крана.

Слід зазначити, що використання оптимальних законів руху дає можливість значно підвищити надійність та продуктивність роботи крана і зменшити аварійні ситуації під час виконання розвантажувально-навантажувальних операцій. Реалізація отриманих оптимальних режимів руху здійснюється за допомогою мехатронних пристроїв системи керування приводним механізмом.

**Ключові слова:** баштовий/стріловий кран, механізм повороту, вантаж, обертання, динамічні навантаження, оптимізація, мінімізація, критерій, зусилля, коливання, пружний момент, зміна швидкості, прискорення, оптимальне керування.

### Постановка проблеми

При роботі механізму обертання стрілового крана в його елементах та металоконструкції крана виникають значні динамічні навантаження [1-9], які є причиною обмеження робочих швидкостей і, як наслідок, зменшення продуктивності виконання навантажувально-розвантажувальних операцій. Крім того, наявність динамічних навантажень приводить до зменшення надійності роботи механізму обертання і крана в цілому [10-13]. Значно зменшити ці динамічні навантаження можна шляхом вибору режиму руху приводу механізму повороту крана на ділянках перехідних процесів (пуск, гальмування).

Необхідний режим обертання крана може бути вибраний шляхом оптимізації перехідних процесів з використанням тих або інших критеріїв взаємності від поставлених задач проектування крана або умов його використання [21]. Для зменшення динамічних навантажень в елементах механізму повороту крана необхідно вибирати критерії, які відображають дію цих навантажень протягом певного проміжку часу роботи крана. Такими критеріями можуть бути середньоквадратичні значення динамічних навантажень та їхніх похідних за часом протягом проходження перехідних процесів [22-24].

Особливо небезпечними є навантаження, які змінюються з часом і приводять до виникнення коливань в елементах механізму обертання, металоконструкції крана та вантажу на гнучкому підвісі. Тому при оптимізації режиму повороту необхідно обирати в якості критеріїв оптимізації середньоквадратичні значення навантажень коливального характеру.

## Аналіз останніх досліджень

При роботі механізму обертання стрілового крана спостерігаються значні розгойдування вантажу на гнучкому підвісі та коливання елементів приводу і конструкцій [1-9]. Наявність цих коливань приводить до нерівномірності руху елементів приводу механізму повороту, що впливає на якість виконання навантажувально-розвантажувальних операцій, продуктивність та надійність роботи крана, а також збільшує імовірність виникнення аварійних ситуацій [10-13].

Покращення конструктивних та експлуатаційних характеристик механізму обертання і крана в цілому досягається за рахунок оптимізації [14-16]. В роботі [17] запропонована методика зменшення відкладень корисного навантаження з використанням намотування і розмотування підйомного канату. Зменшення коливань вантажу та динамічних навантажень представлено різними методами та підходами [18, 19]. В роботі [20] показані результати аналітичних та чисельних досліджень управління плоскими коливаннями крана великої амплітуди. Пропонується та описується нова концепція, яка називається механічним фільтром. Інші підходи ґрунтуються на оптимізації режимів руху на ділянках пуску та гальмування [21]. При оптимізації режимів руху кранових механізмів виникає проблема вибору критеріїв оптимізації [22-24]. Найбільш доцільно вибирати критерії інтегрального характеру, які оцінюють роботу крана або його окремого механізму протягом певної ділянки руху. В якості таких критеріїв використовувались критеріальні дії, які представляють собою інтегральні функціонали [25-27]. Також до інтегральних критеріїв відносяться середньоквадратичні значення діючих динамічних навантажень та їхні похідні за часом [26, 27].

Серед методів оптимізації режимів руху слід виділити методи варіаційного числення, динамічного програмування та принцип максимуму. Для критеріїв, які відображають середньоквадратичні значення діючих навантажень та їхніх похідних за часом доцільно використовувати варіаційні методи оптимізації, оскільки вони забезпечують достатньо високий рівнянь плавності режимів руху елементів кранових механізмів [22-28].

## Мета досліджень

Мета роботи полягає в оптимізації режиму повороту стрілового крана за критерієм середньоквадратичного значення пришвидшення зміни зусилля в приводному механізмі. Досягти поставленої мети можливо за рахунок вирішення наступних задач: 1) побудувати математичну модель механізму повороту стрілового крана [1];

2) обрати критерій оптимізації режиму повороту крана та встановити умови його мінімуму, зокрема крайові умови; 3) визначити оптимальний режим руху механізму повороту; 4) провести аналіз отриманих результатів.

## Результати досліджень

Механізм повороту крана представлено у вигляді динамічної моделі (рис. 1) [1]. При побудові динамічної моделі вважаємо, що усі елементи механізму повороту тверді тіла, окрім елементів передавального механізму приводу, а вантажний канат представляється гнучкою нерозтяжною ниткою. При цьому нехтуємо радіальними відхиленнями каната від вертикалі, викликаними відцентровими силами, а враховуємо лише відхилення в дотичному напрямку руху вантажу по колу.

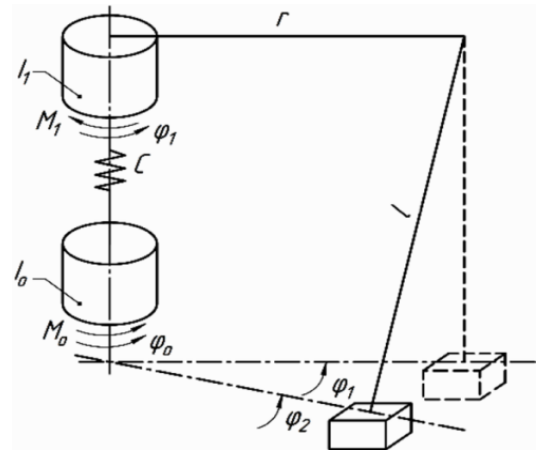


Рис. 1. Динамічна модель механізму повороту.

Fig. 1. Dynamic model of the turning mechanism.

За узагальнені координати динамічної моделі прийняті кутові координати повороту зведеної до осі повороту крана маси елементів приводу  $\varphi_0$ , поворотної башти зі стрілою відносно власної осі обертання  $\varphi_1$  та вантажу  $\varphi_2$ .

Рівняння руху, що відповідають цій моделі, мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} I_0 \ddot{\varphi}_0 = M_0 - C \cdot (\varphi_0 - \varphi_1); \\ I_1 \ddot{\varphi}_1 = C \cdot (\varphi_0 - \varphi_1) - m r^2 \frac{g}{l} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) - M_1; \\ \ddot{\varphi}_2 = \frac{g}{l} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2), \end{cases} \quad (1)$$

де  $m$  – маса вантажу;  $I_0$  – момент інерції приводного механізму, зведений до осі повороту крана;  $I_1$  – момент інерції поворотної частини крана;  $M_0$  – рушійний момент двигуна, зведений до осі повороту крана;  $M_1$  – момент опору в поворотній частині крана;  $C$  – коефіцієнт жорсткості приводного механізму, зведений до вісі повороту крана;  $r$  – довжина стріли;  $l$  – довжина гнучкого підвісу вантажу;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння.

За критерій оптимізації режиму повороту стрілового крана оберемо значення пришвидшення зміни зусилля в приводному механізмі. Виконавши певні математичні дії знайдемо пришвидшення зміни зусилля в приводному механізмі

$$\ddot{M}_{01} = I_1 \cdot \frac{l}{g} \cdot \left( \frac{VI}{\varphi_2 + k^2 \cdot \varphi_2} \right), \quad (2)$$

де  $k = \sqrt{\frac{I_1 + mr^2}{I_1 \cdot l/g}}$  – частота власних коливань системи.

Тоді критерій оптимізації режиму повороту крана матиме вигляд

$$\ddot{M}_{01ck} = \left[ \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \ddot{M}_{01}^2 dt \right]^{1/2},$$

$$\ddot{M}_{01ck} = \left[ \frac{1}{t_1} \left( I_1 \frac{l}{g} \right)^2 \int_0^{t_1} \left( \frac{VI}{\varphi_2 + k^2 \cdot \varphi_2} \right)^2 dt \right]^{1/2} \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $t$  – час;  $t_1$  – тривалість перехідного процесу (пуску, гальмування).

Мінімум критерію (3) визначається мінімумом інтеграла

$$I = \int_0^{t_1} \left( \frac{VI}{\varphi_2 + k^2 \cdot \varphi_2} \right)^2 dt. \quad (4)$$

Якщо позначити

$$f = \left( \frac{VI}{\varphi_2 + k^2 \cdot \varphi_2} \right)^2, \quad (5)$$

то умовою мінімуму інтеграла (4) буде рівняння Пуассона

$$\frac{d^4}{dt^4} \frac{df}{d\varphi_2} + \frac{d^6}{dt^6} \frac{df}{d\varphi_2} = 0. \quad (6)$$

Після знаходження необхідних похідних для (6)

$$\frac{df}{d\varphi_2} = 2k^2 \left( \frac{VI}{\varphi_2 + k^2 \cdot \varphi_2} \right);$$

$$\frac{df}{d\varphi_2} = 2 \left( \frac{VI}{\varphi_2 + k^2 \cdot \varphi_2} \right);$$

$$\frac{d^4}{dt^4} \frac{df}{d\varphi_2} = 2k^2 \left( \frac{X}{\varphi_2 + k^2 \cdot \varphi_2} \right);$$

$$\frac{d^6}{dt^6} \frac{df}{d\varphi_2} = 2 \left( \frac{XII}{\varphi_2 + k^2 \cdot \varphi_2} \right)$$

отримаємо умову мінімуму для критерію (3)

$$\frac{XII}{\varphi_2 + 2k^2 \frac{X}{\varphi_2 + k^2 \cdot \varphi_2} + k^4 \frac{VIII}{\varphi_2} = 0. \quad (7)$$

Розв'язок диференційного рівняння (7) має вигляд

$$\varphi_2 = C_1 + C_2 t + C_3 t^2 + C_4 t^3 + C_5 t^4 + C_6 t^5 + C_7 t^6 + C_8 t^7 + (C_9 + C_{10} t) \sin kt + (C_{11} + C_{12} t) \cos kt \quad (8)$$

де  $C_i (i=1,2,...,12)$  – постійні, які визначаються з крайових умов руху.

Для визначення постійних  $C_i (i=1,2,...,12)$  використаємо крайові умови руху:

$$\begin{cases} t=0: \varphi_0 = \varphi_1 = \varphi_2 = 0; \dot{\varphi}_0 = \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 = 0; \\ t=t_1: \varphi_0 = \varphi_1 = \varphi_2 = \frac{\omega_y t_1}{2}; \dot{\varphi}_0 = \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 = \omega_y, \end{cases} \quad (9)$$

де  $\omega_y$  – усталена швидкість повороту крана.

Зведемо умови (9) до координати  $\varphi_2$  та її похідних за часом, в результаті чого отримаємо:

$$\begin{cases} t=0: \varphi_2 = \dot{\varphi}_2 = \ddot{\varphi}_2 = \ddot{\varphi}_2 = \varphi_2 = 0, \varphi_2 = -\frac{M_1 g}{I_1 l}; \\ t=t_1: \varphi_2 = \frac{\omega_y t_1}{2}, \dot{\varphi}_2 = \omega_y, \ddot{\varphi}_2 = \ddot{\varphi}_2 = \varphi_2 = 0, \varphi_2 = -\frac{M_1 g}{I_1 l}. \end{cases} \quad (10)$$

Розв'язок (8) рівняння (7) містить 12 довільних сталих  $C_i (i=1,2,...,12)$  і для їхнього визначення заданих крайових умов (10) достатньо.

Крайові умови (10) визначають бажану залежність  $\varphi_2(t)$  з сімейства (8).

Оскільки в умови (10) входять похідні за часом від функції (8) включно до п'ятого порядку, то запишемо ці залежності:

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= C_2 + 2C_3 t + 3C_4 t^2 + 4C_5 t^3 + 5C_6 t^4 + 6C_7 t^5 + 7C_8 t^6 + \\ &+ (C_{10} - C_{11} k - C_{12} k t) \sin kt + (C_{12} + C_9 k + C_{10} k t) \cos kt; \\ \dot{\varphi}_2 &= 2C_3 + 6C_4 t + 12C_5 t^2 + 20C_6 t^3 + 30C_7 t^4 + 42C_8 t^5 - \\ &- (2C_{12} + C_9 k + C_{10} k t) k \sin kt + (2C_{10} - C_{11} k - C_{12} k t) k \cos kt; \\ \ddot{\varphi}_2 &= 6C_4 + 24C_5 t + 60C_6 t^2 + 120C_7 t^3 + 210C_8 t^4 - \\ &- (3C_{10} - C_{11} k - C_{12} k t) k^2 \sin kt - \\ &- (3C_{12} + C_9 k + C_{10} k t) k^2 \cos kt; \\ \text{IV} \varphi_2 &= 24C_5 + 120C_6 t + 360C_7 t^2 + 840C_8 t^3 + \\ &+ (4C_{12} + C_9 k + C_{10} k t) k^3 \sin kt - \\ &- (4C_{10} - C_{11} k - C_{12} k t) k^3 \cos kt; \\ \text{V} \varphi_2 &= 120C_6 + 720C_7 t + 2520C_8 t^2 + \\ &+ (5C_{10} - C_{11} k - C_{12} k t) k^4 \sin kt + \\ &+ (5C_{12} + C_9 k + C_{10} k t) k^4 \cos kt \end{aligned} \quad (11)$$

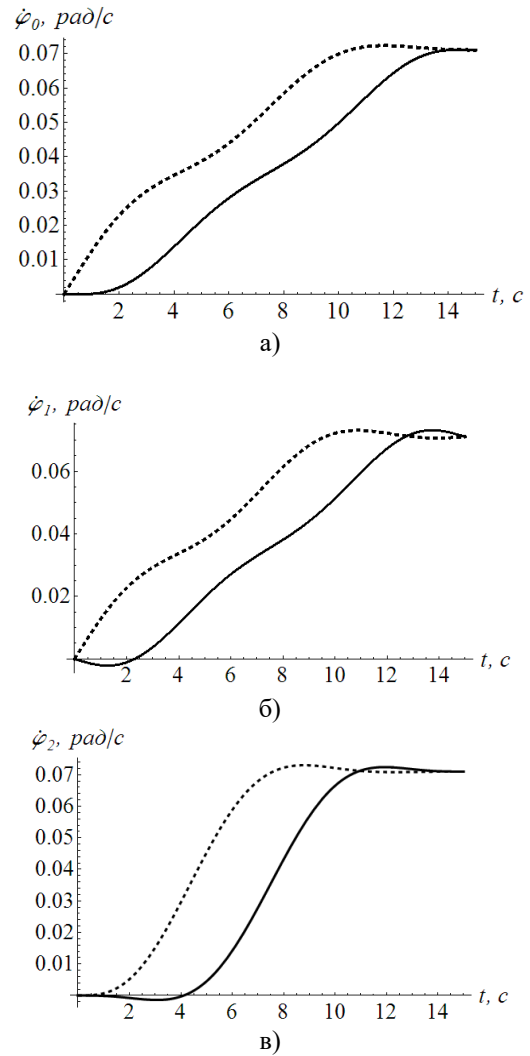
Підставляючи крайові умови (10) в залежності (8) та (11), отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення постійних  $C_i (i=1,2,...,12)$ , які забезпечують оптимальний режим повороту стрілової системи крана за критерієм середньоквадратичного значення пришвидшення зусилля в пружній системі приводного механізму:

$$\begin{aligned} C_1 + C_{11} &= 0; \quad C_2 + C_{12} + C_9 k = 0; \quad 2C_3 + (2C_{10} - C_{11} k) k = 0; \\ 6C_4 - (3C_{12} + C_9 k) k^2 &= 0; \\ 24C_5 - (4C_{10} - C_{11} k) k^3 &= -\frac{M_1 g}{I_1 l}; \\ 120C_6 + (5C_{12} + C_9 k) k^4 &= 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& C_1 + C_2 t_1 + C_3 t_1^2 + C_4 t_1^3 + C_5 t_1^4 + C_6 t_1^5 + C_7 t_1^6 + C_8 t_1^7 + \\
& + (C_9 + C_{10} t_1) \sin kt_1 + (C_{11} + C_{12} t_1) \cos kt_1 = \frac{\omega_y t_1}{2}; \\
& C_2 + 2C_3 t_1 + 3C_4 t_1^2 + 4C_5 t_1^3 + 5C_6 t_1^4 + \\
& + 6C_7 t_1^5 + 7C_8 t_1^6 + (C_{10} - C_{11}k - C_{12}kt_1) \sin kt_1 + \\
& + (C_{12} + C_9k + C_{10}kt_1) \cos kt_1 = \omega_y; \\
& 2C_3 + 6C_4 t_1 + 12C_5 t_1^2 + 20C_6 t_1^3 + 30C_7 t_1^4 + \\
& + 42C_8 t_1^5 - (2C_{12} + C_9k + C_{10}kt_1)k \sin kt_1 + \\
& + (2C_{10} - C_{11}k - C_{12}kt_1)k \cos kt_1 = 0; \\
& 6C_4 + 24C_5 t_1 + 60C_6 t_1^2 + 120C_7 t_1^3 + 210C_8 t_1^4 - \\
& - (3C_{10} - C_{11}k - C_{12}kt_1)k^2 \sin kt_1 - \\
& - (3C_{12} + C_9k + C_{10}kt_1)k^2 \cos kt_1 = 0; \\
& 24C_5 + 120C_6 t_1 + 360C_7 t_1^2 + 840C_8 t_1^3 + \\
& + (4C_{12} + C_9k + C_{10}kt_1)k^3 \sin kt_1 - \\
& - (4C_{10} - C_{11}k - C_{12}kt_1)k^3 \cos kt_1 = -\frac{M_1 g}{I_1 l}; \\
& 120C_6 + 720C_7 t_1 + 2520C_8 t_1^2 + \\
& + (5C_{10} - C_{11}k - C_{12}kt_1)k^4 \sin kt_1 + \\
& + (5C_{12} + C_9k + C_{10}kt_1)k^4 \cos kt_1 = 0.
\end{aligned} \tag{12}$$

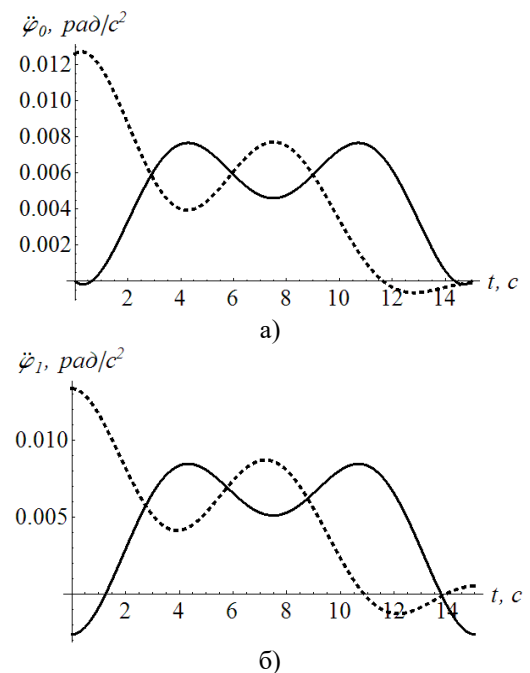
Для механізму повороту стрілового крана QTZ-80 з параметрами  $I_o = 71626,115 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $I_1 = 4920738,85 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $C = 6626669,045 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$ ;  $m = 2000 \text{ кг}$ ;  $r = 40 \text{ м}$ ;  $l = 30 \text{ м}$ ;  $M_1 = 1288,79 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $M_H = 36,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $u = 1355,2$ ;  $\eta = 0,86$ ;  $\omega_y = 0,071 \text{ рад/с}$ ;  $t_1 = 15 \text{ с}$ ;  $\omega_o = 95 \text{ рад/с}$ ;  $\omega_n = 95,04 \text{ рад/с}$ ;  $\lambda = 2,8$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  в результаті розв'язку системи (12) визначені постійні  $C_i (i=1,2,\dots,12)$ , на основі яких встановлено оптимальний режим повороту крана та побудовано графічні залежності, котрі порівняно з оптимальним режимом повороту за критерієм середньоквадратичного значення швидкості зміни пружного моменту в приводному механізмі (рис. 2 – рис. 6) на цих рисунках прийняті позначення: (---) оптимальне керування 1 (критерій середньоквадратичного значення швидкості зміни пружного моменту в приводному механізмі); (—) оптимальне керування 2 (критерій середньоквадратичного значення пришвидження зміни зусилля в приводному механізмі).

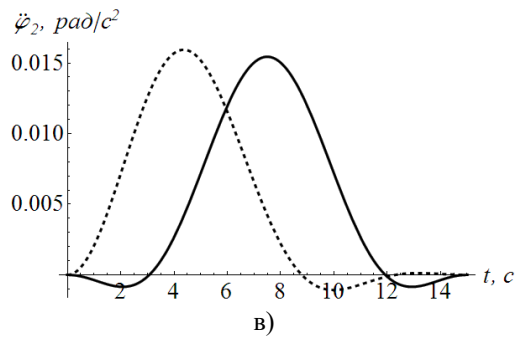
З отриманих графічних залежностей (рис. 2 – рис. 6) можна бачити, що практично усі кінематичні, силові та енергетичні характеристики стрілової системи на ділянці пуску механізму повороту при першому та другому оптимальних режимах руху мають плавний характер зміни, що вказує на відсутність значних динамічних навантажень.



**Рис. 2.** Залежності зміни кутових швидкостей: а) ротора двигуна; б) поворотної частини крана; в) вантажу

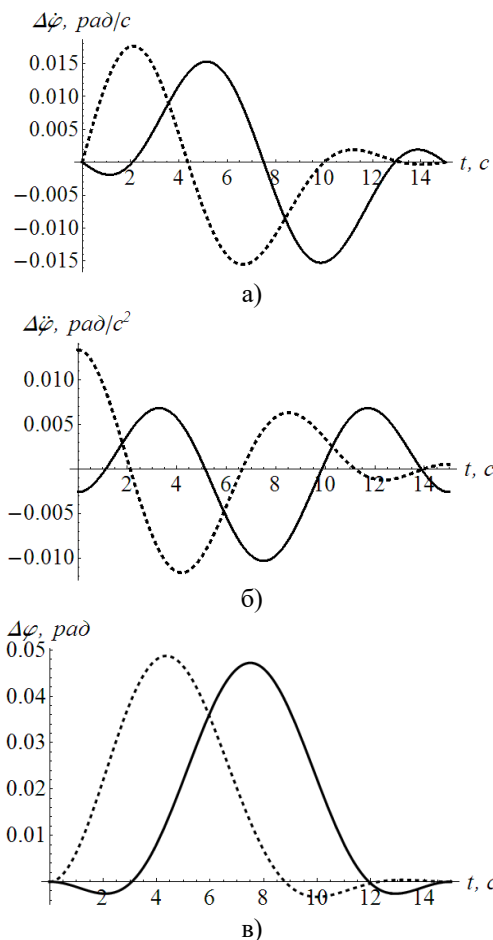
**Fig. 2.** Variation of angular velocity.





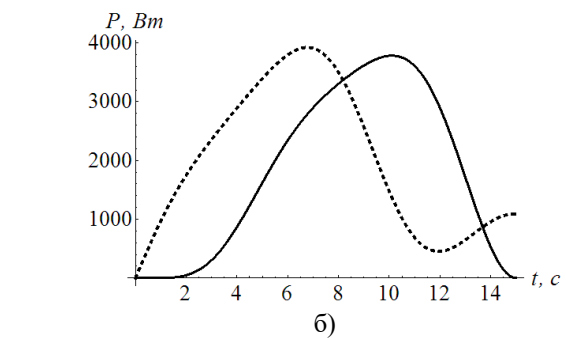
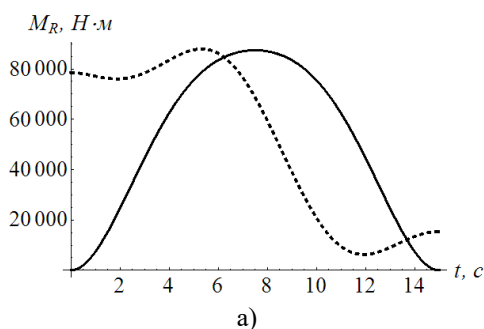
**Рис. 3.** Залежності зміни кутових прискорень: а) ротора двигуна; б) поворотної частини крана; в) вантажу

**Fig. 3.** Variation of the angular accelerations.



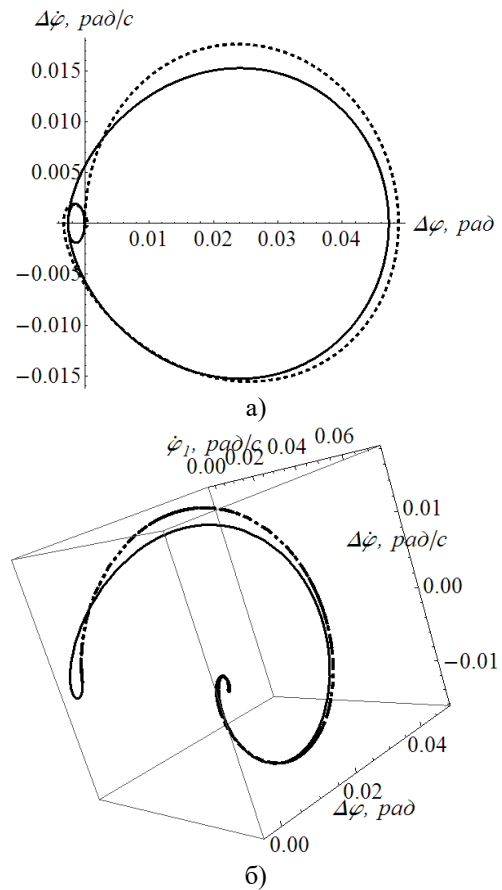
**Рис. 4.** Залежності зміни: а) кутової швидкості; б) кутового прискорення; в) кутової координати відхилення гнучкого підвісу вантажу від вертикалі.

**Fig. 4.** Variation



**Рис. 5.** Залежності зміни: а) пружного моменту в приводі; б) потужності приводу.

**Fig. 5.** Variation



**Рис. 6.** Фазові портрети: а) плоский; б) і в) об'ємні.

**Fig. 6.** Phase portraits

Здійснено порівняння отриманих оптимальних силових та енергетичних характеристик стрілової режимів руху за середньоквадратичними (табл. 1) та системи. максимальними (табл. 2) значеннями кінематичних,

**Таблиця 1.** Характеристики механізму повороту за середньоквадратичним відхиленням.

**Table 1.** Characteristics of the mechanism of rotation standard deviation.

| Характеристики                |                    | Середньоквадратичне відхилення |                        | Зменшення характеристик |
|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|
|                               |                    | Оптимальне керування 1         | Оптимальне керування 2 |                         |
| Кутова швидкість, $rad/c$     | ротора двигуна     | 0,054                          | 0,043                  | 1,26                    |
|                               | поворотної частини | 0,055                          | 0,044                  | 1,25                    |
|                               | вантажу            | 0,058                          | 0,047                  | 1,23                    |
|                               | відхилення вантажу | 0,009                          | 0,009                  | 0                       |
| Кутове прискорення, $rad/c^2$ | ротора двигуна     | 0,006                          | 0,005                  | 1,2                     |
|                               | поворотної частини | 0,006                          | 0,006                  | 0                       |
|                               | вантажу            | 0,008                          | 0,008                  | 0                       |
|                               | відхилення вантажу | 0,006                          | 0,005                  | 1,2                     |
| Момент, $H\cdot m$            | двигуна            | 60883,9                        | 60118,1                | 1,013                   |
|                               | в приводі          | 60482,9                        | 59751,9                | 1,012                   |
| Потужність привода, $Bm$      |                    | 2348,89                        | 2312,24                | 1,016                   |
| Відхилення вантажу, $rad$     |                    | 0,023                          | 0,023                  | 0                       |

Аналіз середньоквадратичних значень показників з табл. 1 показує, що кінематичні характеристики стрілової системи при використанні критерію середньоквадратичного значення пришвидшення зміни зусилля в приводному механізмі є дещо кращими в порівнянні з використанням критерію середньоквадратичного значення швидкості зміни пружного моменту в приводному механізмі. Оптимальний режим 2 в порівнянні з режимом 1 дав

можливість зменшити показники середньоквадратичних значень швидкостей ротора двигуна на 26%, поворотної частини крана на 25% та вантажу на 23%, а кутових пришвидшень ротора двигуна та відхилення вантажу на 20%. При цьому відхилення середньоквадратичних значень моментів на валу електродвигуна та приводному механізмі, а також потужності приводу є незначними і складають відповідно 1,3%, 1,2%, 1,6%.

**Таблиця 2.** Характеристики механізму повороту за максимальними значеннями.

**Table 2.** Characteristics of the turning mechanism with the highest values.

| Характеристики                |                    | Максимальні значення   |                        | Зменшення характеристик |
|-------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
|                               |                    | Оптимальне керування 1 | Оптимальне керування 2 |                         |
| Кутова швидкість, $rad/c$     | ротора двигуна     | 0,0725                 | 0,071                  | 1,02                    |
|                               | поворотної частини | 0,073                  | 0,073                  | 0                       |
|                               | вантажу            | 0,073                  | 0,072                  | 1,014                   |
|                               | відхилення вантажу | 0,0165                 | 0,0151                 | 1,093                   |
| Кутове прискорення, $rad/c^2$ | ротора двигуна     | 0,0127                 | 0,0077                 | 1,65                    |
|                               | поворотної частини | 0,0135                 | 0,0085                 | 1,59                    |
|                               | вантажу            | 0,016                  | 0,0154                 | 1,039                   |
|                               | відхилення вантажу | 0,013                  | 0,010                  | 1,3                     |
| Момент, $kH\cdot m$           | двигуна            | 89                     | 88                     | 1,011                   |
|                               | в приводі          | 89                     | 88                     | 1,011                   |
| Потужність привода, $kBm$     |                    | 3,9                    | 3,8                    | 1,026                   |
| Відхилення вантажу, $rad$     |                    | 0,049                  | 0,047                  | 1,043                   |

Аналіз максимальних значень характеристик з табл. 2 також показує деяке покращення показників при використанні критерію середньоквадратичного значення пришвидшення зміни пружного моменту в

приводному механізмі в порівнянні з критерієм середньоквадратичного значення швидкості зміни цього моменту. Так, наприклад, покращились значення кутових швидкостей ротора двигуна на

2,0%, відхилення вантажу на 9,3%, а також кутових пришвидшень ротора двигуна на 65%, поворотної частини крана на 59% та відхилення вантажу на 30%.

Разом з тим, такі показники як максимальні значення моментів на валу двигуна та в приводному механізмі, а також потужності двигуна практично є ідентичними при обох оптимальних режимах руху механізму повороту. Відхилення цих показників знаходиться в межах 1,1%...2,6%.

З отриманого аналізу можна зробити висновок, що практично за всіма показниками оптимізація режиму пуску механізму повороту стрілового крана за критерієм середньоквадратичного значення пришвидшення зміни пружного моменту в приводному механізмі має переваги перед оптимізацією за критерієм середньоквадратичного значення швидкості зміни моменту в приводі. Деякі з показників оцінки режимів руху є рівнозначними. До цих показників відносяться як максимальні, так і середньоквадратичні значення силових та енергетичних характеристик.

Наведені фазові портрети (рис. 6) показують, що контури фазових траєкторій як першого, так і другого оптимальних режимів руху є замкненими, що вказує на відсутність коливань в елементах приводу та вантажу на гнучкому підвісі після процесів пуску.

### Висновки

1. В результаті динамічного аналізу механізму повороту стрілового крана встановлено, що в елементах приводу та металоконструкцій з вантажем на гнучкому підвісі під час процесу пуску виникають динамічні навантаження, які значно перевищують навантаження в процесі усталеного руху.

2. Для зменшення динамічних навантажень в елементах приводу та металоконструкцій проведено оптимізацію режиму руху в процесі пуску за інтегральними динамічними критеріями (середньоквадратичними значеннями швидкості та пришвидшення зміни пружного моменту в приводному механізмі). Проведена оптимізація дозволила усунути коливання в елементах приводу та вантажу на гнучкому підвісі, а також значно зменшити величину навантажень.

3. Проведено порівняльний аналіз оптимальних режимів руху за критеріями середньоквадратичних значень швидкості та пришвидшення зміни пружного моменту приводу. З проведеного аналізу встановлено, що кожний з оптимальних режимів руху значно зменшує динамічні навантаження в елементах приводу та конструкції крана в порівнянні зі звичайним «ручним» керуванням. З двох оптимальних режимів руху в процесі пуску слід віддати перевагу режиму руху за критерієм середньоквадратичного значення пришвидшення зміни моменту в приводі, оскільки практично усі кінематичні, силові та енергетичні характеристики є кращими в порівнянні з режимом за критерієм середньоквадратичного значення швидкості зміни моменту в приводі.

### Список літератури

1. Ловейкін В.С., Пилипака С.Ф., Кадикало І.О. Динамічний аналіз механізму повороту стрілового крана. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. Київ. 2017. Вип. 258. С. 192–202.
2. Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Мельниченко В.В. Аналіз коливань вантажу на гнучкому підвісі при повороті стріли вантажопідйомного крана. *Підйомно – транспортна техніка*. 2013. №4(40). С. 4 – 16.
3. Григоров О.В., Петренко О.В. Вантажопідйомні машини: навч. посібник. Х. НТУ „ХПІ”. 2006. 304 с.
4. Stanišić, M.M. On a new theory of the dynamic behavior of the structures carrying moving masses. *Ingenieur-Archiv*. 1985. vol. 55(3). P. 176-185. DOI:10.1007/bf00536412.
5. Tanizumi, K., Hino, J., Yoshimura, T., & Sakai, T. Modelling of Dynamic Behavior and Control of Truck Cranes. (Modelling of Dynamic Behavior of Truck Cranes with Hydraulic System in Swing Operation). *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series C*. 1994. vol. 60(572). P. 1262–1269. DOI: 10.1299/kikaic.60.1262.
6. Lee, H.P. Dynamic response of a beam with a moving mass. *Journal of Sound and Vibration*. 1996. vol. 191(2). P. 289-294. DOI: 10.1006/jsvi.1996.0122.
7. Oguamanam, D.C.D., Hansen, J.S., & Heppler, G.R. Dynamics of a three-dimensional overhead crane system. *Journal of Sound and Vibration*. 2001. vol. 242(3). P. 411-426. DOI: 10.1006/jsvi.2000.3375.
8. Sun, G., & Kleeberger, M. Dynamic responses of hydraulic mobile crane with consideration of the drive system. *Mechanism and Machine Theory*. 2003. vol. 38(12). P. 1489-1508. DOI: 10.1016/s0094-114x(03)00099-5.
9. Campara, T., Bukvic, H., Sprečic, D. Ability to Control Swinging of Payload during the Movement of the Rotary Cranes Mechanism. *4th International Conference on Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems*. Kaunas Univ Technol Panevezys Inst. Kaunas. LITHUANIA. 2009. P. 52-55.
10. Аварійна ситуація <https://ua.korrespondent.net/world/3625450-u-tsentri-nui-yorka-vpav-kran-ye-zhertvy#13>. (дата звернення 19.03.2019).
11. Аварійна ситуація <https://ua.korrespondent.net/world/russia/3917077-u-moskvi-vpav-20-metrovyi-bashtovyi-kran>. (дата звернення 19.03.2019).
12. Аварійна ситуація <https://ua.korrespondent.net/tag/5912/>. (дата звернення 19.03.2019).
13. Аварійна ситуація <https://ua.korrespondent.net/ukraine/3934788-na-prykarpatti-kran-vpav-na-vantazhivku-ye-zhertvy>. (дата звернення 19.03.2019).
14. Sakawa, Y., Shindo, Y., & Hashimoto, Y. Optimal control of a rotary crane. *Journal of Optimization Theory*

and Applications. 1981. vol. 35(4). P. 535-557. DOI: 10.1007/bf00934931.

15. Qian, Y., & Fang, Y. Switching Logic-Based Nonlinear Feedback Control of Offshore Ship-Mounted Tower Cranes: A Disturbance Observer-Based Approach. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2018. P. 1-12. DOI: 10.1109/tase.2018.2872621.

16. Golafshani, A.R., & Aplevich, J.D. Computation of time-optimal trajectories for tower cranes. *Proceedings of International Conference on Control Applications*. 1995. P. 1134-1139. DOI: 10.1109/cca.1995.555920.

17. Abdel-Rahman, E.M., & Nayfeh, A.H. Pendulation Reduction in Boom Cranes Using Cable Length Manipulation. *Nonlinear Dynamics*. 2002. vol. 27(3). P. 255-269. DOI: 10.1023/a:1014437225984.

18. Sakawa, Y., & Nakazumi, A. Modeling and Control of a Rotary Crane. *Journal of Dynamic Systems. Measurement. and Control*. 1985. vol. 107(3). P. 200. DOI: 10.1115/1.3140721.

19. Parker, G.G., Bird, J.D. Active damping and target tracking of a shipboard knuckle boom crane. *9th IASTED International Conference on Control and Applications*. Montrea. CANADA. 2007. P. 243-253.

20. Balachandran, B., Li, Y.-Y., & Fang, C.-C. A mechanical filter concept for control of non-linear crane-load oscillations. *Journal of Sound and Vibration*. 1999. vol. 228(3). P. 651-682. DOI: 10.1006/jsvi.1999.2440.

21. Ловеїкін В.С., Ромасевич Ю.О. Аналіз та синтез режимів руху механізмів вантажопідйомних машин. Монографія. Київ. ЦП «КОМПІІНТ». 2012. – 299 с.

22. Loveykin V.S., Mel'nichenko V.A. Optimizatsiya dinamicheskogo rezhima povorota strelovogo kрана. *Motrol*. 2013. Vol 15. №3. P. 70 – 75.

23. Ловеїкін В.С., Човнюк Ю.В., Кадикало І.О. Оптимізація режимів руху механізмів обертання вантажопідйомних кранів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК*. Київ. 2017. Вип. 262. С. 177–190.

24. Ловеїкін В.С., Ловеїкін Ю.В., Кадикало І.О. Оптимізація режиму руху механізму повороту стрілового крана за критерієм середньоквадратичного значення швидкості зміни пружного моменту в приводі. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК*. Київ. 2017. Вип. 275. С. 10–22.

25. Зубко Н.Ф. Прогнозирование коэффициентов динамичности в элементах крановых механизмов. *Вестник Одесского национального морского университета. Одесса*. ОНМУ. 2013. №2(38). С. 63 – 71.

26. Loveikin, V.S., Chovniuk, Yu.V., Liashko, A.P. The crane's vibrating systems controlled by mechatronic devices with magnetorheological fluid: the nonlinear mathematical model of behavior and optimization of work regimes. *Scientific bulletin of National Mining University Scientific and technical journal*. Dnipro. 2014. Vol. 6. P. 97-102.

27. Loveikin, V.S., Romasevych, Yu.O. Dynamic optimization of a mine winder acceleration mode.

*Scientific bulletin of National Mining University Scientific and technical journal*. Dnipro. 2017. Vol. 4. P. 55-61.

28. Sa, Y.H., Yi, K.Y., Kim, J.O. An attitude control and stabilization of an unstructured object using balancing beam, new construction machinery. *IEEE International Symposium On Industrial Electronics Proceedings*. Pusan. South Korea. 2001. Vols. I-III. P. 792-797.

29. Дьяконов В. П. *Mathematica 4.1/4.2/5.0 в математических и научно-технических расчетах*. М. СОЛОН – Пресс. 2004. 696 с.

## References

1. Loveikin, V.S., Pylypaka, S.F., Kadykalo, I.O. (2017). Dynamic analysis of the mechanism of rotation of the jib crane. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kiev. Vol. 258. 192-202.
2. Loveikin, V.S., Chovnyuk, Yu.V., Mel'nichenko, V.V. (2013). Analysis of the fluctuations of cargo on a flexible suspension when turning the boom of a load-lifting crane. *Hoisting and transport equipment*. 4(40). 4-16.
3. Grigorov, O.V., Petrenko, N.O. (2006). Hoisting machines: navch. posibnik. NTU „HPI”. 304.
4. Stanišić, M.M. (1985). On a new theory of the dynamic behavior of the structures carrying moving masses. *Ingenieur-Archiv*. 55(3). 176-185. DOI:10.1007/bf00536412.
5. Tanizumi, K., Hino, J., Yoshimura, T., & Sakai, T. (1994). Modelling of Dynamic Behavior and Control of Truck Cranes. (Modelling of Dynamic Behavior of Truck Cranes with Hydraulic System in Swing Operation). *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series C*. 60(572). 1262–1269. DOI: 10.1299/kikaic.60.1262.
6. Lee, H.P. (1996). Dynamic response of a beam with a moving mass. *Journal of Sound and Vibration*. 191(2). 289-294. DOI: 10.1006/jsvi.1996.0122.
7. Oguamanam, D.C.D., Hansen, J.S., & Heppler, G.R. (2001). Dynamics of a three-dimensional overhead crane system. *Journal of Sound and Vibration*. 242(3). 411-426. DOI: 10.1006/jsvi.2000.3375.
8. Sun, G., & Kleeberger, M. (2003). Dynamic responses of hydraulic mobile crane with consideration of the drive system. *Mechanism and Machine Theory*. 38(12). 1489-1508. DOI: 10.1016/s0094-114x(03)00099-5.
9. Campara, T., Bukvic, H., Sprečic, D. (2009). Ability to Control Swinging of Payload during the Movement of the Rotary Cranes Mechanism. 4th International Conference on Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems. Kaunas Univ Technol Panevezys Inst. Kaunas. LITHUANIA. 52-55.
10. Emergency situation <https://ua.korrespondent.net/tag/5912/>. (date of the review 19.03.2019).
11. Emergency situation <https://ua.korrespondent.net/world/3625450-u-tsentri-nui-yorka-vpav-kran-ye-zhertvy#13>. (date of the review 19.03.2019).

12. Emergency situation  
<https://ua.korrespondent.net/world/russia/3917077-u-moskvi-vpav-20-metrovyi-bashtovyi-kran>. (date of the review 19.03.2019).
13. Emergency situation  
<https://ua.korrespondent.net/ukraine/3934788-na-prykarpatti-kran-vpav-na-vantazhivku-ye-zhertvy>. (date of the review 19.03.2019).
14. Sakawa, Y., Shindo, Y., & Hashimoto, Y. (1981). Optimal control of a rotary crane. *Journal of Optimization Theory and Applications*. 35(4). 535-557. DOI: 10.1007/bf00934931.
15. Qian, Y., & Fang, Y. (2018). Switching Logic-Based Nonlinear Feedback Control of Offshore Ship-Mounted Tower Cranes: A Disturbance Observer-Based Approach. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 1-12. DOI: 10.1109/tase.2018.2872621.
16. Golafshani, A.R., & Aplevich, J.D. (1995). Computation of time-optimal trajectories for tower cranes. *Proceedings of International Conference on Control Applications*. 1134-1139. DOI: 10.1109/cca.1995.555920.
17. Abdel-Rahman, E.M., & Nayfeh, A.H. (2002). Pendulation Reduction in Boom Cranes Using Cable Length Manipulation. *Nonlinear Dynamics*. 27(3). 255-269. DOI: 10.1023/a:1014437225984.
18. Sakawa, Y., & Nakazumi, A. (1985). Modeling and Control of a Rotary Crane. *Journal of Dynamic Systems. Measurement. and Control*. 107(3). 200. DOI: 10.1115/1.3140721.
19. Parker, G.G., Bird, J.D. (2007). Active damping and target tracking of a shipboard knuckle boom crane. 9th IASTED International Conference on Control and Applications. Montrea. CANADA. 243-253.
20. Balachandran, B., Li, Y.-Y., & Fang, C.-C. (1999). A mechanical filter concept for control of nonlinear crane-load oscillations. *Journal of Sound and Vibration*. 228(3). 651-682. DOI: 10.1006/jsvi.1999.2440.
21. Loveikin, V.S., Romasevych, Yu.O. (2012). Analysis and synthesis of modes of movement of mechanisms of load-lifting machines. *Kiev. CP «KOMPRINT»*. 299.
22. Loveikin, V.S., Mel'nichenko, V.A. (2013). Optimization of the dynamic rotation mode of the boom. *Motrol*. Vol. 15 (3). 70-75.
23. Loveikin, V.S., Chovnyuk, Yu.V., Kadykalo, I.O. (2017). Optimization of modes of movement of rotating mechanism of cranes. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kiev. Vol. 262. 177-190.
24. Loveikin, V.S., Loveikin, Yu.V., Kadykalo, I.O. (2017). Optimization of mode of movement of rotation mechanism of illicit small tap on criterion of RMS value of rate of change of elastic torque in drive. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kiev. Vol. 275. 10-22.
25. Zubko, N.F. (2013). Prediction of dynamic coefficients in elements of crane mechanisms. *Bulletin of the Odessa National Maritime University*. 2(38). 63 – 71.
26. Loveikin, V.S., Chovniuk, Yu.V., Liashko, A.P. (2014). The crane's vibrating systems controlled by mechatronic devices with magnetorheological fluid: the nonlinear mathematical model of behavior and optimization of work regimes. *Scientific bulletin of National Mining University Scientific and technical journal. Dnipro*. Vol. 6. 97-102.
27. Loveikin, V.S., Romasevych, Yu.O. (2017). Dynamic optimization of a mine winder acceleration mode. *Scientific bulletin of National Mining University Scientific and technical journal. Dnipro*. Vol. 4. 55-61.
28. Sa, Y.H., Yi, K.Y., Kim, J.O. (2001). An attitude control and stabilization of an unstructured object using balancing beam, new construction machinery. *IEEE International Symposium On Industrial Electronics Proceedings*. Pusan. South Korea. Vols. I-III. 792-797.
29. D'yakonov, V.P. (2004). *Mathematica 4.1 / 4.2 / 5.0 in mathematical and scientific-technical calculations*. SOLON – Press. 696.

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПОВОРОТА  
СТРЕЛОВОГО КРАНА ПО КРИТЕРІЮ  
СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ  
УСКОРЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УСИЛИЯ В  
ПРИВОДНОМ МЕХАНИЗМЕ

В. С. Ловеikin, Ю. А. Ромасевич, А. В. Ловеikin,  
И. А. Кадьяло

**Аннотация.** На основе предыдущего динамического анализа выявлено, что во время работы механизма поворота башенного крана возникают колебания груза и значительные динамические нагрузки в элементах конструкции и привода. Эти явления возникают во время переходных режимов движения (пуска и торможения). Для их минимизации проведена оптимизация процесса пуска по определенному оптимизационному критерию. В данной статье решена задача оптимизации режима поворота стрелового крана по критерию среднеекватрического значения ускорения изменения усилия в приводном механизме. Решение вариационной задачи полученный в виде функциональных зависимостей режима движения отдельных звеньев механизма поворота башенного крана, который представлен в графическом виде.

Полученные законы движения по критерию среднеекватрического значения ускорения изменения усилия в приводном механизме (режим 2) имеют значительные преимущества по сравнению с законами движения по критерию среднеекватрического значения скорости изменения упругого момента в приводном механизме (режим 1). В результате проведенного анализа было выявлено, что при режиме 2 максимальные и среднеекватрические значения большинства кинематических и силовых характеристик принимают меньшие значения по сравнению с режимом 1, по некоторым показателям эти параметры равнозначны. Однако характер изменения этих показателей при режиме 2 имеет плавный вид. Полученный оптимальный режим движения механизма поворота крана позволяет устранить колебания груза на гибком подвесе при работе механизма поворота, а также

уменьшить динамические нагрузки в приводе и металлоконструкции крана.

Следует отметить, что использование оптимальных законов движения позволяет значительно повысить надежность и производительность работы крана и уменьшить аварийные ситуации при выполнении разгрузочно-погрузочных операций. Реализация полученных оптимальных режимов движения осуществляется с помощью мехатронных устройств системы управления приводным механизмом.

**Ключевые слова:** башенный / стреловой кран, механизм поворота, груз, вращение, динамические нагрузки, оптимизация, минимизация, критерий, усилия, колебания, упругий момент, изменение скорости, ускорения, оптимальное управление.

#### OPTIMIZING THE MODE OF SWING OPERATION OF JIB CRANE IS SOLVED BY CRITERION OF RMS VALUE OF ACCELERATION OF CHANGE IN FORCE IN DRIVE MECHANISM

*V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, A. V. Loveikin, I. O. Kadykalo*

**Abstract.** Based on the previous dynamic analysis, it was discovered that during the operation of the rotation mechanism of the tower crane, there are fluctuations of the load and significant dynamic loads in the elements of the structure and drive. These phenomena arise during the transitive modes of motion (starting and braking). For their minimization, the optimization of the start-up process was performed according to a certain optimization criterion. In this article, the problem of optimizing the mode of rotation of the jib crane is solved by the criterion of the RMS (root mean-square) value of acceleration of the change in force in the drive mechanism. The solution of the variational problem is obtained in the form of functional dependencies of the motion mode of individual parts of the rotation mechanism of a tower crane and is presented in graphical form.

The obtained laws of motion according to the criterion of the RMS value of acceleration of the change in force in the drive mechanism (mode 2) have significant advantages compared to the laws of motion based on the criterion of the RMS value of the rate of change of the elastic moment in the drive mechanism (mode 1). As a result of the analysis, it was found that under mode 2, the maximum and RMS values of most kinematic and power characteristics have less values than under mode 1, for some indicators these parameters are equivalent. However, the nature of the change of these indicators under mode 2 is smooth. The obtained optimal mode of motion of the rotation mechanism of a crane allows to eliminate the fluctuations of the load on the flexible suspension during the rotation mechanism operation, as well as to reduce the dynamic loads in the drive and metal framework of a crane.

It should be noted that the use of optimal laws of motion makes it possible to significantly increase the reliability and performance of the crane operation and reduce emergencies during loading and unloading procedures. The realization of the optimal modes of

motion is achieved with the help of the mechatronic devices of the control system of the drive mechanism.

**Key words:** tower / jib crane, rotation mechanism, load, rotation, dynamic load, optimization, minimization, criterion, force, oscillation, elastic moment, speed change, acceleration, optimal control.

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

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

**А. С. Ловеikin** ORCID 0000-0003-4259-3900.

**I. О. Кадикало** ORCID 0000-0001-8217-866X.

УДК 514.18

## ТРАНСПОРТУВАННЯ ЧАСТИНКИ ГОРИЗОНТАЛЬНИМ ШНЕКОМ, ОБМЕЖЕНИМ СПІВВІСНИМ НЕРУХОМОМ ЦИЛІНДРОМ

Т. А. Кресан<sup>1</sup>, С. Ф. Пилипака<sup>1</sup>, В. М. Бабка<sup>1</sup>, Я. С. Кремець<sup>1</sup>, М. Б. Клендій<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

<sup>2</sup>Відокремлений підрозділ «Бережанський агротехнічний інститут» Національного університету біоресурсів і природокористування України, Україна.

*Стаття з спеціальності: 131 – прикладна механіка.*

*Кореспонденція авторів: tanyakresan@i.ua.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 8, рис. 3, табл. 0.*

**Анотація.** В статті розглянуто транспортування технологічного матеріалу горизонтальним шнеком на прикладі окремої частинки. Шнеком є поверхня гвинтового коноїда або прямого закритого гелікоїда. Шнек обертається навколо своєї осі всередині нерухомого співвісного циліндричного кожуха. Частинка одночасно контактує з рухомою і нерухомою поверхнями. Спільною лінією цих поверхонь, вздовж якої змушена рухатися частинка під час обертання шнека, є гвинтова лінія – зовнішня крайка шнека. В статті прийнято припущення, що частинка весь час перебуває на цій лінії. Гвинтова лінія обертається разом із шнеком, а частинка ковзає одночасно по ній і по циліндричному кожуху, тобто здійснює складний рух. Сума відносно-го руху частинки (ковзання по гвинтовій лінії) і обертального руху гвинтової лінії дають абсолютну траєкторію.

Наведено параметричні рівняння абсолютної траєкторії у функції часу, в яких невідомою залежністю є закон ковзання частинки по гвинтовій лінії. Послідовним диференціюванням знайдено швидкість і прискорення абсолютного руху. Знайдено напрям прикладених сил, до яких відноситься вага частинки, реакція поверхонь шнека і циліндричного кожуха, сили тертя частинки при ковзанні по цих поверхнях. Складено систему диференціальних рівнянь, яку розв'язано чисельними методами. Показано, що абсолютною траєкторією переміщення частинки після стабілізації руху є прямолінійна твірна циліндра, яка розташована вище від найнижчої його твірної. З'ясовано вплив коефіцієнтів тертя і конструктивних параметрів обмежуючого циліндра та шнека на абсолютну траєкторію переміщення частинки. Побудовано абсолютні траєкторії руху частинки у функції часу.

Після перехідного періоду настає стабілізація руху частинки із сталими кінематичними параметрами. Для цього випадку знайдено аналітичні вирази для визначення цих параметрів. Показано, що у випадку абсолютно гладенької поверхні циліндричного кожуха частинка буде рухатися вздовж його найнижчої прямолінійної твірної. На поверхні циліндричного

кожуха побудовано абсолютні траєкторії частинки для різних коефіцієнтів її тертя по поверхні кожуха. Показано, що по мірі збільшення коефіцієнта тертя висота розташування цієї траєкторії теж збільшується.

**Ключові слова:** частинка, відносний рух, горизонтальний шнек, кутова швидкість обертання, циліндричний кожух, диференціальні рівняння, кінематичні параметри.

### Постановка проблеми

Гвинтова поверхня є універсальним конструктивним елементом багатьох машин. Найбільш поширеною є поверхня гвинтового коноїда, яка в техніці носить назву шнека. Вона широко застосовується у гвинтових конвеєрах для транспортування технологічного матеріалу. Важливим є вивчення руху частинок матеріалу по поверхні шнека, який обертається навколо власної осі. В праці [1] розглянуто їх рух по вертикальному шнеку від осі обертання до зустрічі із обмежувальним циліндром. Транспортування частинок вгору відбувається після зіткнення них із обмежувальним циліндричним кожухом. В даній статті досліджується рух частинки при взаємодії із двома поверхнями: поверхнею рухомого горизонтального шнека і нерухомого співвісного циліндричного кожуха.

### Аналіз останніх досліджень

В працях [2 - 4] розглянуто рух матеріальної частинки по нерухомій гвинтовій поверхні із вертикальною віссю. Дослідження проведено стосовно сепарації сільськогосподарських матеріалів, що мають різний коефіцієнт тертя. Рух частинок по косому і розгортному гелікоїдах розглянуто в працях [5, 6], причому диференціальні рівняння руху частинок складено в проєкціях на орти тригранника Френе, який є супровідним для траєкторії. Рух частинки по під дією сили власної ваги по гвинтовому коноїду, обмеженому

вертикальним шорстким циліндром, розглянуто в праці [7]. Ґрунтовному дослідженню транспортування частинки гвинтовим коноїдом, який обертається всередині співвісного циліндричного кожуха, присвячено працю [8].

### Мета досліджень

Дослідити закономірності руху матеріальних частинок при їх взаємодії із поверхнею горизонтального шнека, що обертається навколо своєї осі, та нерухомого співвісного циліндричного кожуха.

### Результати досліджень

В праці [7] розглянуто рух частинки по поверхні нерухомого вертикального гвинтового коноїда під дією сили власної ваги. Оскільки траєкторія руху частинки є криволінійною, то виникає відцентрова сила, яка змушує частинку віддалятися від осі. В праці [9] досліджено відносний рух частинки по поверхні вертикального гвинтового коноїда, який обертається навколо своєї осі. Коноїд обмежено співвісним циліндричним кожухом, з яким зустрічається частинка при відносному русі від осі поверхні. Спільною лінією коноїда і кожуха (тобто лінією їх перетину) є гвинтова лінія. Частинка ковзає по цій гвинтовій лінії, маючи одночасний контакт із поверхнею коноїда (шнека) і циліндричного кожуха. Ковзання частинки розглянуто після стабілізації руху, тобто без розгляду перехідного процесу. Параметричні рівняння гвинтової лінії із вертикальною віссю мають вигляд [9]:

$$x = R \cos \alpha; \quad y = R \sin \alpha; \quad z = R \alpha \operatorname{tg} \beta, \quad (1)$$

де  $R$  – радіус обмежуючого циліндра – стала величина;  $\beta$  – кут підйому гвинтової лінії – стала величина;  $\alpha$  – кут повороту точки гвинтової лінії навколо її осі – незалежна змінна.

Через гвинтову лінію (1) проходить дві поверхні: гвинтовий коноїд (шнек) і циліндр. При контакті частинки із цими поверхнями виникають сили реакції, спрямовані по нормалі до них. Щоб знати напрям цих нормалей, потрібно мати рівняння поверхонь.

Поверхня шнека утворена множиною прямолінійних твірних, паралельних до горизонтальної площини, один кінець яких проходить через гвинтову лінію (1), а другий спрямований до осі шнека (рис. 1,а). Виходячи із способу утворення шнека, запишемо його параметричні рівняння:

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

де  $u$  – довжина прямолінійної твірної шнека – друга незалежна змінна поверхні.

Відлік довжини твірної починається від гвинтової лінії. При  $u=R-r$ , де  $r$  – радіус вала шнека, поверхня буде обмежена двома гвинтовими лініями (рис. 1,а). При  $u=0$  отримаємо параметричні рівняння гвинтової лінії (1). Щоб рівняння поверхні відрізнялися від рівнянь лінії, будемо позначати їх строчними літерами для лінії і прописними для поверхні.

Складемо математичну модель переміщення частинки горизонтальним шнеком, який обертається навколо своєї осі і обмежений співвісним циліндричним кожухом. Повернемо поверхню шнека (2) навколо осі  $OY$  на кут  $90^\circ$ . Після такого повороту параметричні рівняння поверхні шнека запишуться:

$$\begin{aligned} X &= R \alpha \operatorname{tg} \beta; \\ Y &= (R - u) \sin \alpha; \\ Z &= -(R - u) \cos \alpha. \end{aligned} \quad (3)$$

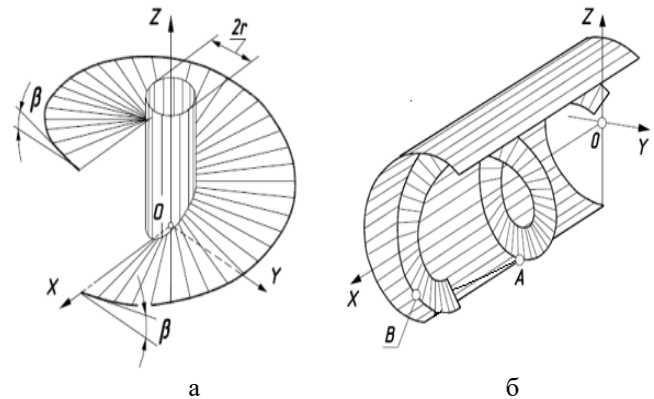


Рис. 1. Графічні ілюстрації із зображенням поверхні шнека та циліндричного кожуха:

а) один виток поверхні вертикального шнека, обмежений зовнішньою крайкою – гвинтовою лінією із кутом підйому  $\beta$ ;

б) горизонтальний шнек всередині співвісного циліндра

Fig. 1. Graphic illustrations depicting the surface of the auger and cylindrical casing:

a) one turn of the surface of the vertical auger, bounded by the outer edge - a screw line with an angle of rise  $\beta$ ;

b) horizontal auger inside the coaxial cylinder

Поверхню горизонтального шнека, описаного рівняннями (3), без внутрішнього вала, всередині циліндричного кожуха, зображено на рис. 1,б.

При  $u=0$  рівняння (3) опишуть гвинтову лінію – зовнішню крайку поверхні. Запишемо її рівняння:

$$x = R \alpha \operatorname{tg} \beta; \quad y = R \sin \alpha; \quad z = -R \cos \alpha. \quad (4)$$

Горизонтальний шнек обертається навколо своєї осі із кутовою швидкістю  $\omega$ . Частинка знаходиться на гвинтовій лінії (4), тобто одночасно перебуває в контакті із рухомою поверхнею шнека і нерухомою поверхнею циліндричного кожуха. Припустимо, що до початку обертання шнека частинка буде знаходитися на самій нижній твірній циліндра – в точці  $A$  (рис. 1,б). Під час обертання шнека вона може зміститися і піднятися по внутрішній поверхні циліндра на іншу його твірну (наприклад, в точку  $B$ , рис. 1,б). На рис. 2 зображено горизонтальний шнек із валом і обмежувачим циліндричним кожухом. Частинка знаходиться в точці  $B$ . До неї прикладені наступні сили: сила ваги  $mg$  ( $m$  – маса частинки,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння), реакція шнека  $N_u$ , спрямована вздовж нормалі до його поверхні, реакція  $N_n$  циліндра, спрямована вздовж нормалі до його поверхні (рис. 2). Прикладена ще сила тертя (на рис. 2 не показана).

Вона має дві складові: сила тертя по поверхні шнека  $F_{ш}$  і сила тертя по поверхні циліндра  $F_{ц}$ . Нехай частинка в абсолютному русі переміщується в напрямі осі  $OX$ , тоді сила тертя по поверхні шнека  $F_{ш}$  спрямована в протилежну сторону напрямку ковзання, а по поверхні циліндра  $F_{ц}$  – в протилежну сторону швидкості абсолютного руху. Вектори цих сил будуть дотичними відповідно до траєкторії відносного руху (гвинтової лінії, по якій частинка ковзає) і абсолютного руху (циліндричної лінії на кожусі, яка не показана). Їх напрям визначається математично. Вони знаходяться в спільній дотичній до циліндра площині і не лежать на одній прямій, оскільки між цими векторами існує певний кут.

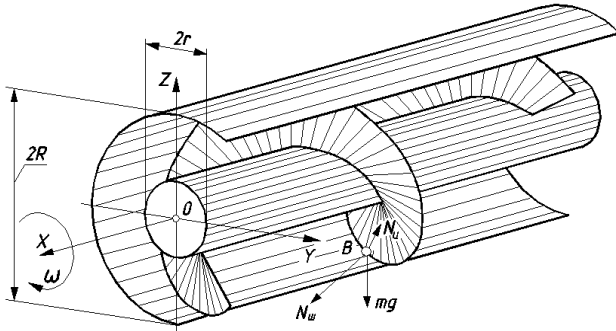


Рис. 2. Частинка в точці B з прикладеними до неї силами ваги і реакцій двох поверхонь – шнека і циліндричного кожуха

Fig. 2. The particle at point B with the applied forces of gravity and the reactions of two surfaces - auger and cylindrical casing

Складемо рівняння руху у вигляді  $m\bar{a} = \bar{F}$ , де  $m$  – маса частинки,  $\bar{a}$  – вектор абсолютного прискорення,  $\bar{F}$  – результуючий вектор прикладених до частинки сил. Векторне рівняння розпишемо в проекціях на осі координат  $OXYZ$ .

Частинка у відносному русі весь час перебуває на гвинтовій лінії (4), тобто на країці шнека. Якщо ми у рівняннях (4) прийемо змінну  $\alpha$  залежною від часу  $t$ , тобто  $\alpha = \alpha(t)$ , то ця внутрішня залежність задаватиме закон ковзання частинки по гвинтовій лінії, тобто закон відносного руху. Отже при цій умові рівняння (4) є рівняннями відносного руху.

Шнек обертається навколо своєї осі із кутовою швидкістю  $\omega$ . Напрямок обертання шнека вибирається так, щоб частинка при ковзанні по гвинтовій лінії могла в абсолютному русі переміщатися в напрямі осі  $OX$ . За час  $t$  він повернеться на кут  $\alpha_{ш} = \omega t$  і переміститься по гвинтовій лінії на певну відстань згідно рівнянь (4). Шнек обертається навколо своєї осі, отже обертається і його крайка – гвинтова лінія (4). Будемо обертати гвинтову лінію (4) навколо осі  $OX$  на кут  $\alpha_{ш} = \omega t$  за відомими формулами повороту:

$$\begin{aligned} x_a &= R \alpha \sin \beta; \\ y_a &= R \sin \alpha \cos(\omega t) + R \cos \alpha \sin(\omega t) = R \sin(\alpha + \omega t); \\ z_a &= R \sin \alpha \sin(\omega t) - R \cos \alpha \cos(\omega t) = -R \cos(\alpha + \omega t). \end{aligned} \quad (5)$$

Параметричні рівняння (5) враховують два повороти: на кут  $\alpha = \alpha(t)$  у відносному русі і на кут  $\alpha_{ш} = \omega t$  в переносному русі, отже вони є рівняннями абсолютного руху частинки.

Диференціюємо рівняння (5) по часу  $t$  і отримаємо проекції вектора абсолютної швидкості:

$$\begin{aligned} x'_a &= R \alpha' \sin \beta; \\ y'_a &= R(\alpha' + \omega) \cos(\alpha + \omega t); \\ z'_a &= R(\alpha' + \omega) \sin(\alpha + \omega t). \end{aligned} \quad (6)$$

Її величину знаходимо як геометричну суму проєкцій (6):

$$V_a = \sqrt{x'^2_a + y'^2_a + z'^2_a} = \frac{R}{\cos \beta} \sqrt{\omega(\omega + 2\alpha') \cos^2 \beta + \alpha'^2}. \quad (7)$$

Знайдемо проєкції одиничного вектора, який задає напрям абсолютної швидкості частинки, діленням виразів (6) на величину швидкості (7):

$$\begin{aligned} T_{Vax} &= \frac{\alpha' \sin \beta}{A}; \\ T_{Vay} &= \frac{(\alpha' + \omega) \cos(\alpha + \omega t) \cos \beta}{A}; \\ T_{Vaz} &= \frac{(\alpha' + \omega) \sin(\alpha + \omega t) \cos \beta}{A}, \end{aligned} \quad (8)$$

де  $A = \sqrt{\omega(\omega + 2\alpha') \cos^2 \beta + \alpha'^2}$ .

Диференціюванням рівнянь (6) отримаємо проєкції абсолютного прискорення  $w$  частинки:

$$\begin{aligned} x''_a &= R \alpha'' \sin \beta; \\ y''_a &= R \alpha'' \cos(\alpha + \omega t) - R(\alpha' + \omega)^2 \sin(\alpha + \omega t); \\ z''_a &= R \alpha'' \sin(\alpha + \omega t) + R(\alpha' + \omega)^2 \cos(\alpha + \omega t). \end{aligned} \quad (9)$$

Щоб розписати векторне рівняння  $m\bar{a} = \bar{F}$  в проєкціях на осі системи координат  $OXYZ$ , потрібно визначити напрям дії сил, показаних на рис. 2. Для однієї сили – сили тертя  $F_{ц}$  – напрям дії знайдено у вигляді одиничного напрямного вектора (8), причому слід мати на увазі, що дія сили  $F_{ц}$  спрямована в протилежну сторону цього вектора, тобто в протилежну сторону напрямку абсолютної швидкості. Знайдемо напрям дії сили тертя  $F_{ш}$ , яка спрямована в протилежну сторону вектора відносної швидкості. Проєкції цього вектора знаходимо диференціюванням рівнянь (4):

$$\begin{aligned} x' &= R \alpha' \sin \beta; \\ y' &= R \alpha' \cos \alpha; \\ z' &= R \alpha' \sin \alpha. \end{aligned} \quad (10)$$

Знаходимо величину відносної швидкості руху частинки:

$$V = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} = \frac{R \alpha'}{\cos \beta}. \quad (11)$$

Проєкції одиничного напрямного вектора відносної швидкості знайдемо діленням проєкцій (10) цієї швидкості на її абсолютну величину (11):

$$T_{Vx} = \sin \beta; \quad T_{Vy} = \cos \beta \cos \alpha; \quad T_{Vz} = \cos \beta \sin \alpha. \quad (12)$$

Проєкції вектора (12) записані без врахування обертального руху гвинтової лінії. Ми всі сили проєкціюємо на нерухому систему координат  $OXYZ$ . Для того, щоб сила  $F_{ш}$  була прикладена в точці знаходження частинки, проєкції (12) потрібно повернути на кут  $\alpha_{ш} = \omega t$  навколо осі  $OX$ . Після цього вони набудуть вигляду:

$$T_v = \{\sin \beta; \cos \beta \cos(\alpha + \omega t); \cos \beta \sin(\alpha + \omega t)\}. \quad (13)$$

Знайдемо напрям дії сил реакції поверхонь шнека і циліндричного кожуха.

Підставимо в (21) вирази абсолютного прискорення із (9) і отримаємо систему трьох диференціальних рівнянь із трьома невідомими функціями:  $\alpha = \alpha(t)$ ,  $N_w = N_w(t)$  і  $N_y = N_y(t)$ . Розв'яжемо систему відносно  $\alpha''$ ,  $N_w$ ,  $N_y$ :

Диференціальне рівняння (22) було розв'язане чисельними методами. На рис. 3 побудовано абсолютні траєкторії руху частинки на поверхні циліндричного кожуха при різних значеннях коефіцієнта тертя  $f_u$ . Аналіз рис. 3 вказує на те, що після стабілізації руху абсолютною траєкторією частинки є пряма – прямолінійна твірна циліндричного кожуха. По мірі збільшення коефіцієнта тертя  $f_u$  висота розташування цієї траєкторії теж збільшується. Розташування прямої траєкторії, до якої в абсолютному русі прямує частинка, зручно оцінювати кутом  $\varphi$  відхилення від нижньої точки цього перерізу, тобто від початкового положення частинки до положення після стабілізації руху. Значення цього кута  $\varphi$  можна знайти аналітично. Після стабілізації руху координата  $z$  абсолютної траєкторії є сталою величиною. Згідно останнього рівняння (5) це можливо, коли  $\omega t + \alpha = \varphi = \text{const}$ . Звідси  $\alpha = \varphi - \omega t$ ,  $\alpha' = -\omega$ ,  $\alpha'' = 0$ . Підставимо ці значення в (22) і отримаємо рівняння відносно невідомого кута  $\varphi$ . Його розв'язком буде наступний вираз:

$$\varphi = \text{Arc cos} \frac{R(\cos \beta - f_u \sin \beta)}{\sqrt{A}}, \quad (25)$$

де

$$A = f_u \sin 2\beta (f_u^2 \cos^2 \beta - R^2) + f_u^2 \cos^2 \beta (f_u^2 \cos^2 \beta + \sin^2 \beta) + R^2 (\cos^2 \beta + f_u^2 \sin^2 \beta).$$

За формулою (25) можна знаходити значення кута  $\varphi$  відхилення частинки навколо осі циліндричного кожуха. Величина цього кута залежить від конструктивних параметрів шнека і кожуха і не залежить від кутової швидкості обертання шнека. Наприклад, для коефіцієнтів тертя  $f_u$ , зазначених на рис. 3 і при заданих інших параметрах, після перерахунку радіанної міри в градусну, отримаємо: для  $f_u = 0,3$  кут  $\varphi = 64,5^\circ$ . Для значень  $f_u$  0,2 і 0,1 кут  $\varphi$  становить  $54,5^\circ$  і  $35^\circ$  відповідно. Якщо ж  $f_u = 0$ , тобто поверхня циліндричного кожуха є абсолютно гладенька, то кут  $\varphi = 0$ . В такому випадку транспортування частинки відбувається по нижній прямолінійній твірній циліндричного кожуха незалежно від значень всіх інших параметрів.

## Висновки

Переміщення частинки під дією горизонтального шнека, який обертається всередині співвісного циліндричного кожуха, можна умовно розділити на два етапи. Під час першого етапу відбувається перехідний процес переміщення частинки з нижньої точки циліндричного кожуха вздовж його осі з одночасним підйомом вгору. На другому етапі процес транспортування частинки відбувається в стаціонарному режимі. Частинка рухається вздовж прямолінійної твірної циліндричного кожуха на певній висоті від нижньої твірної. Кут відхилення цієї твірної від нижньої твірної циліндра не залежить від кутової швидкості обертання шнека. На нього впливають коефіцієнти тертя і конструктивні параметри кожуха і шнека. Визначальним є вплив коефіцієнта тертя частинки по циліндричному кожуху. Якщо цей коефіцієнт дорівнює нулю, тобто поверхня кожуха є абсолютно гладенька, то переміщення частинки відбувається вздовж самої нижньої твірної циліндричного кожуха.

## Список літератури

1. Pylypaka S.F., Babka V.M., Grischenko I.Yu., Kresan T.A. Mathematical model of moving particles with a vertical auger in stationary mode. *Machinery & Energetics*. 2018, Vol. 9, No. 4, 271. P. 50 -58.
2. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев. УАСХН. 1960. 283 с.
3. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики. Киев. Изд-во УСХА, 1992. 507 с.
4. Сысоев Н.И. Теоретические основы и расчет сортировки "Змейка". *Сельхозмашина*. 1949. № 8. С.5 – 8.
5. Войтюк Д.Г., Пилипак С.Ф. Знаходження траєкторії руху матеріальної точки по гравітаційній розгортній поверхні на прикладі розгортного гелікоїда. *Механізація і енергетика сільського господарства. IV Міжнародна науково-технічна конференція MOTROL-2003*. Київ. НАУ. 2003. Том 6. С. 113 - 126.
6. Войтюк Д.Г., Лінник М.К., Пилипак С.Ф. Дослідження руху матеріальної частинки по поверхні косоного гелікоїда під дією сили власної ваги. *Техніка АПК*. 2006. № 12. С 17 – 22.
7. Пилипак С.Ф., Клендій М.Б., Кресан Т.А. Рух частинки по гвинтовому коноїду, обмеженому вертикальним шорстким циліндром. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон. 2018. № 4 (67). С. 20 – 30.
8. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. Москва. Машиностроение, 1972. 218 с.

## References

1. Pylypaka S.F., Babka V.M., Grischenko I.Yu., Kresan T.A. (2018). Mathematical model of moving particles with a vertical auger in stationary mode. *Machinery & Energetics*. Vol. 9, No. 4, 271, 50-58.
2. Vasilenko P.M. (1960). The theory of particle motion on the rough surfaces of agricultural machines. Kiev: UASHN, 283.
3. Zaika P.M. (1992). Selected tasks of agricultural mechanics. Kiev: USHA Publishing House, 507.
4. Sysoev N.I. (1949). Theoretical foundations and the calculation of sorting "Snake". *Agricultural machine*. No. 8, 5-8.
5. Voituk D.G., Pylypaka S.F. (2003). Finding the trajectory of motion of a material point along the gravitational unfolding surface on the example of a unfolding helicoid. *Mechanization and energy of agriculture. IV MOTOR-2003 International Scientific and Technical Conference*. Kiev: NAU. Volume 6, 113-126.
6. Voituk DG, Linnik MK, Pylypaka S.F. (2006). Investigation of the movement of a material particle on the surface of an oblique helicoid under the action of self-weight. *APK technique*. № 12, 17 - 22.
7. Pylypaka S.F., Clendiy M.B., Kresan T.A. (2018). The movement of the particle on a screw conoid bounded by a vertical rough cylinder. *Bulletin of the Kherson National Technical University*. No. 4 (67), 20-30.

8. Grigoryev A.M. (1972). Screw conveyors. Moscow: Engineering, 218.

# ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ЧАСТИЦЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ШНЕКОМ, ОГРАНИЧЕННЫМ СООСНЫМ НЕПОДВИЖНЫМ ЦИЛИНДРОМ

Т. А. Кресан, С. Ф. Пилипака, В. М. Бабка,  
Я. С. Кремец, М. Б. Клендй

**Аннотация.** В статье рассмотрено транспортирование технологического материала горизонтальным шнеком на примере отдельной частицы. Шнеком является поверхность винтового коноида или прямого закрытого геликоида. Шнек вращается вокруг своей оси внутри неподвижного соосного цилиндрического кожуха. Частица одновременно контактирует с подвижной и неподвижной поверхностями. Общей линией этих поверхностей, вдоль которой вынуждена двигаться частица при вращении шнека, является винтовая линия – внешняя кромка шнека.

В статье принято предположение, что частица все время находится на этой линии. Винтовая линия вращается вместе с шнеком, а частица скользит одновременно по ней и по цилиндрическому кожуху, то есть осуществляет сложное движение. Сумма относительного движения частицы (скольжение по винтовой линии) и вращательного движения винтовой линии дают абсолютную траекторию.

Приведены параметрические уравнения абсолютной траектории в функции времени, в которых неизвестной зависимостью является закон скольжения частицы по винтовой линии. Последовательным дифференцированием найдено скорость и ускорение абсолютного движения. Найдено направление приложенных сил, к которым относится вес частицы, реакция поверхностей шнека и цилиндрического кожуха, силы трения частицы при скольжении по этим поверхностям. Составлено систему дифференциальных уравнений, которая решена численными методами. Показано, что абсолютной траекторией перемещения частицы после стабилизации движения является прямолинейная образующая цилиндра, которая расположена выше самой низкой его образующей. Выявлено влияние коэффициентов трения и конструктивных параметров ограничивающего цилиндра и шнека на абсолютную траекторию перемещения частицы. Построены абсолютные траектории движения частицы в функции времени.

После переходного периода наступает стабилизация движения частицы с постоянными кинематическими параметрами. Для этого случая найдены аналитические выражения для определения этих параметров. Показано, что в случае абсолютно гладкой поверхности цилиндрического кожуха частица будет двигаться вдоль его низшей прямолинейной образующей. На поверхности цилиндрического кожуха построены абсолютные траектории частицы для различных коэффициентов ее трения по поверхности кожуха. Показано, что по мере увеличения коэффициента трения высота расположения этой траектории тоже увеличивается.

**Ключевые слова:** частица, относительное движение, горизонтальный шнек, угловая скорость вра-

щения, цилиндрический кожух, дифференциальные уравнения, кинематические параметры.

# TRANSPORTATION OF PARTICLE WITH HORIZONTAL AUGER, LIMITED COAXIAL FIXED CYLINDER

T. A. Kresan, S. F. Pylypaka, V. M. Babka,  
Ya. S. Kremets, M. B. Klendiy

**Abstract.** The article deals with the transportation of process material with a horizontal auger on the example of a single particle. The auger is the surface of a screw conoid or straight closed helicoid. The auger rotates about its axis inside a fixed coaxial cylindrical casing. The particle simultaneously contacts the movable and fixed surfaces. The common line of these surfaces, along which the particle is forced to move during the rotation of the auger, is a screw line - the outer edge of the auger. The article assumes that the particle is on this line all the time. The screw line rotates with the auger, and the particle slides simultaneously on it and on the cylindrical casing, i.e. makes a complex movement. The sum of the relative motion of the particle (sliding along the screw line) and the rotational motion of the screw line give an absolute trajectory.

The parametric equations of the absolute trajectory in the function of time in which the law of slip of a particle along a screw line is unknown are provided. Sequential differentiation found the speed and acceleration of absolute motion. The direction of the applied forces, to which the weight of the particle, the reaction of the surfaces of the auger and the cylindrical casing, the forces of friction of the particle when sliding on these surfaces, are found. A system of differential equations is developed, which is solved by numerous methods. It is shown that the absolute trajectory of movement of a particle after stabilization of motion is a rectilinear creature of the cylinder, which is located higher than its lowest one. The influence of friction coefficients and design parameters of the limiting cylinder and auger on the absolute trajectory of particle displacement is investigated. Absolute trajectories of particle motion in function of time are constructed.

After the transition period, the motion of the particle with constant kinematic parameters comes to stabilize. In this case, analytical expressions were found to determine these parameters. It is shown that in the case of a perfectly smooth surface of the cylindrical casing, the particle will move along its lowest rectilinear creature. Absolute trajectories of the particle for different coefficients of friction along the surface of the cylindrical casing the casing are constructed. It is shown that as the coefficient of friction increases, the height of this trajectory also increases.

**Key words:** particle, relative motion, horizontal screw, angular velocity of rotation, cylindrical casing, differential equations, kinematic parameters.

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

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

В. М. Бабка ORCID 0000-0003-4971-4285.

Я. С. Кремец ORCID 0000-0003-0675-5757.

М. Б. Клендй ORCID 0000-0001-8271-5381.

УДК 669.1.017:669.15.194

## ПРО ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ДЕРЕВООБРОБКИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНІ РІЗАННЯ

О. Є. Семеновський, І. М. Кудрявський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

*Стаття з спеціальності: 131 – прикладна механіка.*

*Кореспонденція авторів: [semenovski@ukr.net](mailto:semenovski@ukr.net); [ihordino@gmail.com](mailto:ihordino@gmail.com).*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 21, рис. 8, табл. 2.*

**Анотація.** Аналіз явищ, що виникають в процесі обробки деревини різанням визначив необхідність проведення досліджень направлених на оптимізацію режимів виготовлення деталей меблевої галузі. При цьому особливу зацікавленість викликають недостатньо досліджені перехідні режими, з точки зору швидкості різання, що мають місце при обробленні складно профільних поверхонь відкритого та закритого типів, таких як прямокутні та фігурні пази, а також складнопрофільні та фасонні оздоблювальні деталі. При обробленні матеріалів різанням робота та тертя інструменту по заготовці зумовлює утворення та виділення значної кількості енергії у вигляді теплоти. Саме тому в наших дослідженнях особлива увага була приділена визначенню температур в зоні різання при обробці інструментом, що має різну шорсткість поверхонь. При обробленні деревини практично відсутні достовірні дані досліджень реального розподілення теплової енергії, що обумовлено незначною теплопровідністю деревини, а також складністю процесів вимірювання температури в зоні різання при обробленні багаторіздцевим інструментом. Проаналізувавши існуючі методики визначення температури в зоні різання та провівши ряд попередніх експериментів, в наших дослідженнях ми використовували методику визначення температур методом штучної термопари. За результатами дослідів побудовані графічні залежності. Це дозволило зробити висновок, що температура в зоні різання при деревообробці, від шорсткості поверхонь інструменту залежить більше, ніж від зусилля різання. Ступінь впливу цього фактору визначалось з побудованої графічної залежності температури, як функції шорсткості в логарифмічних координатах. Проведені дослідження дозволили ввести доповнення в імперичні рівняння, що застосовуються для визначення температури в зоні різання при обробці в інтервалі перехідних режимів різання. В роботі визначені дійсні значення температур леза інструменту за рахунок використання кольорів мінливості, що утворюються на поверхні в діапазоні максимально можливих температур при обробці деревини. Визначені температури, які викликають обуглювання оброблених поверхонь деревини. Отримані результати наочно показали, що при зменшенні тертя в зоні різання, за рахунок зниження шорсткості поверхні

інструменту, можливе зниження температури, що має позитивний вплив.

**Ключові слова:** температура, різання деревини, лезо інструменту, фрезерування, стружка, кольори мінливості, термопара, шорсткість, абразивна обробка.

### Постановка проблеми

Особливість процесу різання при деревообробці в тому, що теплостійкість матеріалу інструменту досить висока, а температура, при якій починаються незворотні процеси утворення на обробленій поверхні окислених прошарків, а потім і процеси горіння, тління - значно нижча і не перевищує 200°C.

При обробленні деревини практично відсутні дані досліджень реального розподілення теплової енергії, що обумовлено незначною теплопровідністю деревини, а також складністю процесів вимірювання температури в зоні різання при обробленні багаторіздцевим інструментом.

### Аналіз останніх досліджень

Деревина була першим конструкційним матеріалом. При виготовленні одного з перших людських знарядь – спису застосовувалась, як механічна обробка деревини – з метою надання відповідної форми, так і хіміко-термічна, при якій загострений кінець обпалювався у багатті і таким чином зміцнювався. На рис. 1. наведено фото спису виготовленого за декілька тисячоліть до н.е.

З появою ремесел деревина стала одним з основних конструкційних матеріалів для виготовлення прядильних, ткацьких, млинових, гончарних та інших верстатів. Її широко застосовували в вагоно-судно-авто- і авіабудуванні.

В нашій роботі основним завданням було дослідження процесів, що відбуваються при чистовій обробці деревини, кінцевим фасонним інструментом [1-4]. Такий вид оброблення застосовується в меблевій промисловості, де особливо важливо отримувати

поверхні, часто складно-профільні, з високою точністю та заданою шорсткістю.



**Рис. 1.** Спир який знайшли в середині мамонтових ребер.

**Fig. 1.** Spear which is found in the middle of mammoth ribs.

Провівши аналіз загальних основ та особливостей обробки деревини різанням, що відбувається при значних швидкостях (до 50...100 м/сек), в порівнянні з обробкою металів та сплавів, де швидкість режиму різання не перевищує -30...80 м/хв [1, 5, 6].

При обробленні матеріалів різанням робота та тертя інструменту по заготовці зумовлює утворення та виділення значної кількості енергії у вигляді теплоти.

Якщо при обробці металів та сплавів співвідношення розподілу теплової енергії загальновідомі, тобто в стружку виділяється (60...85 %) тепла, в інструмент (15...35%), а решта відповідно в заготовку і навколишнє середовище - (1...5%), (0,5...3 %), то процеси, які відбуваються при обробці деревини досліджені недостатньо. Особливо це стосується процесів фрезерування складно-профільних поверхонь та пазів. При цьому досліджувані режими різання займають проміжне положення зі швидкістю до 10 м/сек.

Одним з видів цього оброблення є фрезерування за профілем копіру. В процесі копіювання отримують фасонні деталі, що не є тілами обертання. Оброблення проводять кінцевими фрезами малого діаметра. Фрезерують рельєфні елементи та проводять скульптурне різьблення. При вибірці фасонних пазів, шипових гнізд, при скульптурних різьбових роботах і фасонних обробках бокових поверхонь деталей застосовуються фасонні інструменти. Процес різання поділяється на поглиблення фрези - свердління і переміщення її, або деталі в заданому напрямку перпендикулярно до осі фрези - процес фрезерування. Отже, ріжучі елементи фрези мають розташовуватися як на бічній поверхні, так і на торці фрези. При фрезеруванні пазів має місце зустрічна подача при вході різця в деревину і попутна при виході різця.

Міцність деревини зменшується зі збільшенням вологості від абсолютно сухого стану до точки насичення волокон. Міцність більш вологої деревини змінюється незначно. Зменшення тимчасового опору різанню зовсім не визначає відповідного зниження роботи різання, що витрачається на зняття поверхневого прошарку у вигляді стружки. Крім зміни величини напруження деформації, треба враховувати ще зміну величини деформації, яка значно більша у вологій деревині в порівнянні з сухою.

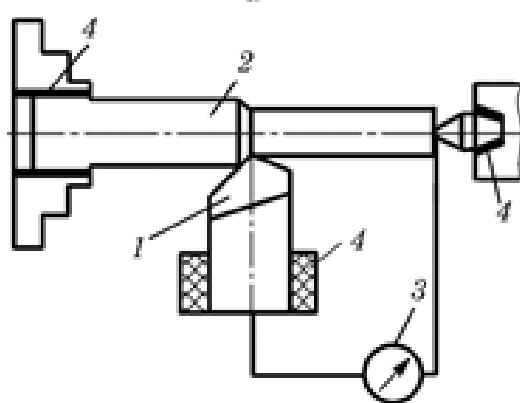
Зміна температури при деревообробці завжди залежить від багатьох факторів, наприклад від породи деревини, її фізико-механічних властивостей [7]. Зі збільшенням температури міцність деревини зменшується, але цей процес досліджений не достатньо [8, 9]. В літературі можна знайти дані, які описують особливості обробки замороженої деревини. Вплив вологості і температури на властивості деревини і її здатність оброблюватись різанням потребують подальших досліджень.

При обробленні деревини практично відсутні достовірні дані досліджень реального розподілення теплової енергії, що обумовлено незначною теплопровідністю деревини, а також складністю процесів вимірювання температури в зоні різання при обробленні багаторіздцевим інструментом.

Методи вимірювання температури поділяють на контактні і безконтактні. До контактних належать такі методи: калориметричний, термопар, термоопору, термоіндикаторів, волоконно-оптичний, кварцових термометрів, термотранзисторів, калориметричний. Безконтактні методи: інфрачервоних перетворювачів (інфрачервоні пірометри, тепловізори), ультразвукових термометрів [3-11].

Для вимірювання температур у процесі різання широко використовують термопари [1, 6]: штучні, напівштучні, природні.

При першому варіанті (рис. 2.) заготовка 2 і різець 1 ізолюються від верстата. Термострум спрямовується від різця 1 через заготовку 2, струмознімач на гальванометр 3. В двох інших варіантах різець ізолюється від верстата і через мілівольтметр з'єднується з корпусом верстата (наприклад, через піноль) або з деталлю (якомога ближче до зони різання) через ковзний контакт з графітового електроду.



**Рис. 2.** Метод природної однорізцевої термопари.  
**Fig. 2.** Odnoral method of natural thermocouple.

Хоча природна термопара дає можливість вимірювати температуру безпосередньо в зоні контакту ріжучої кромки інструменту та заготовки, що дає найбільш реальні результати, але цей метод неможливо застосовувати для діелектриків, яким є деревина.

Для вимірювання температури різальної кромки інструменту, в тому випадку коли заготовка не є провідником реально застосовувати метод комбінованого ножа. Тобто дві твердосплавні пластинки (із сплавів, що мають різну електропровідність) контактують між

собою по ріжучій кромці. Під дією температури різання між електродами виникає термоелектрорушійна сила, величину якої можна виміряти за допомогою мілівольметра. Перевагою даного методу є те, що можна виміряти температуру прямо в зоні різання, навіть для діелектричних матеріалів. До недоліків можна віднести нестабільність показів температури, при незначній зміні площі контакту під час роботи, або при регулюванні ножа, а також складність створення достатньо жорсткої системи.

Дуже цікаві результати отримані проф. Швердом за допомогою оптичного методу описані в роботі [10]. Він дає можливість вимірювати температуру на будь-якому відрізку стружки або різця [16-18].

Перевагою цього методу [19, 20] є те, що за його допомогою можна отримати уяву про температуру різних ділянок стружки та деталі (рис. 3).

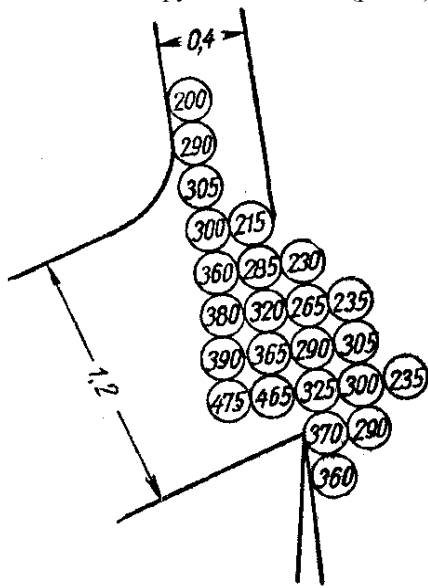


Рис. 3. Результати визначення температури в зоні різання оптичним методом.

Fig. 3. Results of determination of temperature in the cutting zone using an optical method.

На рисунку показано зміну температури на різних точках стружки та деталі. З рисунку видно що найбільша температура в стружці розміщена біля вершини різця.

Згідно цього самого рисунку температура деталі також значна. Так на відстані близько 0,5мм від оброблюваної поверхні температура деталі досягає 235°C.

Цей метод дозволяє детально вивчати температуру стружки та різця, але не отримав широкого розповсюдження через такі недоліки:

- 1) поява тонких окислів на поверхні стружки що спотворює показання приладу;
- 2) кріплення приладу на різці не зручне, а при кріпленні його поза межею різця, коливання останнього в процесі різання заважають вимірюванню температури фіксованої точки
- 3) складне тарування пристрою, оскільки теплота випромінювання залежить не тільки від температури нагрітої ділянки, а також від кольору та стану її поверхні. Шорстка поверхня стружки виділяє більше тепла ніж гладка тарована поверхня.

Досить складний також метод вимірювання температури за допомогою вбудованого електроду. Коли між половинками дерев'яної заготовки вклеюється фенольною смолою тонка (0,004-0,01 мм) алюмінієва фольга що виступає в ролі електроду. Нагрітий при різанні деревини зуб фрези, замикає ланцюг термоелектрорушійної сили. Термопара з вмонтованим електродом вимірює істинну або з невеликою похибкою температуру в зоні різання.

Для вимірювання температури непрямым шляхом використовують також метод фарб. При цьому методі використовується явище зміни кольору деяких фарб під дією температури.

В наших дослідженнях ми використовували аналогічний метод для контролю отриманих результатів за допомогою кольору окисних плівок на поверхні інструменту та заготовки.

### Результати досліджень

На практиці при обробці деревини теплота, яка зумовлює нагрівання заготовки майже не впливає на зміну її розмірів. Нагрівання різального інструменту знижує його зносостійкість і може спричинити зміну розмірів деталі через теплові деформації інструменту. В зоні різання інструмент може нагріватися до значних температур їх величина сягає 250...380°C і обмеження накладає теплостійкість матеріалу заготовки - деревини.

На температуру різання впливають властивості оброблюваного та інструментального матеріалів, елементи режиму різання, геометрія інструменту. Механізм впливу різних чинників на температуру різання зумовлений силами різання, тертям і умовами тепловідведення. Так, підвищення міцності, твердості й пластичності оброблюваного матеріалу збільшує, а збільшення його теплопровідності зменшує температуру в зоні різання.

Виходячи з положень теорії різання матеріалів [1, 4] із параметрів режиму деревообробки на температуру в зоні контакту інструменту і заготовки, найбільше впливає швидкість різання  $v$ , менше подача  $s$  і найменше глибина різання  $t$ . Крім цього, інтенсивність впливу падає зі збільшенням цих параметрів різання. Залежність температури різання від його режиму, отриману дослідним шляхом, виражають формулою:

$$\theta = C_{\theta} t^{x_{\theta}} s^{y_{\theta}} v^{n_{\theta}},$$

де:  $C_{\theta}$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу заготовки, матеріалу різця і умов різання;

$v$  – швидкість різання, м/хв;

$s$  – подача, мм/об;

$t$  – глибина різання, мм;

$x_{\theta}$ ,  $y_{\theta}$ ,  $n_{\theta}$  – показники степенів, що враховують вплив, відповідно,  $t$ ,  $s$ ,  $v$  на температуру в зоні різання.

В існуючу формулу було додатково введений ще один аргумент, який вказує на вплив на температуру в зоні різання шорсткості передньої поверхні інструменту. Зрозуміло, що саме шорсткість поверхонь визначає сили тертя, які в значній мірі впливають на темпе-

ратурні показники процесу різання при обробці деревини.

Саме тому в наших дослідженнях особлива увага була приділена визначенню температур в зоні різання при обробці інструментом, що має різну шорсткість поверхонь.

Проаналізувавши існуючі методики визначення температури в зоні різання та провівши ряд попередніх експериментів, в наших дослідженнях ми використовували методику визначення температур методом штучної термопари.

Метод штучної термопари (рис.4) забезпечує вимірювання температури різця біля різальної кромки. Для цього в отвір, який на 0,2...0,5 мм не доходить до передньої поверхні різця 1, вставляють термопару 5. До кінців термопари 5 підключають мілівольтметр 3, який і визначає електрорушійну силу. Термопара ізолюється трубкою 4.

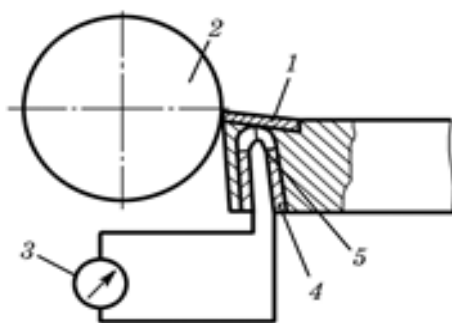


Рис. 4. Метод штучної термопари.

Fig. 4. Method of artificial thermocouple.

Значною перевагою цього методу є можливість використання стандартних термопар, які не потребують спеціального тарування. Недолік методу полягає у вимірюванні температури на певній глибині від контактних поверхонь інструменту, через що температура на 50...80 °С нижча від дійсної, але цю похибку в наших дослідженнях ми враховували за рахунок утворення кольорів мінливості на передній поверхні інструменту в інтервалі температур 200...300°С, що дозволяло досить точно коректувати отримані результати.

Тарування термопари (рис. 5) проводилось шляхом її витримки при різних температурах в муфельній печі та побудови за отриманими результатами графічної залежності –  $\theta = f(U)$ .

Особливість процесу різання при деревообробці в тому, що теплостійкість матеріалу інструменту (в нашому випадку сталь Р18 – 650 °С), досить висока, а температура, при якій починаються незворотні процеси утворення на обробленій поверхні окислених прошарків, а потім і процеси горіння, тління, значно нижча і не перевищує 200°С.

При проведенні дослідів нами встановлено, що різниця між температурою ріжучої кромки інструменту і оброблюваної заготовки при незначних подачах, які мають місце при чистовій обробці, не перевищує 100... 200°С.

Для отримання інструменту поверхні якого мали б різну ступінь шорсткості проводилось шліфування

різців по передній і задній поверхням, абразивом з різною зернистістю, а також полірування.

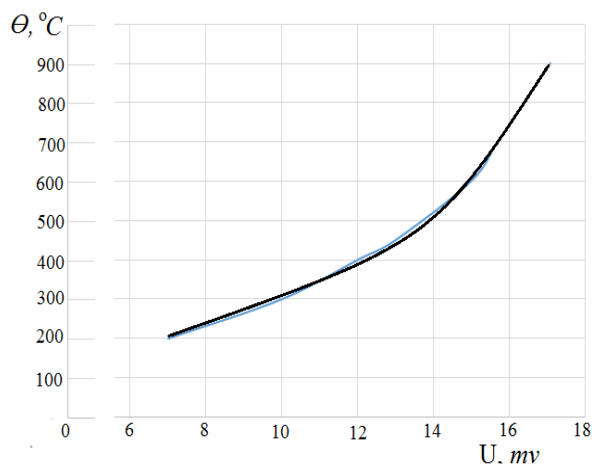


Рис. 5. Тарувальний графік температур залежно від електрорушійної сили термопари.

Fig. 5. Travalini temperature graph depending on the electromotive force of the thermocouple.

Таблиця 1. Відповідність шорсткості обробленої поверхні до зернистості абразивного інструменту.

Table 1. The line roughness of the processed surface to the grit of the abrasive tool.

| Позначення зернистості, відповідно до ГОСТ 3647-71 | Розмір зерен основної фракції, мкм | Шорсткість поверхні $R_a$ , мкм |
|----------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 63Н                                                | 800...630                          | 1,75                            |
| 12Н                                                | 160...125                          | 0,32                            |
| M20                                                | 20...14                            | 0,16                            |
| M3...10                                            | 3...10                             | 0,032                           |

Діапазон зміни шорсткості  $R_a$  оброблених поверхонь змінювався від 1,75 мкм до 0,16 мкм, від обдирочного і чорнового шліфування до фінішного, а також полірування (0,032). Для забезпечення відповідних показників шорсткості застосовувався інструмент із заданим розміром зерен.

В табл. 1 наведені види шліфування, зернистість абразивного інструменту, а також, відповідно до цих параметрів, отримана шорсткість оброблених поверхонь інструменту.

З метою відповідності отриманої шорсткості поверхонь розміру абразивних зерен тривалість шліфування не перевищувала 15..20 сек, відповідно рекомендаціям.

Провівши аналіз існуючих режимів різання при виготовленні деталей меблевої галузі встановлено, що чистове фрезерування відкритих поверхонь кінцевими фрезами, оброблення поверхонь пазів ланцюговими інструментами, а також оброблення складно профільних об'ємних поверхонь фасонним інструментом проводиться при перехідних режимах. Тобто діапазон зміни швидкості головно руху знаходиться в межах до...10 м/сек.

Зменшення цієї швидкості недоцільно з точки зору зниження продуктивності процесу. В той же час однією із задач нашої роботи було забезпечення висо-

кої якості обробленої поверхні, мінімальної шорсткості.

Виходячи з того, що чистове фрезерування при обробленні складно-профільних поверхонь в меблевій промисловості часто є фінішною обробкою, тому що обробляти складно-профільні об'ємні поверхні досить складно абразивним інструментом. А досить часто і неможливо використовувати методи шліфування, особливо при обробці внутрішніх закритих поверхонь, типу пазів та рельєфних об'ємних поверхонь.

Матеріал різальної частини різця – Сталь Р18. Матеріал заготовки деревина твердих порід (дуб). Геометричні параметри різців з різною шорсткістю поверхонь були ідентичними, з метою мінімізувати вплив побічних випадкових факторів на результати дослідів. Кути в плані  $\varphi$ , та  $\varphi_1$  дорівнювали відповідно – 45 та 30°, що забезпечило величину кута при вершині 105°. Радіус при вершині різця  $r = 0,02$  мм. Величина головного заднього кута  $\alpha$  була мінімальною відносно рекомендованого діапазону і складала 6°, з метою зменшення тертя задньої поверхні інструмента по обробленій поверхні заготовки і зменшення впливу цього фактора на сили взаємодії інструменту і заготовки. Передній кут  $\gamma$ , а також кут нахилу головної різальної кромки  $\lambda$  дорівнювали нулю, що забезпечило напрям відводу стружки, який не заважав би підведенню термопари.

Режим різання був незмінним. Швидкість різання була максимально наближена до реальних режимів обробки різанням деревини твердих порід при перехідних режимах, які мають місце в процесі чистового фрезерування кінцевими фрезами та ланцюговим інструментом і складала 7...10 м/сек.

Для її забезпечення, враховуючи діаметри заготовки 75...150 мм, на верстаті була встановлена частота обертання заготовки 915 об/хв., що забезпечило необхідну дійсну швидкість різання в наших дослідях.

Глибина різання складала 8 мм, а подача була в межах 0,3...0,4 мм/об, що відповідало максимальним значенням температур в зоні різання.

Результати визначення температури в зоні різання при різних параметрах шорсткості інструменту за тарувальним графіком наведені в табл. 2.

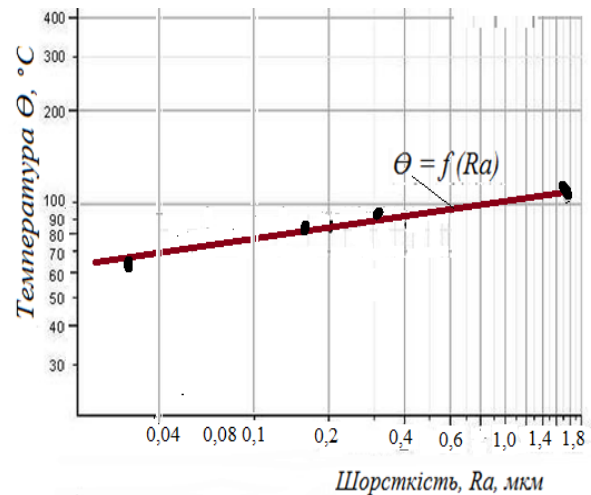
**Таблиця 2.** Значення температур в зоні різання.  
**Table 2.** Temperatures in the cutting zone.

| Зернистість абразиву, Н | Шорсткість інструменту, Ra, мкм | Температура в зоні різання, $\Theta$ , °C |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 63Н                     | 1,75                            | 120                                       |
| 12                      | 0,32                            | 90                                        |
| M20                     | 0,16                            | 80                                        |
| M3                      | 0,032                           | 60                                        |

В таблиці наведені усереднені дані результатів дослідів по 5 дослідів на точку, для забезпечення достовірності отриманих результатів.

За результатами проведених дослідів побудовані графічні залежності температури в зоні різання від шорсткості  $\Theta = f(Ra)$ . Побудова графічних залежностей в логарифмічних координатах дає можливість

визначення ступеню впливу певних змінних параметрів функціональних залежностей (аргументів) на саму функцію, при незмінності інших параметрів. В нашому - конкретному випадку ми можемо визначити показник степеню при коефіцієнті, який визначає вплив шорсткості поверхонь інструменту на температуру в зоні різання рис. 6.



**Рис. 6.** Графічна залежність температури в зоні різання від шорсткості поверхні інструменту.

**Fig. 6.** Graphical dependence of temperature in cutting zone from the surface roughness of tool.

Аналізуючи характер графічної залежності можна зробити висновок, що температура в зоні різання при деревообробці, від шорсткості поверхонь інструменту залежить більше ніж від зусилля різання. Ступінь впливу цього фактору визначалось з побудованої графічної залежності температури, як функції шорсткості в логарифмічних координатах.

Показник степеню, який вказує на ступінь впливу шорсткості поверхні інструменту на температуру  $a_\theta = 0,12$ .

З урахуванням дослідженого нами фактору впливу шорсткості поверхні інструменту на температуру в зоні різання, математичний вираз для розрахунку температури в зоні різання буде мати наступний вигляд:

$$\theta = C_\theta t^{x_\theta} s^{y_\theta} V^{n_\theta} R^{a_\theta}.$$

З метою математичного ілюстрування отриманих результатів досліджень в загальновідоме математичне рівняння, що застосовувалось для визначення температур в зоні різання при різних параметрах режимів різання нами введений коефіцієнт, який враховує вплив шорсткості поверхні інструменту на температуру в зоні різання ( $R^a$ ).

Виходячи з отриманих нами результатів і побудованої графічної залежності (рис. 6) кут нахилу функціональної залежності складає - 7°, що відповідає числовому значенню тангенса - 0,12 ( $\text{tg } 7^\circ = 0,12$ ).

При математичній обробці результатів експериментів досліджувана величина, в нашому випадку це температура в зоні різання, розглядалася, як функціональна залежність від відповідних аргументів. Ступінь впливу кожного аргументу, тобто кожного фактору впливу, визначалась у вигляді ступеневої функції.

ції, шляхом логарифмування, виходячи з математичного змісту логарифму і степеня.

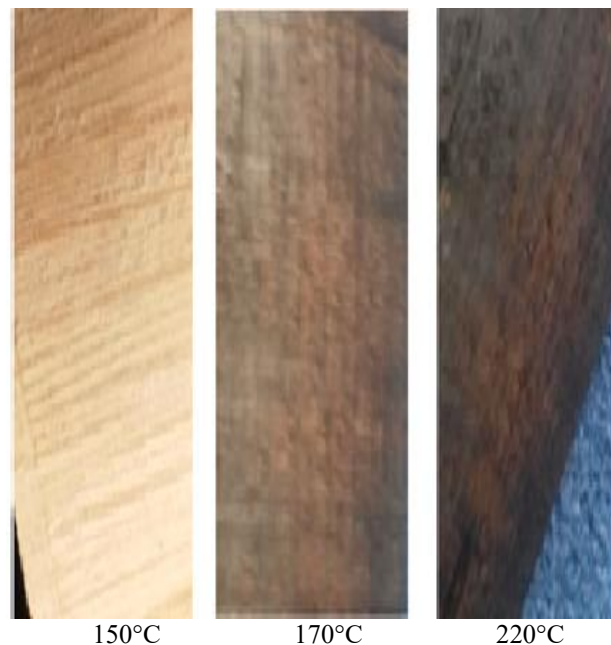
Апроксимація результатів в такому випадку проводиться в програмі Excel, а ступінь вірогідності отриманих результатів можливо підвищувати шляхом збільшення ступеню апроксимації.

В процесі проведення дослідів параметри різання перехідних режимів були близькими до екстремальних значень, з точки зору теплостійкості матеріалу заготовки. Було зазначено, що на поверхнях, як заготовки так і інструменту відмічено появу окисних плівок (рис. 7). При проведенні аналізу теоретичних даних було відмічено, що при вимірюванні температури в зоні різання за допомогою штучної термопари похибка отриманих результатів може перевищувати 10%, що пояснюється тим, що термопара знаходиться на певній відстані від зони різання.



**Рис. 7.** Зміна температури поверхні різця та заготовки при обробленні в екстремальних режимах.

**Fig. 7.** Temperature of the surface of the cutter and workpiece during processing in extreme conditions.



**Рис. 8.** Обвуглецювання поверхонь заготовок в процесі нагрівання до заданих температур.

**Fig. 8.** Amplitude surfaces of the workpieces in the process of heating to a predetermined temperature.

Для уточнення отриманих результатів, які стосуються визначення температур в зоні різання, враховуючи інтервал екстремальних температур, нами були досліджені кольори мінливості окисних плівок, що

утворились на поверхні інструменту в процесі деревообробки.

Це дало можливість досить точно визначати температури різальних кромки, а також розподілення температур по тілу різця.

Похибка результатів вимірювання температури в зоні різання методом штучної термопари склала 80 °С, що пояснюється значною віддаллю зони встановлення термопари від різальної кромки.

При аналізі отриманих результатів встановлено, що температура поверхні заготовки також значно відрізняється від температури інструменту, це пояснюється значно нижчою теплопровідністю матеріалу деревини в порівнянні з металом.

Для визначення похибки отриманих результатів проведена витримка зразків деревини при різних температурах. На рис. 8. показані зразки дубової деревини після їх обвуглецювання.

Наявність на оброблених поверхнях заготовок прошарку, що відрізняється за кольором має значення не тільки для визначення температур, а і для декоративного оздоблення поверхонь деталей меблів.

## Висновки

В результаті проведених досліджень отримано необхідний масив даних про вплив як окремих складових режимів різання на динамічні характеристики і процеси структуроутворення. Це дозволило сформулювати уявлення про якісні і кількісні залежності і виявити загальні закономірності впливу параметрів процесу різання на температуру в зоні різання.

В результаті аналізу результатів проведених дослідів в роботі отримані наступні висновки.

1. Встановлено, що для призначення режимів різання при обробці складнопрофільних поверхонь деревини твердих порід не визначені рекомендації, що до впливу параметрів режиму оброблення на температурні характеристики процесу

2. Проведені дослідження дозволили ввести доповнення в імперичні рівняння, що застосовуються для визначення сили різання при точінні, а також температури в зоні різання при обробці в інтервалі перехідних режимів різання.

3. В роботі визначені дійсні значення температур леза інструменту за рахунок використання кольорів мінливості, що утворюються на поверхні в діапазоні максимально можливих температур при обробці деревини.

4. Визначені температури, які викликають обвуглецювання оброблених поверхонь деревини.

5. В процесі проведення дослідів по визначенню впливу швидкості на температуру в зоні різання отримані дійсні значення похибок, які мають місце при проведенні подібних експериментів.

6. Отримані результати наочно показали, що при зменшенні тертя в зоні різання, за рахунок зниження шорсткості поверхні інструменту, можливе зниження температури, що має позитивний вплив.

## Список літератури

1. Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є., Роговський І.Л. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Підручник. Ніжин:Видавець ПП Лисенко М.М., 2013. 752 с.
2. Абельский Ш.Ш. О температурном поле вращающихся гибких дисков. Инженерно-физический журнал. Том XX. №2. С. 338-343.
3. Агапов, А.И. Трансформация углов резания при пилении древесины рамными пилами. Деревооб. пром-сть. 1989. №5. С. 6-7.
4. Бершадский А.Л. Резание древесины. Минск: Высшая школа, 1975. 304 с.
5. Капустин, А.В. Особенности расчета коэффициентов породы древесины. Марийский государственный технический университет. Йошкар-Ола, 2003. 5 с.: Ил. Библиогр.: 2 назв. Рус, Деп. В ВИНТИ 13.02.2003; №290-В 2003.
6. Капустин А.В. Математическое моделирование процессов резания древесины. Шестые Вавиловские чтения. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2002. С. 204-205.
7. Кряжев, Н.А. Фрезерование древесины. Москва. Лесн. пром-сть, 1979. 200 с.
8. Лопатин, А.М. Совершенствование конструкций и обоснование параметров зубьев дискового ножа кустореза: Автореферат дис. канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2002. 19 с.
9. Любченко, В.И. Резание древесины и древесных материалов. Москва. Лесн. пром-сть, 1986. 296 с.
10. Мазуркин, П.М. Биотехническое моделирование процессов резания древесины: Научное издание. Йошкар-Ола: Мар-ГТУ, 2001. 80 с.
11. Новые способы резания древесины: сост. В.Е. Печенкин, П.М. Мазуркин. Горький: ГГУ, 1979. 90с.
12. Опальчук А.С., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є., Роговський І.Л. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Навчальний посібник-Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2015. 426 с.
13. Пашков В.К. Основы научных исследований. Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. 86 с.
14. Пашков В.К. Измерительная система для регистрации температурных полей зуба пилы. Сборник научных трудов факультета МТД. Вып. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 116-119.
15. Pinchevska Olena, Sedliačik Ján, Horbachova Oleksandra, Spirochkin Andriy, Rohovskyi Ivan. Properties of hornbeam (*Carpinus betulus*) wood thermally treated under different conditions. Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen, 2019. Vol. 61(2). P. 25–39, DOI: 10.17423/afx.2019.61.2.03. <https://www.scopus.com/sourceid/7700153234>. Scopus.
16. Чемоданов, А.Н. Лес и лесопродукция: справочные материалы. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. 304 с.
17. Щепочкин С.В. К оценке тепловых потоков и средних температур зуба круглой пилы. Изв. вузов. Лесной журнал. 2006. №1. С. 58-61.
18. Щепочкин С.В. Температурное поле зуба круглой пилы. Изв. вузов Лесной журнал. 2008. №3. С. 75–81.
19. Щепочкин С.В. О тепловом балансе процесса резания древесины круглыми пилами. Изв. вузов Лесной журнал. 2009. №3. С. 101–107.
20. Щепочкин С.В. Измерительная система для регистрации температурных полей зуба пилы. Сборник научных трудов факультета МТД. Вып. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 116–119.
21. Щепочкин С.В. Экспериментальные исследования коэффициентов теплоотдачи режущей части круглых пил. Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды VI международного евразийского симпозиума. Екатеринбург, 2011. С. 324–331.

## References

1. Opalchuk A.S., Aftandilyants Y.G., Rogovskii L.L., Semenovskiy O.Ye., Rogovskii I.L. (2013). Materialoznavstvo i tenologiya konstruktivnykh materialiv. Pidruchnik - Nizhin: Vidavets Lysenko PP, MM, 2013. 752.
2. Abelskaya S. (2012). On the temperature field of the rotating floppy disk. Journal of Engineering Physics. Volume XX. №2. 338-343.
3. Agapov A.I. (1989). Transformation of cutting corners when sawing wood saws. Woodin. prom-st. №5. 6-7.
4. Bershad A.L. (1975). Cutting wood. Minsk High School, 304.
5. Kapustin A.V. (2003). Features of the calculation of the coefficients wood species. Mari State Technical University. Yoshkar-Ola, 5.: 1-yl. Bibliogr. : 2 titles. Rus Dep. In VINITI 13.02.2003; №290-in 2003.
6. Kapustin A.V. (2002). Mathematical modeling of processes of cutting wood. Sixth Vavilov Reading. Yoshkar-Ola, Mari State Technical University, 204-205.
7. Logs, N.A., Milling N.A. (1979). Wood. Ridge. Moscow. Forest. prom-st, 200.
8. Lopatin, A.M. (2002). Perfection of designs and a substantiation of parameters of the circular cutter tooth brush cutter: Abstract Dis. cand. tehn. Science. Yoshkar-Ola, 2002. 19.
9. Lubchenko, V.I. (1986). Cutting wood and wood materials: Textbook for high schools. Moscow. Forest. prom-st, 296.
10. Mazurkin, P.M. (2001). Bioengineering modeling of processes of cutting wood: Scientific publication. Yoshkar-Ola: Mar STU, 80.
11. New ways of cutting wood (1979). Proc. Manual/ Ed. V.E. Petchenkin, P.M. Mazurkin. Gorky: GGU, 90.
12. Opalchuk A.S., Rogovsky L.L., Semenovskiy O.Y., Rogovskii I.L. (2015). Materialoznavstvo i tenologiya konstruktivnykh materialiv. The Teaching posibnik-Nizhin: Vidavets Lysenko PP, MM, 426.
13. Pashkov V.K. (2003). Basic research. Ekaterinburg USFEU. 86.
14. Pashkov V.K. (2005). Measuring system for recording the temperature fields sawtooth/ Collection of

scientific works of the Faculty of MTD. Vol. 1/ Ekaterinburg USFEU, 116-119.

15. *Pinchevska Olena, Sedliačik Ján, Horbachova Oleksandra, Spirochkin Andriy, Rohovskyi Ivan.* (2019). Properties of hornbeam (*Carpinus betulus*) wood thermally treated under different conditions. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2019. Vol. 61(2). 25–39, DOI: 10.17423/afx.2019.61.2.03. <https://www.scopus.com/sourceid/7700153234>. Scopus.

16. *Suitcases, A.N.* (2002). Wood and timber products: References. Yoshkar-Ola Mari State Technical University, 304.

17. *Shchepochkina S.V.* (2006). To estimate the heat fluxes and average temperatures circular saw tooth. *Math. universities. Forest magazine*. №1. 58-61.

18. *Shchepochkina S.V.* (2008). Temperature Field circular saw tooth. *Math. universities Forest magazine*. №3. 75-81.

19. *Shchepochkina S.V.* (2009). About the heat balance of the process of cutting wood circular saws. *Math. universities Forest magazine*. №3. 101-107.

20. *Shchepochkina S.V.* (2005). Measuring system for registering temperature fields saw tooth. Collection of scientific works of the Faculty of MTD. Vol. 1. Ekaterinburg USFEU, 116-119.

21. *Shchepochkina S.V.* (2011). Experimental study of heat transfer coefficients of the cutting circular saws. Woodworking: technology, equipment, management of the XXI century. Proceedings of the VI International Eurasian symposium. Ekaterinburg, 324-331.

#### О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

*А. Е. Семеновский, И. М. Кудрявский*

**Аннотация.** Анализ явлений, возникающих в процессе обработки древесины резанием определил необходимость проведения исследований направленных на оптимизацию режимов изготовления деталей мебельной отрасли. При этом особый интерес вызывают недостаточно исследованные переходные режимы, с точки зрения скорости резания, которые имеют место при обработке сложно профильных поверхностей открытого и закрытого типов, таких как прямые и фигурные пазы, а также объёмные фасонные отделочные детали. При обработанных материалов резанием работа трения инструмента по заготовке обуславливает образование и выделение значительного количества энергии в виде теплоты. Именно поэтому в наших исследованиях особое внимание было уделено определению температур в зоне резания при обработке инструментом, который имеет разную шероховатость поверхностей. При обработке древесины практически отсутствуют достоверные данные исследований реального распределения тепловой энергии, что обусловлено незначительной теплопроводностью материала, а также сложностью процессов измерения температуры в зоне резания при обработке многолезвийным инструментом. Проанализировав существующие методики определения температуры в зоне резания и проведя ряд предыдущих экспериментов, в наших исследованиях мы использовали методику определения температур методом искусственной тер-

момпары. По результатам опытов построены графические зависимости. Это позволило сделать вывод, что температура в зоне резания при обработке древесины, от шероховатости поверхностей инструмента зависит больше, чем от усилия резания. Степень влияния этого фактора определялось с построенной графической зависимости температуры, как функции шероховатости в логарифмических координатах. Проведенные исследования позволили ввести дополнения в эмпирическое уравнение, применяемое для определения температуры в зоне резания при обработке в интервале переходных режимов резания. В работе определены действительные значения температур лезвия инструмента за счет использования цветов побежалости, образующихся на поверхности в диапазоне максимально возможных температур при обработке древесины. Определены температуры, которые вызывают обугливание обработанных поверхностей древесины. Полученные результаты наглядно показали, что при уменьшении трения в зоне резания, за счет снижения шероховатости поверхности инструмента, возможно снижение температуры, что является позитивным фактором.

**Ключевые слова:** температура, резание древесины, лезвие инструмента, фрезерование, стружка, цвета побежалости, термомпара, шероховатость, абразивная обработка.

#### ON IMPACT PARAMETERS WOODWORKING ON TEMPERATURE IN CUTTING ZONE

*O. Ye. Semenovskii, I. M. Kudryavsky*

**Abstract.** Analysis of the phenomena occurring during the treatment of wood by cutting identified need for research aimed at the optimization of manufacturing conditions of parts of the furniture industry. With particular interest are insufficiently investigated transients, in terms of cutting speed, which occur in the processing of complex shaped surfaces of open and closed types, such as straight and curly grooves, as well as three-dimensional shaped trimmings. When processed friction materials by cutting work tool on the workpiece causes the formation and evolution of considerable energy in the form of heat. That is why in our studies, special attention was paid to determining the temperature in the cutting zone in the processing tool, which has a different surface roughness. When processing timber almost no reliable research data real distribution of thermal energy due to low thermal conductivity material, as well as the complexity of the temperature measurement process in the cutting zone when processing tool. After analyzing the existing methods for determining the temperature in the cutting zone and through a series of previous experiments, in our research we used the method of determining the temperature of artificial thermocouple method. According to the results of experiments built graphical dependence. This led to the conclusion that the temperature in the cutting zone while processing wood, the roughness of the surface depends on the tool is greater than the cutting force. The degree of influence of this factor was determined with the constructed graphical dependence of the temperature, as the roughness function in logarithmic coordinates. The studies allowed to enter the supplement in an empirical

equation that is used to determine the temperature in the cutting zone while processing transients in the range of cutting conditions. The paper defines the actual tool blade temperature values by using a tint formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor. applied for detecting the temperature in the cutting zone while processing transients in the range of cutting conditions. The paper defines the actual tool blade temperature values by using a tint formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor. applied for detecting the temperature in the cutting zone while processing transients in the range of cutting conditions. The paper defines the actual tool blade temperature values by using a tint formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor. formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor. formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor.

**Key words:** temperature, wood cutting, tool blade, milling, shavings, rush colors, thermocouple, roughness, abrasive processing.

**О. С. Семеновський** ORCID 0000-0003-3358-1297.

**І. М. Кудрявський** ORCID 0000-0003-4732-7353.



УДК 631.354.2

## УТОЧНЕННЯ РЕЖИМУ ПРОКРУТКИ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНІВ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ МАШИН

Л. Л. Тітова, О. В. Надточій

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: titovall@ukr.net.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 10, рис. 6, табл. 1.*

**Анотація.** У статті проведено аналіз методів діагностування циліндро-поршневої групи (ЦПГ) двигунів внутрішнього згоряння. Запропонований уточнений спосіб діагностування, об'єднуючий в собі всі позитивні сторони існуючих методів і вирішує задачу підвищення достовірності оцінки технічного стану вузлів і механізмів ДВЗ. Розроблена математична модель, яка враховує частоту прокручування, зазори, фази процесу зміни тиску, яка дозволяє отримати залежності зміни тиску в камері згоряння. Виявлена певна закономірність зниження тиску у кінці такту стиснення з ростом величини зношення циліндрів, кілець, поршня, яка впливає на технічний стан циліндро-поршневої групи. Представлені графіки залежностей між розглянутими параметрами моделювання.

**Ключові слова:** циліндро-поршнева група, діагностування, частота обертання, компресія, осцилограма тиску, режими, параметри.

### Постановка проблеми

Аналіз надійності систем ДВЗ показує, що найчастіше відмови виникають у системах запалювання та електрообладнання – 21-45%, другою за значимістю система живлення – 18-30%, третє місце посідають – відмови механізмів двигуна – 10-38% [1-9].

Зважаючи на таку частоту відмов, діагностування цих систем не викликає сумнівів і є досить актуальним.

Наприклад, на частку циліндро-поршневої групи (ЦПГ) припадає до 10-15% відмов двигуна [10]. Відомо, що режим прокрутки під час пуску двигуна щільно корелюється з граничним станом ЦПГ [7-9].

### Аналіз останніх досліджень

Відомий метод для діагностування ЦПГ, що базується на газовому витратомірі ГОСНИТИ (рис. 1, а). Його використання в експлуатації є занадто

трудомістким та вимагає чіткого дотримання процесу, тому будь-яке недотримання призводить до відхилення показників, та помилкових діагнозів. Існуючий паралельно газовий лічильник і реометр рідинний також не позбавлені подібних недоліків що і газовий витратомір. Та і виявився для умов експлуатації занадто складним.

Популярним у сервісі є використання компресиметра (рис. 1, в). Основним недоліком якого є те, що через малий вхідний отвір все повітря не встигає пройти в манометр за один хід поршня. Для тому стабілізації показань манометра необхідне тривале прокручування колінчастого валу двигуна. Самі ж показання компресії є малодостовірними, із-за прямої залежності тиску в кінці стиснення від частоти обертання колінчастого валу. При стартерному пуску складно домогтися сталості цієї частоти. Ще існує залежність частоти від стану акумуляторної батареї.

Зношення розподільного валу чи неправильне його розташування, нагар у камері згоряння також призводять до невірних показань величини тиску.

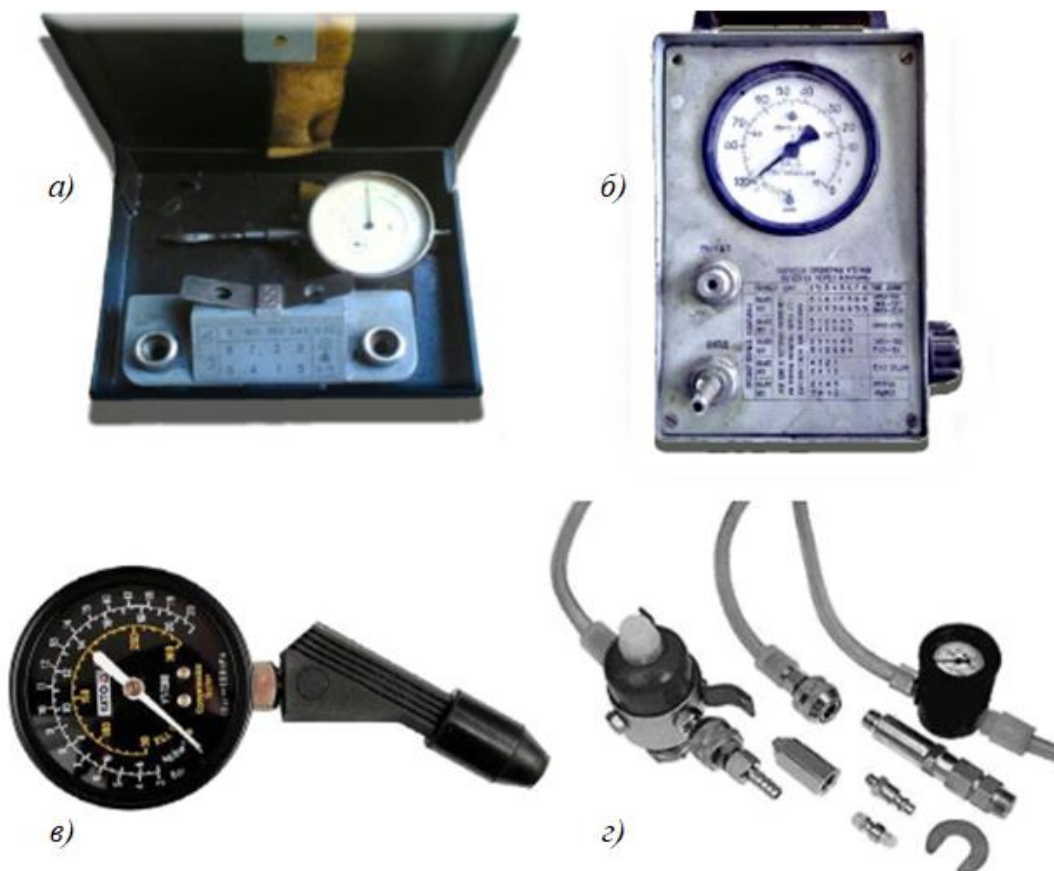
Достовірність оцінки технічного стану за допомогою стетоскопа напряму пов'язане із кваліфікацією діагноста. Застосування стетоскопів, фонендоскопів і шумомірів розширює можливості контролю технічного стану, проте не дозволяє провести об'єктивну оцінку, бо ці прилади лише підсилюють шум і стукіт, не впливаючи на суб'єктивний фактор.

Відомий метод продування циліндрів стисненим повітрям при використанні приладу К-69М (рис. 1, б). Суттєвим недоліком використання даного приладу є необхідність встановлювати поршень в певному положенні (на початок стиснення, у ВМТ, тощо). Іноді це досить складно зробити на сучасних автомобілях, які не містять на двигуні допоміжних рисков. Іншою перешкодою є обладнання автомобілів автоматичною, що так само ускладнює роботу. Сам пристрій не фіксує зношення лабіринтового ущільнення в з'єднанні поршень кільце.

Подальшим розвитком приладу К-69М є пневмотестер К-272 (рис. 1, г), призначенням якого є визначення щільності контуру горіння. Метод

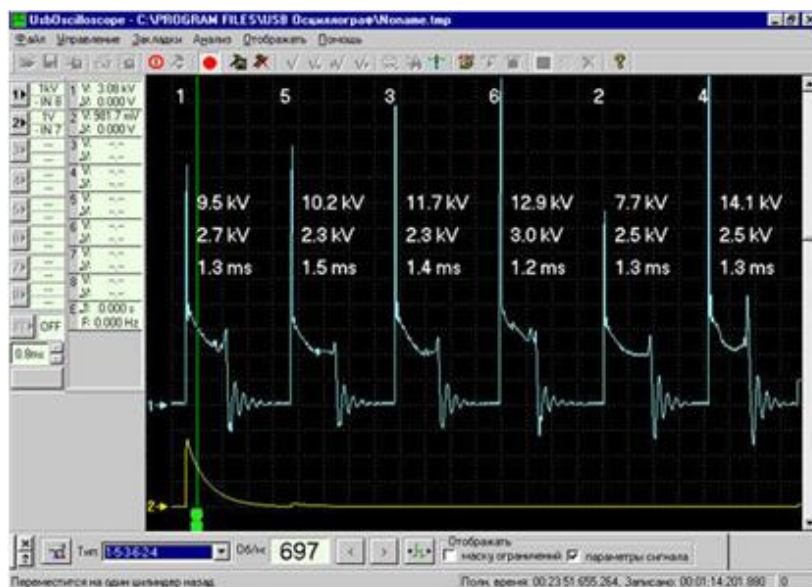
тестування базується на величині падіння тиску стисненого повітря, що подається в циліндр через свічковий отвір. Головною перевагою порівняно з компресометром є діагностування на нерухомому двигуні. Тиск на вхід подається компресором і контролюється вхідним манометром. Прилад має ряд

переваг у порівнянні з К-69М: менша в 6 разів маса і габаритні розміри, універсальність (діагностування карбюраторних і дизельних двигунів (для прикладу КамАЗ і СМД, ЯМЗ). Проте залишилась необхідність встановлення поршня в певне положення, що вимагає багато підготовчих робіт.



**Рис. 1.** Засоби діагностування ЦПГ ДВС: а – газовий витратомір ГОСНИТИ; б – К-69М; в – компресиметр; г – пневмотестер К-272.

**Fig. 1.** Diagnostic tools CPG ICE: а – gas flowmeter ISO; б – K-69M; в – kompressor; г – pneumotester K-272.



**Рис. 2.** Робоче вікно та комплект осцилографа Постолювського USB-Autoscope.

**Fig. 2.** Window and oscilloscope kit Postolovskogo USB-Autoscope.

Поширений також метод відносної оцінки зношення ЦПГ, заснований на послідовному відключенні циліндрів по одному і контролю зниження частоти обертання. Цей метод визначає відносну, а не абсолютну, оцінку і є даремним, при рівному зношенні всіх циліндрів.

Метод діагностування за струмом живлення стартера - має низьку достовірність через вплив на цей показник технічного стану стартера і акумуляторної батареї.

Метод визначення стану окремих циліндрів за величиною розрідження - надто трудомісткий в застосуванні. За отриманими показаннями неможливо розділити зношення окремих елементів ЦПГ.

Відомий також метод, що базується на вимірюванні кількості повітря, яке проривається через нещільності камери згоряння при холостому ході із використанням осцилографа Постоловського – модель USB-Autoscope (рис. 2). Стандартній технології діагностування властивий недолік - неправильний режим (за достовірністю і точністю). За стандартною методикою осцилографом USB-Autoscope знімають покази лише на холостому ходу, на якому проявляються не всі несправності, а достовірність цього методу, залежить від правильності математичної моделі (скрипту обробітку). Додатковими недоліками є витoki повітря, що проходять через газорозподільний механізм, які не враховуються. Ці недоліки призводять до низької достовірності методу та стримують його використання.

У нашій роботі передбачалося використання діагностичного стенду «Дельфін-1М» (рис. 3), робота якого схожа на USB-Autoscope, однак має більшу функціональність. При цьому чутливість і точність методу підвищена за рахунок використання режиму прокручування колінчастого валу двигуна стартером

### Мета досліджень

Мета досліджень – аналіз існуючих основних методів та розробка уточненої моделі для діагностування ЦПГ в режимі прокручування колінчастого валу ДВЗ з метою підвищення ефективності діагностування.

### Результати досліджень

Головною метою моделювання було обґрунтування впливу різних чинників на стиснення робочої суміші в надпоршневому просторі при обертах, які відповідають прокручуванню двигуна стартером. Розглядався процес вимірювання тиску у функції кута повороту колінчастого валу поршневого бензинового двигуна. Припускалися, що процес стиснення в циліндрі адиабатний (без взаємодії з навколишнім середовищем). Якщо система знаходиться в стані термодинамічної рівноваги, то без зовнішніх впливів вийти з цього стану не зможе [3-6].

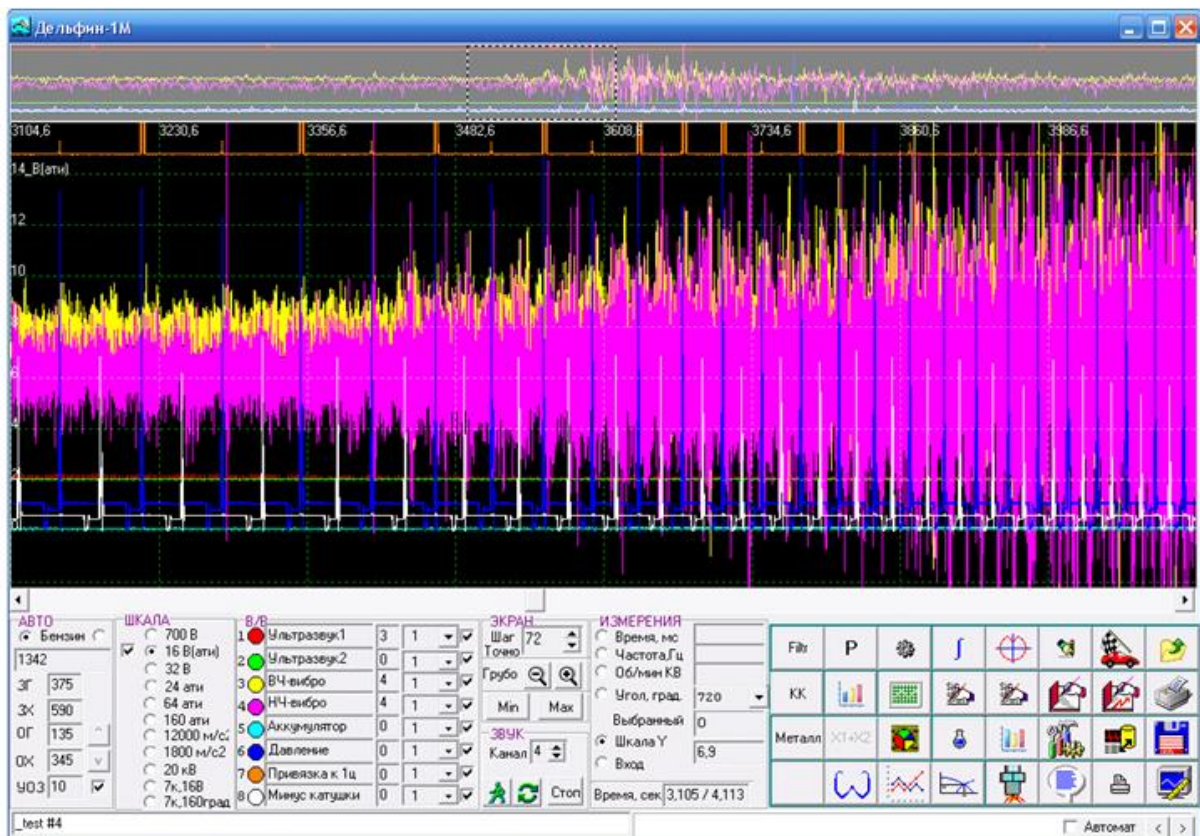


Рис. 3. Робоче вікно стенду Дельфін-1М.

Fig. 3. Stand work window Delphin-1M.

У нерівноважному процесі різні частини системи мають неоднакові температури, тиску, тощо. Адіабатний процес буде відповідати рівнянню стану ідеального газу Менделєєва-Клапейрона [1].

$$PV = \mu \cdot R \cdot T \quad (1)$$

де  $P$  – тиск, Па;  $V$  – об'єм, мм<sup>3</sup>;  $\mu$  – молярна маса речовини;  $R$  – газова постійна, Дж/кг;  $T$  – температура, К°.

За об'єкт дослідження було вибрано двигун ЯМЗ. Відзначимо, що за інформацією AUTO-Consulting, багато років даний двигун був лідером продажів в комерційному сегменті України. На сьогодні за 25 років в Україні накопичилось близько 19 тис. двигунів цієї марки в різних модифікаціях.

Для проведення розрахунків циліндра двигуна маємо наступні вихідні характеристики (табл. 1).

**Таблиця 1.** Вхідні дані розрахунку циліндра.  
**Table 1.** Input data of calculation of cylinder.

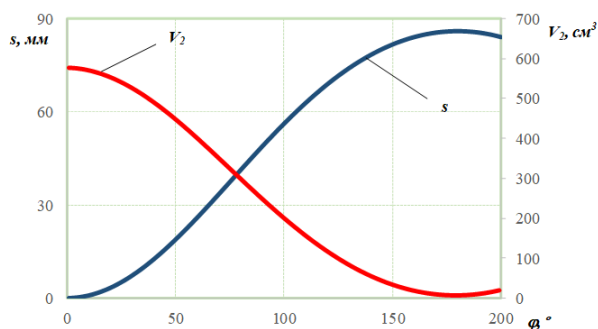
|                                      |               |       |
|--------------------------------------|---------------|-------|
| Хід поршня, мм                       | 86            |       |
| Діаметр циліндра, мм                 | 92            |       |
| Радіус кривошипа, мм                 | $R_{KR}$      | 43    |
| Ступінь стиснення                    | $\varepsilon$ | 9,3   |
| Молярна маса, кг/моль                | $\mu$         | 28,96 |
| Газова стала, Дж/кг                  | $R$           | 287   |
| Щільність повітря, кг/м <sup>3</sup> | $\rho_P$      | 1293  |

Використаємо формулу Менделєєва-Клапейрона для циліндра двигуна, взявши значення початкового тиску в один бар. У двигуна циліндр лишається з'єднаним з атмосферою при повороті колінчастого валу від нижньої мертвої точки (Н.М.Т) до кута в 46° (для ЯМЗ-236 відповідно 52°) і зміна об'єму не впливає на зміну тиску.

Залежно від кута повороту колінчастого валу хід поршня від Н.М.Т до В.М.Т описується наступним рівнянням (дані з табл. 1):

$$s = R_{KR} \left( (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos 2\varphi) \right) \quad (2)$$

де  $\varphi$  – кут повороту колінчастого валу, рад;  $\lambda$  – відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна ( $\lambda = 0.2721$ ).



**Рис.4.** Залежність ходу поршня  $s$  та об'єму надпоршневого простору  $V_2$  від кута повороту  $\varphi$  колінчастого валу.

**Fig. 4.** The dependence of the piston stroke  $s$  and the volume of the piston space  $V_2$  on the angle of rotation  $\varphi$  of the crankshaft.

Зміна тиску в циліндрі залежно від зміни об'єму надпоршневого простору знаходимо за залежністю:

$$P_2 = P_1 \cdot \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k \quad (3)$$

де  $P_1$  – тиск на початку такту стиснення, Па;  $k$  – показник адіабати, для повітря ( $k = 1,4$ );  $V_1$  і  $V_2$  – об'єм надпоршневого простору в початковий момент стиснення і наступні за кутом повороту колінчастого валу.

$$V_2 = (V_R + V_{KZ}) - s \cdot S_P, \text{ мм}^3 \quad (4)$$

де  $V_R$  і  $V_{KZ}$  – робочий та об'єм камери згорання циліндра;  $S_P$  – площа поршня, мм<sup>2</sup>.

Для визначення обсягу повітря, яке просочується через зазори ЦПГ, слід визначити швидкість його витікання. Яка ця швидкість: менша за критичну чи більша-рівна критичній? Для цього необхідно знайти показник  $\beta$ :

$$\beta = \frac{P_A}{P_C} \quad (5)$$

де  $P_A$  – атмосферний тиск, Па;  $P_C$  – тиск в циліндрі, Па.

Для двохатомного газу  $\beta_{CR} = 0,528$ . За умови, що  $\beta > \beta_{CR}$ , витоки здійснюються з до критичною швидкістю і обчислюється за формулою [1]:

$$\omega = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R T_C \left( 1 - \left( \frac{P_A}{P_C} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)} \quad (6)$$

При  $\beta < \beta_{CR}$ , витікання відбувається з критичною швидкістю і визначається за формулою:

$$\omega_{CR} = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} R T_C} \quad (7)$$

Обсяг повітря, що просочилося крізь зазори в ЦПГ для сектору повороту колінчастого валу рівному 1° визначимо за формулою:

$$\Delta V = \frac{F \omega \cdot 10^3}{6 \cdot n}, \quad (8)$$

де  $F$  – площа зазору в ЦПГ, що утворився в результаті зносу, мм<sup>2</sup>.

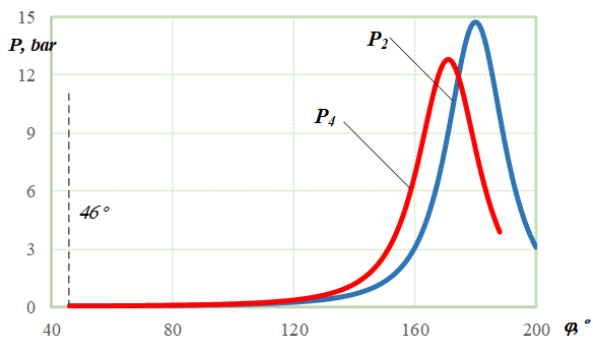
Прийmemo, що в результаті витоку відбувається адіабатне розширення повітря в циліндрі на величину  $\Delta V$ , тоді тиск в результаті розширення повітря  $P_4$  визначимо за рівнянням:

$$P_4 = P_3 \cdot \left( \frac{V_2}{V_2 + \Delta V} \right)^k \quad (9)$$

де  $P_3$  – тиск в циліндрі двигуна із врахуванням передачу тепла стінкам циліндра, Па.

Удосконалена математична модель, із урахуванням частоти прокручування, витоків повітря в зазорах та кількості теплоти, дозволяє моделювати зміну тиску в камері згорання, як наслідок підвищити

точність вибору оптимальних режимів діагностування.



**Рис. 5.** Залежності тиску в камері згорання  $P_2$  та тиску з врахуванням розширення  $P_4$  від кута повороту колінчатого валу.

**Fig. 5.** The pressure dependence of the combustion chamber  $P_2$  and the pressure taking into account the expansion  $P_4$ .

В результаті моделювання отримано залежність тиску, в кінці такту стиснення, від частоти обертання

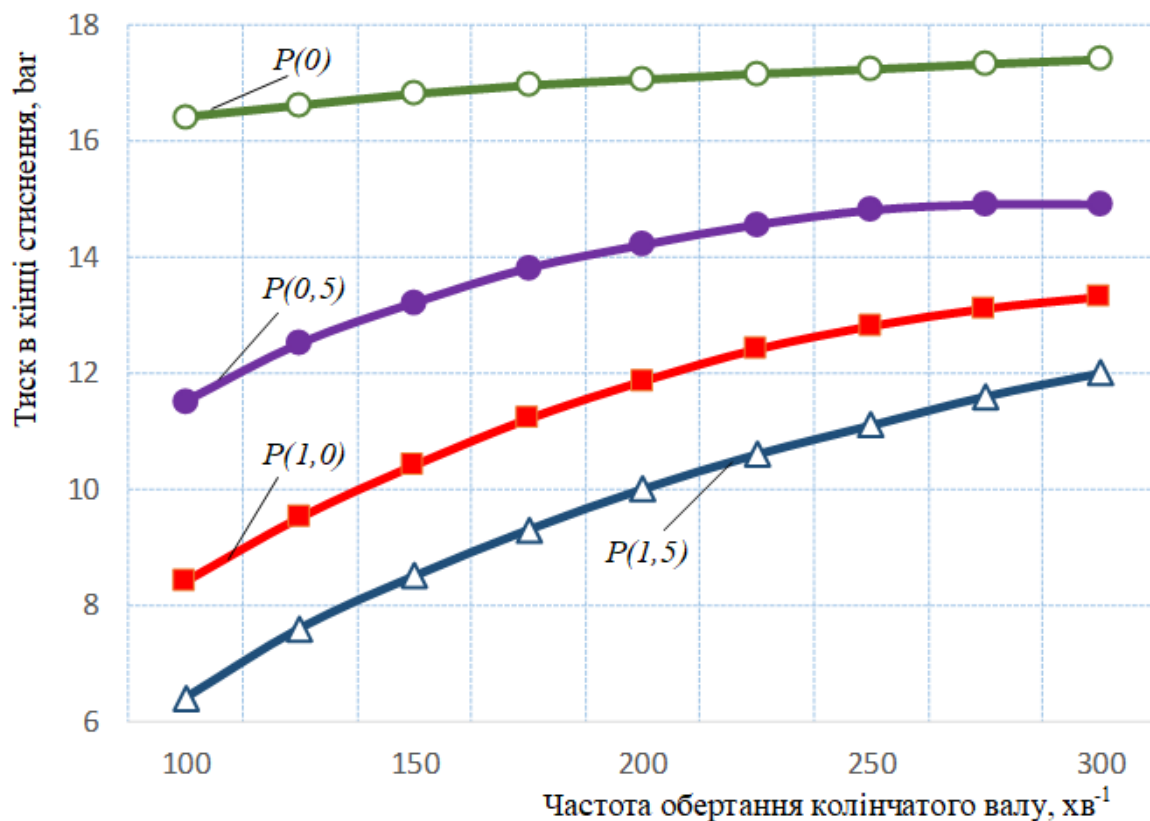
колінчатого валу двигуна при зносі кілець поршня (рис. 6).

Графік свідчить, що з ростом величини зносу кілець тиск в кінці такту стиснення знижується.

Причому, при великих зношеннях спостерігається динаміка істотної зміни тиску в кінці такту стиснення.

Так, при витоках рівнозначних витокам крізь отвір перетином 1,5 мм - лінія  $P(1,5)$  і при прокручуванні 100 об/хв тиск дорівнює 6 бар, а при 300 об/хв - 12 бар, тоді як при перетині 0,1 мм - лінія  $P(0)$  на всьому протязі зміни обертання від 100 до 300 об/хв тиск тримається на рівні 16-17 бар.

В результаті проведених розрахунків з моделюванням витоку повітря через спрацьовані кільця з різним технічним станом циліндрів отримана залежність (рис. 6). Характер зміни тиску кінця такту стиснення при збільшенні обертів аналогічна для різного стану зношення циліндрів, однак при більшому зношенні кілець змінюється також і фаза тиску, і чим більше зношення кільця, тим сильніше зміщення фази.



**Рис. 6.** Залежність зміни тиску (бар) в кінці такту стиснення при зношенні циліндрів; лінії  $P(0)$ ,  $P(0,5)$ ,  $P(1,0)$ ,  $P(1,5)$  - значення сумарних еквівалентних перетинів витоків повітря, відповідно, (мм): 0,1; 0,5; 1,0; 1,5.

**Fig. 6.** Dependence of change of pressure (bar) at the end of the compression stroke during cylinder wear; lines  $P(0)$ ,  $P(0,5)$ ,  $P(1,0)$ ,  $P(1,5)$  values of the total equivalent crossings of air leaks, respectively, (mm): 0,1; 0,5; 1,0; 1,5.

### Висновки

1. Оцінка технічного стану ЦПГ за удосконаленою методикою для різних умов діагностування підтвердила, що з ростом величини зносу кілець також знижується і тиск в кінці такту

стиснення. Причому, при великих зношеннях (близьких до граничних) тиск кінця такту стиснення змінюється істотніше. Розроблений метод дозволяє об'єднати в собі всі позитивні сторони існуючих та запропонованих методів і вирішити задачу підвищення достовірності оцінки технічного стану

вузлів і механізмів ДВЗ. Проведене моделювання для різного технічного стану циліндрів і різним зношенням кілець показав аналогічний характер зміни тиску в кінці такту стиснення, виявивши значні зміни фаз тиску, а це потребує коригування фази подачі запалювання для покращення пускових характеристик ДВЗ.

2. Витрата повітря з надпоршневого простору пропорційна ступеню зношення (зазору) в сполученні циліндр-поршень. Відсутність зношення вгорі сполучення, призводить до відсутності зміщення фази максимального тиску. Це свідчить, що зміщення фази є наслідком зношення сполучення, лише у верхній частині ЦПГ. Тобто діагностичний параметр зміщення фази максимального тиску слід використовувати, тільки для оцінки ступеню зношення ЦПГ у верхній частині сполучення. Однак цей показник є важливим для процесу запуску двигуна, бо характеризує момент досягнення максимальної температури паливно-повітряної суміші.

### Список літератури

1. Дьяченко В. Г. Теория двигателей внутреннего сгорания: учеб. для вузов. Харьков: ХНАДУ, 2009. 340 с.
2. Иванов Р. В. Диагностирование ДВС по параметру мощности механических потерь: автореф. дис. Канд. техн. наук. Волгоград, 2010. 40 с.
3. Ждановский Н. С. Термодинамический анализ параметров конца сжатия при пуске дизеля. Энергомашиностроение. 2017. №8. С. 18-19.
4. Дробышевский Ч. В., Боровиков В. Ф., Фахрутдинов А. Г., Лазурко В. П. Оценка термодинамических параметров заряда на пусковых режимах и возможности пуска. Двигателестроение. 2019. №11. С. 9-10.
5. Болдырев И. В. Математическая модель пуска двигателя. Двигателестроение. 2014. №6. С. 14-16.
6. Сараева И. Ю. Исследование закона распределения случайной величины компрессии // Автомобильный транспорт. 2011. №29. С. 199-206.
7. Суранов Г. И. Уменьшение износа автотракторных двигателей при пуске. Москва. Колос, 2012. 143 с.
8. Понизовский А. Ю. Оценка технического состояния цилиндропоршневой группы автотракторных дизелей по разным расходам воздуха на впуске и выпуске в пусковом режиме: автореф. дис. Канд. техн. наук. Новосибирск, 2010. 111 с.
9. Пичугин А. И. Повышение эффективности диагностики цилиндр-поршневой группы автомобильных двигателей с помощью совершенствования методов и средств распознавания ее состояния. Автореф. дис. канд. техн. наук. Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2011. 23 с.
10. Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific

Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

### References

1. Dyachenko V. G. (2009). Theory of internal combustion engines: textbook. for universities. Kharkov: KHNADU, 340.
2. Ivanov R. V. (2010). Diagnosis of internal combustion engines by the parameter of the power of mechanical losses: abstract dis. Cand. tech. sciences. Volgograd, 40.
3. Zhdanovsky N. S. (2017). Thermodynamic analysis of compression end parameters at diesel start Power engineering. No. 8. 18-19.
4. Drobyshevsky Ch. V., Borovikov V. F., Fakhrutdinov A. G., Lazurko V. P. (2019). Evaluation of the thermodynamic parameters of the charge in starting conditions and the possibility of starting. Engine building. No. 11. 9-10.
5. Boldyrev I. V. (2014). Mathematical model of engine starting. Engine building. No. 6. 14-16.
6. Saraeva I. Yu. (2011). Investigation of the distribution law of a random value of compression. Automobile Transport. No. 29. 199-206.
7. Suranov G. I. (2012). Reduced wear on tractor engines during start-up. Moscow. Kolos, 143.
8. Ponizovsky A. Yu. (2010). Assessment of the technical condition of the cylinder-piston group of automotive diesel engines for various air flow rates at the inlet and outlet in the starting mode: abstract dis. Cand. tech. sciences. Novosibirsk, 111.
9. Pichugin A. I. (2011). Improving the efficiency of diagnosis of a cylinder-piston group of automobile engines by improving methods and means of recognizing its condition. Abstract. dis. Cand. tech. Sciences. Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova. Saratov. 23.
10. Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

### УТОЧНЕНИЕ РЕЖИМА ПРОКРУТКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЕЙ МАШИН ДЛЯ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Л. Л. Тітова, О. В. Надточій

**Аннотация.** В статье проведен анализ методов диагностирования цилиндр-поршневой группы (ЦПГ) двигателей внутреннего сгорания. Предложенный уточненный способ диагностирования, объединяющий в себе положительные стороны существующих методов, решает задачу повышения достоверности оценки

технического состояния узлов и механизмов ДВС. Разработана математическая модель, учитывающая частоту прокрутки, зазоры, фазу процесса изменения давления, позволяет получить зависимости изменения давления в камере сгорания. Выявлена определенная закономерность снижения давления в конце такта сжатия с ростом величины износа цилиндров, колец и поршня, влияющая на техническое состояние цилиндро-поршневой группы. Представлены графики зависимостей между рассматриваемыми параметрами моделирования.

**Ключевые слова:** слова: цилиндро-поршневая группа, диагностирования, частота вращения, компрессия, осциллограмма давления, режимы, параметры.

#### FURTHER SCROLLING MODE FOR DIAGNOSING CYLINDER-PISTON GROUP OF ENGINES OF MACHINES FOR FORESTRY MACHINERY

*L. L. Titova, O. V. Nadtochy*

**Abstract.** The article analyzes methods of diagnosing cylinder-piston group (CPG) of internal combustion engines. The specified method of diagnostics is offered, combining all the positive sides of the existing methods and solves the problem of increasing the reliability of the estimation of the technical condition of the units and mechanisms of the ICE. A mathematical model has been developed that takes into account the scroll frequency, gaps, and the phase of the pressure change process, which allows to obtain the dependencies of the pressure change in the combustion chamber. A certain pattern of pressure reduction at the end of the compression stroke with the increase of the wear value of cylinders, rings, and piston, which affects the technical condition of the cylinder-piston group, is revealed. The graphs of the dependencies between the considered modeling parameters are presented.

**Key words:** cylinder-piston group, diagnosis, speed, compression, pressure waveform, modes, parameters.

**Л. Л. Тітова** ORCID 0000-0001-7313-1253.

**О. В. Надточій** ORCID 0000-0002-1849-9538.



УДК 631.599.5

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ПОТОКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ПЛОДІВ

В. М. Мартишко, М. С. Волянський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: [vm.mart@ukr.net](mailto:vm.mart@ukr.net).*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 7, рис. 5, табл. 0.*

**Анотація.** Збалансований розвиток всіх ланок АПК – необхідна умова забезпечення країни продовольством, зокрема плодоовочевою сировиною. В даний час слабкий розвиток переробних галузей АПК, виробничої інфраструктури комплексу призводять до значних втрат продукції сільського господарства. Так, втрати зібраних плодів і овочів становлять 40–45%. Потреба в транспортних засобах для садівництва і овочівництва, задовольняється лише на 55–60%.

Одним з найбільш істотних і складних завдань є зменшення ушкоджень і втрат сільськогосподарської продукції, де відповідальна роль відводиться транспортним засобам. Як показав аналіз, в процесі збирання яблук більше 15–20 % продукції не доходить до споживача.

Для внутрішньогосподарського перевезення плодів використовують ящики або контейнери. Плоди зерняткових культур перевозять безтарним способом (в кузовах автомобілів і тракторних причепах). Використання транспортних засобів загального призначення не відповідають агротехнічним вимогам до перевезення плодів, а спеціальні транспортні засоби для перевезення плодів безтарним способом відсутні.

Викладено доцільність використання для потокової технології збирання плодів спеціальних контейнерів-накопичувачів, обґрунтовані основні їх параметри, в тому числі оптимальна вантажопідйомність.

**Ключові слова:** Плоди, потокова технологія, збирання плодів, транспортування, збереженість плодів, механічні пошкодження, оптимальна вантажопідйомність.

### Постановка проблеми

Для внутрішньогосподарського перевезення плодів використовують ящики або контейнери. Часом плоди зерняткових культур перевозять безтарним способом (в кузовах автомобілів і тракторних причепах) [1]. Використання транспортних засобів

загального призначення не відповідають агротехнічним вимогам до перевезення плодів [2]. Спеціальні транспортні засоби для перевезення плодів безтарним способом відсутні [3].

Технологічний процес збирання і транспортування плодів включає в себе ряд операцій, які виконують як вручну, так і за допомогою механізмів та машин в певній послідовності з дотриманням агротехнічних вимог з метою отримання продукції необхідної якості з мінімально можливими затратами.

### Аналіз останніх досліджень

Стабільної інтенсифікації виробництва плодів можна досягти на базі застосування поточкових способів збирання і транспортування [4]. При цьому всі операції – знімання плодів, затарювання в контейнери, транспортування, розвантаження і товарна обробка плодів взаємопов'язані відповідно до технологічного циклу і виконуються з дотриманням чіткої послідовності – в єдиному потоці [5–7]. Обов'язковою умовою при цьому є:

- відсутність розриву в часі між окремими операціями;

- однакова продуктивність окремих ланок.

Таким умовам відповідає запропонована нами технологія внутрішньогосподарського транспортування плодів (рис. 1), яка передбачає збирання, транспортування і вивантаження плодів на лінію товарної обробки плодів в єдиному потоці. Для її виконання запропоновано використовувати контейнери-накопичувачі (транспортний засіб із спеціальним кузовом) і пристрій для розвантаження.

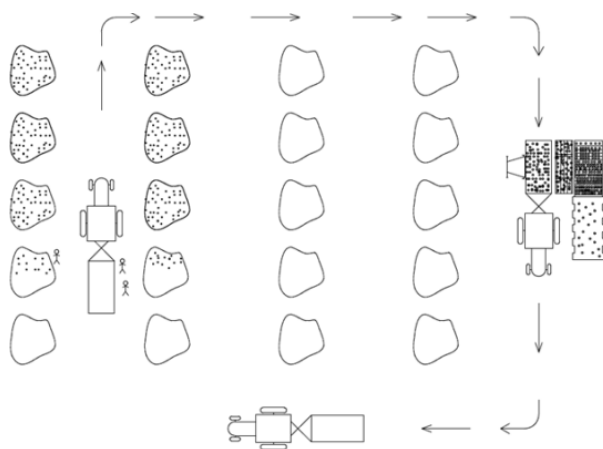
### Мета досліджень

Теоретично довести доцільність використання спеціальних контейнерів-накопичувачів для потокової технології збирання і транспортування плодів та

обґрунтувати основні параметри контейнера-накопичувача, в тому числі його вантажопідйомність.

### Результати досліджень

Суть технології така: контейнер-накопичувач являє собою одновісний причіп із спеціальним кузовом. В агрегаті з трактором заїзжає в сад до місця збирання плодів. Повільно переміщуючись в міжряддях саду, контейнер-накопичувач завантажується яблуками бригадою працівників (15–20 чол.). Після наповнення кузова агрегат рухається до місця розвантаження, а на його місце подається інший агрегат з порожнім контейнеровозом-накопичувачем. Розвантаження проводиться на приймальний пристрій лінії товарної обробки плодів.



**Рис. 1.** Технологія збирання і безтарного транспортування плодів.

**Fig. 1.** Technology of assembly and bulk transport of fruit.

Така технологія відповідає усім основним вимогам потокової технології.

Теоретичними дослідженнями передбачається визначення основних параметрів транспортного засобу та його вантажопідйомності.

Однією із основних задач при створенні транспортних засобів є обґрунтування основних параметрів кузова.

Внутрішні розміри: довжина ( $L$ ); ширина ( $B$ ) і висота ( $h$ ) визначаються оптимальною вантажністю, насипною вагою плодів та обмеженнями за габаритами. Оптимальна вантажопідйомність нами доведена в роботі [2].

За умови оптимальної вантажопідйомності  $Q_{on}$  об'єм кузова  $V_k$  складає:

$$V_k = Q_{on} k / \gamma, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – насипна щільність плодів;

$k$  – коефіцієнт заповнення кузова.

Для визначення розмірів кузова враховано наступне:

а) ширина кузова не перевищує ширини трактора;

б) глибина кузова обмежена допустимими статичними і динамічними навантаженнями, що діють на нижні шари плодів.

Враховуючи наведене, довжина кузова визначається з умови

$$V_k = BLh,$$

звідки

$$L = \frac{V_k}{Bh},$$

або

$$L_k = \frac{Q_{on} k}{Bh\gamma}. \quad (2)$$

З приведених параметрів, які входять в (1) і (2) найбільш важливе значення має глибина кузова  $h$ .

Для її визначення розглянемо розподіл зусиль, які діють на плоди в кузові. Плоди укладаються навалом (насіпом), тому їх можна розглядати як зернисті тіла розпірної структури, до яких застосовуються окремі положення механіки зернистих середовищ.

Плоди, обмежені стінками кузова, розглядаємо як зернисте тіло з такими припущеннями:

- 1) плоди мають певну твердість і здатні передавати зусилля від одного до другого;
- 2) варіювання розмірів окремих плодів відносно середнього розміру носить випадковий характер, що дозволяє безперервно змінювати висоту шару плодів;
- 3) плоди в кузові розміщуються незалежним і випадковим чином і розподіляються в об'ємі тари статично рівномірно з середньою щільністю  $\gamma$ ;
- 4) розміри окремого плода значно менші об'єму кузова.

Для визначення зусиль, що діють на плоди в кузові, необхідно розглянути залежність їх складових від розмірів поперечного перерізу тари і коефіцієнта внутрішнього тертя плодів.

В механіці зернистих матеріалів для визначення вертикального тиску  $G$  на нижні шари від дії верхніх, можна використати аналітичну залежність, яка називається формулою Янсена [2].

Після деяких перетворень названа формула має вигляд:

$$G = \frac{\gamma R}{fn} \left( 1 - e^{-\frac{fnh}{R}} \right), \quad (3)$$

де  $G$  – вертикальний тиск на глибині  $h$ ;

$\gamma$  – щільність плодів;

$R$  – гідравлічний радіус, що дорівнює відношенню площі горизонтального перерізу  $S$  до периметру стінок  $P_0$ ;

$f$  – коефіцієнт внутрішнього тертя плодів;

$n$  – коефіцієнт бокового тиску, який визначається відношенням горизонтальної складової до вертикальної.

Якщо відомо вертикальний тиск, можна знайти силу  $P$ , яка діє на шар плодів з боку шарів розташованих вище, тобто

$$P = GS. \quad (4)$$

Визначаємо статичні сили ( $P_{cm}$ ), що діють на окремі плоди:

$$P_{cm} = P/m, \quad (5)$$

де  $m$  – кількість плодів, які знаходяться в одному шарі.

Визначаємо кількість плодів, які припадають на одиницю площі поперечного перерізу тари ( $K^o$ ):

$$K^o = m/s. \quad (6)$$

Середнє значення показника  $K^o$  для яблук у вигляді форми кулі ( $D_{cp} = 60$  мм) дорівнює 276 шт/м<sup>2</sup>.

Підставивши значення виразу (4) і (5) за умови, що

$$S/m = 1/K^o,$$

запишемо

$$P_{cm} = G/K^o.$$

Тоді, вираз для визначення статичних сил, які діють на окремий плід з боку шарів, які розташовані вище, набуває вигляду:

$$P_{cm} = \frac{\gamma R}{K^o f n} \left(1 - e^{-\frac{fnh}{R}}\right). \quad (7)$$

Із виразу (7) випливає, що статична сила, яка діє на кожний окремий плід, залежить насамперед від висоти шару плодів. Така залежність показана на рис. 2.

Гідравлічний радіус суттєво впливає на величину статичних сил при малих площах поперечного перерізу тари. Із рис. 2 видно, якщо збільшити гідравлічний радіус до 0,2 м – статичні сили різко зростають. За умови  $R < 0,2 > 0,35$  м збільшення статичних сил незначне, а коли  $R > 0,35$ , практично залишаються незмінними. Для існуючої великооб'ємної тари (контейнери) величина гідравлічного радіуса знаходиться в межах 0,22–0,3 м.

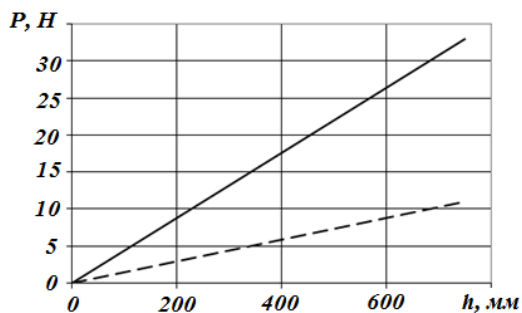


Рис. 2. Залежність сили  $P$ , що діє на плоди, від висоти шару плодів  $h$ : — — — статична сила; — — — сума статичних і динамічних сил.

Fig. 2. Dependence of the force  $P$ , acting on the fruits of the height layer of the fruit.

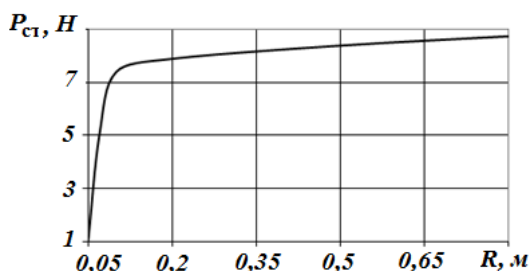


Рис. 3. Вплив гідравлічного радіуса тари на статичні навантаження.

Fig. 3. Effect of the hydraulic radius of the container on the static load.

Отже, якщо далі збільшувати площу поперечного перерізу тари, величина статичного зусилля на окремий плід буде залишатися практично незмінною.

Більшість плодів витримують без суттєвих пошкоджень м'якоти статичне навантаження, створене шаром плодів висотою 1 м і більше.

Небезпечним зусилля стискання плодів стає при динамічному його прикладанні. Для коректування глибини тари на динамічні навантаження, необхідно вибирати найбільш небезпечні коливання транспортних засобів в процесі перевезень плодів.

Допустимі навантаження такі, при яких плід пошкоджується і переходить із вищого товарного сорту в нижчий. Основним критерієм для визначення допустимих навантажень прийнята площа стискання, що дорівнює 1 см<sup>2</sup>. Виходячи з цієї умови, допустиме навантаження при взаємодії яблук одне з одним, для більшості сортів з достатньою точністю, може бути прийнята 50 Н, а при стисканні плоскою жорсткою поверхнею – 55 Н [4]. Враховуючи час прикладання навантаження і кількості їх повторень, введемо коефіцієнт запасу рівним 1,8. Тоді допустиме навантаження дорівнює 30 Н.

Відомо, що повне навантаження, яке діє на плоди, буде дорівнювати сумі статичних і динамічних навантажень

$$P = P_{cm} + P_d. \quad (8)$$

Динамічні навантаження стають на скільки більшими статичних, у скільки діючі прискорення перевищують прискорення вільного падіння, які досягають 1,5 – 2g [4]. Отже, вираз (8) можна записати у вигляді

$$P = P_{cm}(1 + \eta),$$

де  $\eta$  – коефіцієнт динамічності, який показує у скільки разів діючі прискорення перевищують прискорення вільного падіння. За найбільш несприятливих умов транспортування  $\eta$  досягає 2 [4].

Якщо  $\eta = 2$ , тоді повне навантаження в три рази більше статичного, що видно з рис. 2, а сумарна сила досягає величини 30 Н на глибині кузова 0,6 – 0,7 м. Оптимальною можна вважати глибину кузова 0,6 м.

Оптимальну вантажопідйомність контейнера-накопичувача з умови продуктивності роботи працівників в саду і продуктивності лінії товарної обробки. Продуктивність останньої повинна відповідати продуктивності групи працівників, що забезпечує можливість організації збирання плодів потоковим методом.

При обґрунтування вантажопідйомності транспортного засобу (контейнеровоза) необхідно враховувати продуктивність транспортного засобу  $W$  і прямі витрати  $C$ .

Продуктивність агрегата залежить від ряду факторів: відстані перевезень  $L$ , вантажопідйомності, часу навантаження і розвантаження, швидкості руху. Названі фактори взаємопов'язані, наприклад, оптимальна вантажопідйомність в значній мірі залежить від співвідношення продуктивності знімання плодів, завантаження їх в тару, транспортування і розвантаження їх на лінію товарної обробки.

Отже, продуктивність агрегату  $W$  за одну годину роботи при повному використанні вантажопідйомності можна записати так

$$W = \frac{Q_{\text{оп}}}{t_1 + t_2}, \quad (9)$$

де  $Q_{\text{оп}}$  – вантажопідйомність контейнеровоза;

$t_1$  – час руху;

$t_2$  – час завантаження і розвантаження плодів.

Час руху залежить від відстані перевезень  $L$  і середньотехнічної швидкості руху  $V$ , яка враховує швидкість переміщення з вантажем і без вантажу

$$t_1 = \frac{2L}{V}. \quad (10)$$

Час завантаження контейнеровоза

$$t_3 = \frac{Q_{\text{оп}}}{W_{\text{зб}}}, \quad (11)$$

де  $W_{\text{зб}}$  – продуктивність роботи збирачів плодів.

Час розвантаження контейнеровоза з плодами

$$t_4 = \frac{Q_{\text{оп}}}{W_{\text{лто}}}, \quad (12)$$

де  $W_{\text{лто}}$  – продуктивність лінії товарної обробки плодів.

Тоді, час заповнення контейнеровоза і час розвантаження буде дорівнювати

$$t_5 = t_3 + t_4. \quad (13)$$

Після нескладних перетворень вираз (5) матиме вигляд

$$t_5 = \frac{Q_{\text{оп}} k}{W_{\text{зб}}}, \quad (14)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який відповідає відношенню  $\frac{W_{\text{лто}} + W_{\text{лто}}}{W_{\text{лто}}}$ .

Підставивши у рівняння (8) значення часу руху, часу наповнення і розвантаження із виразів (10) і (14) і, зробивши математичні перетворення, отримаємо формулу продуктивності транспортного агрегату з врахуванням усіх факторів, які характеризують процес збирання, транспортування і товарної обробки плодів

$$W = \frac{W_{\text{лто}} V Q_{\text{оп}}}{2LW_{\text{зб}} + kVQ_{\text{оп}}}. \quad (15)$$

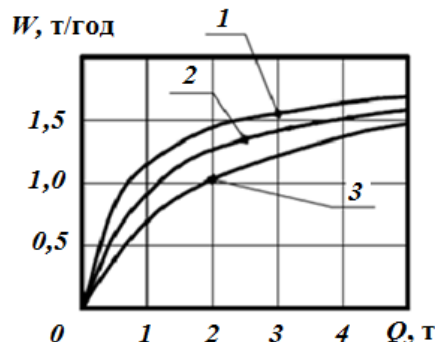
На рис. 4 наведений графік залежності продуктивності транспортного агрегату від його вантажопідйомності, з якого випливає, що зміна продуктивності має гіперболічний характер. При збільшенні вантажопідйомності зростання продуктивності зменшується, це обумовлено тим, що збільшується час завантаження і розвантаження контейнеровоза. Із збільшенням радіуса перевезень продуктивність також зменшується.

Залежність продуктивності агрегату  $W$  від швидкості руху  $V$  і продуктивності збирачів показано на рис. 4. Із збільшенням  $V$  і  $W_{\text{зб}}$  продуктивність транспортного агрегату зростає, особливо при збільшенні  $W_{\text{зб}}$ . Таке явище буде характерно при збільшенні вантажопідйомності, але по мірі збільшення останньої затрати на виготовлення і експлуатацію контейнеровозів зростають.

Для визначення оптимальної вантажопідйомності контейнеровоза, коли в процесі експлуатації затрати будуть мінімальними, необхідно виявити її зв'язок від прямих і питомих витрат.

Відповідно до методики визначення економічної ефективності прямих експлуатаційних витрати включають: заробітну плату працівників,

відрахування на реновацію і капітальний ремонт, відрахування на поточний ремонт і ТО, вартість паливо-мастильних матеріалів та інші витрати.



**Рис. 4.** Залежності продуктивності  $W$  транспортного агрегату від його вантажопідйомності  $Q$  і відстані перевезень  $L$ , за умови:  $V = 15$  км/год, продуктивність роботи збирачів плодів  $W_{\text{зб}} = 2$  т/год і продуктивність лінії товарної обробки  $W_{\text{лто}} = 10$  т/год (1 –  $L = 2$  км; 2 –  $L = 3$  км; 3 –  $L = 4$  км).

**Fig. 4.** Based on the performance  $W$  of the transport assembly from its carrying capacity  $Q$  and the distance of transportation  $L$ .

З урахуванням викладеного прями експлуатаційні витрати  $C$  зростають пропорційно в залежності від вантажопідйомності, що можна показати у вигляді:

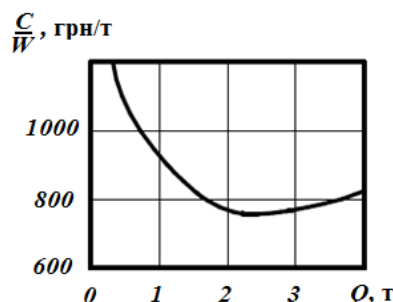
$$C = a + b Q_{\text{оп}}, \quad (16)$$

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти.

Питомі прями витрати  $U$  визначають, як відношення прямих витрат  $C$  і продуктивності агрегату  $W$ , тоді

$$U = \frac{(a + b Q_{\text{оп}})(2LW_{\text{зб}} + kVQ_{\text{оп}})}{W_{\text{зб}}VQ_{\text{оп}}} \quad (17)$$

Залежність питомих експлуатаційних витрат  $\frac{C}{W}$  від вантажопідйомності контейнера-накопичувача  $Q$  показано на рис. 5.



**Рис. 5.** Залежності питомих експлуатаційних витрат від вантажопідйомності контейнера-накопичувача:  $L = 3$  км;  $V = 15$  км/год;  $W_{\text{зб}} = 2$  т/год.

**Fig. 5.** Based on specific operational costs from capacity of container storage.

Для того, щоб визначити вантажопідйомність контейнеровоза-накопичувача, яка відповідає мінімуму питомих прямих затрат необхідно продиференціювати вираз по  $Q_{\text{оп}}$ , в результаті отримаємо:

$$U_Q^1 = -\frac{1.6L}{V} Q^2 + \frac{bk}{W_{36}} \quad (18)$$

Якщо прирівняти праву частину рівняння (18), отримаємо

$$Q_{оп} = \sqrt{\frac{1.6LW_{36}}{bkV}}$$

За умови, якщо  $L = 3$  км,  $W_{36} = 2$  т/год,  $V = 15$  км/год і  $K = 1,2$  – оптимальна вантажопідйомність контейнера-накопичувача 2,5 т.

### Висновки

1. Для безтарного транспортування плодів розміри контейнера-накопичувача приймають з умови оптимальної вантажопідйомності, яка обумовлена продуктивністю роботи працівників на збирання плодів і продуктивністю лінії товарної обробки плодів.

2. Габаритні розміри кузова обмежені допустимими навантаженнями від дії верхніх шарів на нижні від дії вібрації, а також загальними транспортними вимогами.

### Список літератури

1. Демидко М. Е., Мартышко В. Н. Новая технология траспортировки плодов. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1987. №12. С. 24-25.
2. Мартышко В. М. Обгрунтування вантажопідйомності контейнеровоза для потокового збирання плодів. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ. 1998. Т. 9. С. 110-119.
3. Красников В. В. Подъемно-транспортные машины, 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Колос, 1981. 263 с.
4. Четвертаков А. В. Сопротивление яблок статическому сжатию. Труды ВНИИС имени И. В. Мичурина, Вып. 15, Мичуринск, 1971. С. 240–245.
5. Левачев Н. А., Каверин В. А. К вопросу определения размеров контейнеров для транспортирования плодов. Консервная и овоще-сушильная промышленность. 1971. №4. С. 20–21.
6. 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. 141–146. Scopus. WoS.
7. Ivan Rogovskii, Luidmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko. Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61) No. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10> pp. 117-128. Scopus.

### References

1. Demidko M. O., Martyshko V. M. (1987). New technology for fruit transportation. Mechanization and electrification of agriculture. №12. 24-25.
2. Martyshko V. M. (1998). Substantiation of the load capacity of the container ship for the current harvesting of fruits. Scientific Bulletin of NAU. Vol. 9. Kyiv. 1998. 110-119.
3. Krasnikov V. V. (1981). Lifting-transport machines, 3rd ed., Reworking. and ext. Moscow: Colossus, 263.
4. Chetvertakov A. V. (1971). Apples resistance to static compression. Proceedings of VNIIS them. IV Michurina, vol. 15, Michurinsk, 240-245.
5. Levachev N. A., Kaverin V. A. (1971). The question of determining the size of containers for transporting fruits. Canning and vegetable drying industry. №4. 20-21.
6. 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. Vol. 57. No 1. 141-146. Scopus. WoS.
7. Ivan Rogovskii, Luidmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko. (2019). Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Vol. 12 (61) No. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10>. 117-128. Scopus.

### ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ ПЛОДОВ

В. Н. Мартышко, М. С. Волянский

**Аннотация.** Сбалансированное развитие всех звеньев АПК – необходимое условие обеспечения страны продовольствием, в частности плодоовощным сырьем. В настоящее время слабое развитие перерабатывающих отраслей АПК, производственной инфраструктуры комплекса, приводят к значительным потерям продукции сельского хозяйства. Так, потери собранных плодов и овощей составляют 40–45%. Потребность в транспортных средствах для садоводства и овощеводства удовлетворяется лишь на 55–60%.

Одной из наиболее существенных и сложных задач является уменьшение повреждений и потерь сельскохозяйственной продукции, где ответственная роль отводится транспортным средствам. Как показал анализ, в процессе сбора яблок более 15–20 % продукции не доходит до потребителя.

Для внутривозовых перевозок плодов используют ящики или контейнеры. Плоды семечковых культур перевозят бестарным способом (в кузовах автомобилей и тракторных прицепах). Использование транспортных средств общего

назначения не отвечает агротехническим требованиям к перевозке плодов, а специальные транспортные средства для перевозки плодов бестарным способом отсутствуют.

Изложена целесообразность использования для поточной технологии сбора плодов специальных контейнеров-накопителей, обоснованы основные их параметры, в том числе оптимальная грузоподъемность.

**Ключевые слова:** плоды, поточная технология, уборка плодов, транспортирование, сохранность плодов, механические повреждения, оптимальная грузоподъемность.

#### SUBSTANTIATION OF VEHICLE PARAMETERS FOR IN-LINE FRUIT HARVESTING TECHNOLOGY

*V. M. Martyshko, M. S. Volyanskij*

**Abstract.** The balanced development of all parts of the agro-industrial complex is a necessary condition for providing the country with food, in particular fruit and vegetable raw materials. Currently, the weak development of the processing sectors of the agro-industrial complex, the production infrastructure of the complex, leads to significant losses in agricultural products. So, the loss of collected fruits and vegetables is 40–45%. The need for vehicles for horticulture and vegetable growing is satisfied only for 55–60%.

One of the most significant and complex tasks is to reduce damage and loss of agricultural products, where vehicles have a crucial role. Due to the analysis, more than 15–20% of the product does not reach the consumer during the process of collecting apples.

Boxes or containers are used for on-farm transportation of fruits. The fruits of pome crops are transported in bulk (in car bodies and tractor trailers). The use of general purpose vehicles does not meet the agro-technical requirements for the transportation of fruits, and there are no special vehicles for transporting fruit in bulk.

The expediency of using of special storage containers for fruit harvesting technology is stated, their main parameters are substantiated, including optimal load capacity.

**Key words:** fruits, streaming technology, harvesting, transportation, fruit preservation, mechanical damage, optimal load capacity.

**В. М. Мартишко** ORCID 0000-0002-9846-7455.

**М. С. Волянський** ORCID 0000-0002-3597-9365.

UDC 331.1: 378.091.39

## **BUSINESS GAMES FOR LABOR SAFETY AS EFFECTIVE INSTRUMENT FOR IMPROVING WORKPLACE KNOWLEDGE OF FUTURE AGRICULTURAL ENGINEERS**

**O. V. Voinalovych, S. M. Holopura**

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

*Article from specialty 133 – industry engineering.*

*Corresponding authors: voynalov@bigmir.net.*

*Article history: Received: March 2019. Received in the revised form: April 2019. Accepted: August 2019.*

*Bibl. 13, fig. 2, tabl. 1.*

**Abstract.** The article is devoted to the theoretical and practical analysis of the use of the business game method for professional training of agricultural engineers. It is noted that the problem of using the game in the system of socio-pedagogical work is widely represented in terms of pedagogy in general research. At the same time, we see a shortage of domestic research devoted to the development of theoretical foundations and to improve the practice of using business games as an active method of training future agricultural engineers. The specificity of game activity is defined, which is in the direction of preventive, preventive orientation of the game as a method of organizing meaningful training of future specialists.

The purpose of the research is to develop, scientifically substantiate and experimentally test the methodology of business game “Organization of performance appraisal on working conditions at the enterprise”, aimed at familiarizing students with the procedure of assessing the degree of harm in the workplace of agricultural production. The result of such games can be both the direct development of personality traits and the demonstration of practical training of agricultural research engineers. Playing certain situations, involving the participants of the game in a situation of choice is a real way of developing a creative personality, namely its qualities such as creative interest, inquisitiveness, desire to know yourself, self-confidence, creative optimism.

In this paper, the degree of mastering of educational material by students after conducting practical lessons in the form of the business game is analyzed in comparison with students of control groups, in which this topic was presented in a lecture form. The form of student evaluation was to answer the test tasks and descriptive questions of the module. The average scores of the 100-point system responses were compared with the results of the controls in the control groups, taking into account the overall score of the groups in the academic year.

**Key words:** business game, occupational safety and health, job attestation on working conditions, production situation, degree of mastering of educational material.

## **Introduction**

Studying the disciplines of the complex “Occupational Safety and Health (Professional Safety)” is aimed not only at introducing students to the scientific and practical foundations of these disciplines, but also at mastering future specialists of a high level of knowledge and skills in the field of occupational safety, ie assimilation of occupational safety culture. This can be achieved through the formation of the student's personality, who will ensure compliance with occupational safety and health standards at work, guided by the current occupational safety normative documents, able to develop and implement them. A rationally organized system of training in the study of vocational disciplines should be the basis and one of the determining factors for the formation of the personality of the modern manager of agro-industrial production.

## **Formulation of problem**

The urgency of writing the article is due to the ever-growing need to find new, scientifically substantiated, practically meaningful and methodologically expedient ways of successful training of agricultural engineers [1] during the study of the discipline “Occupational Safety and Health”. Together with modern teaching methods (explanatory-illustrative, sign-contextual, case method, etc.), game methods [2] are very effective approaches to the study of innovative technologies in the training of specialists [3], allowing for a flexible, conscious, successful person-parties, able to think outside the box, to solve urgent questions and to predict the future activity of the enterprise.

Educational business games are such methods (forms) of learning in which they model certain aspects of production activity, which are accompanied by problematic situations [4, 5], which should help students to acquire organizational skills in the field of occupational safety. Solution of possible problems (problems) at the stages of development develops in students creative and practical thinking, forms the ability to analyze the consequences and circumstances of production activities, and on their basis to make informed recommendations. Educa-

tional business game encourages students to independently search for solutions to production problems, simulates situations of practical use of the obtained theoretical knowledge, and forms the skills of working in the workforce.

### Analysis of recent research results

Well-known scientists were engaged in the development of game forms and methods of using the game in the professional training of future specialists: L. Vygotsky, B. Likh-chov, A. Verbitsky, A. Livshits, T. Khlebnikova, G. Se-levko, E. Khrutsky et al. [6 - 8]. In the works of L. Vygotsky, V. Platov, D. Elkonin it is argued that the business game is a pedagogical tool and an active form of learning, which shapes educational activity and develops professional skills [9]. G. Ab-Ramova, V. Stepanovich, I. Kuleshov emphasize that business play is an important condition for stimulating interest in knowledge [9], a method of active learning that contributes to the achievement of specific tasks, structuring the system of business relationships of participants.

Its structural elements are the designing of reality, the conflict of the situation, the activity of the participants, the appropriate psychological climate, interpersonal and intergroup communication, the solution of problems formulated at the beginning of the game, which as a result creates conditions for improving the effectiveness of the educational process.

Based on the analysis of numerous publications [4 - 9] we can conclude that the production activity of the modern manager is characterized by the ability to independently obtain the necessary information, quickly navigate in non-standard situations, constantly improve the level of their professional knowledge. A prerequisite for the selective character of cognitive activity is the focus of future research engineers on agricultural mechanization on objects of cognition. [1].

Therefore, higher education can not meet modern requirements, if the educational process does not pay attention to students' acquisition of the system of skills and skills, through their own experience, search and understanding [1].

The amount of information in the field of occupational safety and health is changing so fast that it is impossible to summarize it at lectures and completely absorb it [12].

The most effective form of practical training of students in occupational safety disciplines is a business game - which helps to supplement and consolidate the knowledge acquired during the study of the theoretical course of occupational safety, to enhance the creativity of students, to develop skills in working with regulatory legal acts. work and with reference literature, learn how to independently solve labor protection issues in project documentation, gain experience in performing engineering calculations based on labor protection documents (to be used on Ali diploma in design and in the future in the Nairn in the field), to prepare for self-ment develop measures to create a safe and friendly working environment in all sectors of the production [10 - 13].

### Purpose of research

Develop and implement a business game "Organization of performance appraisal of workplaces at the enterprise", aimed at familiarizing students with the procedure of assessing the degree of harm in the workplace of agricultural production.

### Results of research

The studies were conducted among students of the Faculty of Mechanical and Technological Faculty of NULES of Ukraine in Kyiv. where classes were conducted in the form of a business game. The degree of mastering the learning material by the students on the 100-point system in the study and control groups was analyzed (tab. 1).

**Table 1.** Results of the conducted assessment of students' knowledge on the topic "Organization of workplace certification under working conditions at the enterprise" and the average score of groups for the academic year, in the control and research groups.

| Control groups                           |         |         | Study groups |         |         |
|------------------------------------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| group 1                                  | group 2 | group 3 | group 4      | group 5 | group 6 |
| 74                                       | 60      | 74      | 91           | 86      | 80      |
| 88                                       | 74      | 90      | 88           | 95      | 82      |
| 68                                       | 77      | 82      | 74           | 79      | 74      |
| 64                                       | 68      | 74      | 68           | 89      | 68      |
| 74                                       | 78      | 60      | 75           | 78      | 85      |
| 86                                       | 82      | 70      | 89           | 92      | 90      |
| 90                                       | 74      | 74      | 92           | 74      | 82      |
| 60                                       | 76      | 80      | 74           | 83      | 74      |
| 68                                       | 70      | 79      | 74           | 84      | 77      |
| 76                                       | 75      | 90      | 93           | 75      | 80      |
| 61                                       | 74      | 75      | 90           | 87      | 75      |
| 91                                       | 60      | 62      | 92           | 76      | 68      |
| 80                                       | 75      | 74      | 84           | 90      | 90      |
| 76                                       | 90      | 76      | 74           | 60      |         |
| 80                                       | 60      | 65      | 90           | 74      |         |
| 76                                       | 74      | 65      | 80           | 82      |         |
| 74                                       | 74      | 74      | 70           | 93      |         |
| 75                                       | 60      | 70      | 92           | 74      |         |
| 74                                       | 60      | 60      |              | 73      |         |
| 60                                       | 82      |         |              | 64      |         |
|                                          | 74      |         |              | 71      |         |
|                                          | 82      |         |              | 60      |         |
|                                          |         |         |              | 67      |         |
|                                          |         |         |              | 74      |         |
| The average values of the control module |         |         |              |         |         |
| 71,9                                     | 72,68   | 73,36   | 77,95        | 78,33   | 78,84   |
| Average performance values               |         |         |              |         |         |
| 81                                       | 73,65   | 75,25   | 78           | 73,15   | 75      |

As noted above, the distinctive feature of a business game is the presence of a simulation model. The structure of a business game involves the following main stages: preparation, conducting the game, analyzing and generalizing its results. Development begins with defining the purpose and objectives of the game, formulating require-

ments for participants in the business game. The purpose of the game has two aspects: motivational and didactic.

Here is a procedure for conducting a business game that was conducted with students - future agro-engineers. After acquaintance with the methodical recommendations-we on performance appraisal of workplaces (according to the decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine of August 1, 1992 N 442) and the description of production conditions (according to the appendix "Input data of business game") From the students are formed attestation commissions, the participants determine the duties, functions and rights of each member of the commission. Each group is provided by LAOS 0.00-6.23-92 "On the procedure of attestation of workplaces under working conditions", methodical instructions for measuring the parameters of production environment and forms. In particular, this is a form of the task for the execution of the game, the form of Maps of working conditions, the classification parameter of the parameters of the production environment, as well as instruments: a multifunctional meter of the parameters of the production environment and universal gas analyzer.

Participants of the game should outline a plan for performance appraisal of workplaces based on working conditions, taking into account the plans of equipment placement, define boundaries of workplaces (work zones), make a list of workplaces subject to appraisal. The Commission shall determine the volume of studies of harmful and hazardous environmental factors and shall organize those studies. Participants of the game write from the Occupational safety and health documents (directories)

normative (permissible, optimal) values of the parameters of the industrial environment, which correspond to the place and time of performance appraisal of workplaces.

Subgroups of students make up for each accounting-not workplace or group of similar places of the Working Conditions Map in accordance with the protocols of research of production factors, by means of the classifier establish the degree of exceedance of the measured parameters relative to the normative ones. The number of environmental factors exceeding regulatory values is calculated. Determine to what class and level the conditions and nature of work in the given workplace (of the specified profession) belong. They formulate recommendations for improving working conditions, their economic justification, as well as proposals for establishing benefits and compensations for working in hazardous and dangerous conditions.

The results of the performance appraisal depend on whether employees will receive benefits and compensation for long-term working conditions in accordance with labour-law legislation. Often, the problem is that management does not want to be certified due to its high cost and the need to improve working conditions, eliminating (reducing the impact) of harmful production factors.

Checking the effectiveness of the implementation of the new teaching methodology for the assimilation of the material was due to the preparation of reports on the work performed and demonstration of presentations of the obtained results.

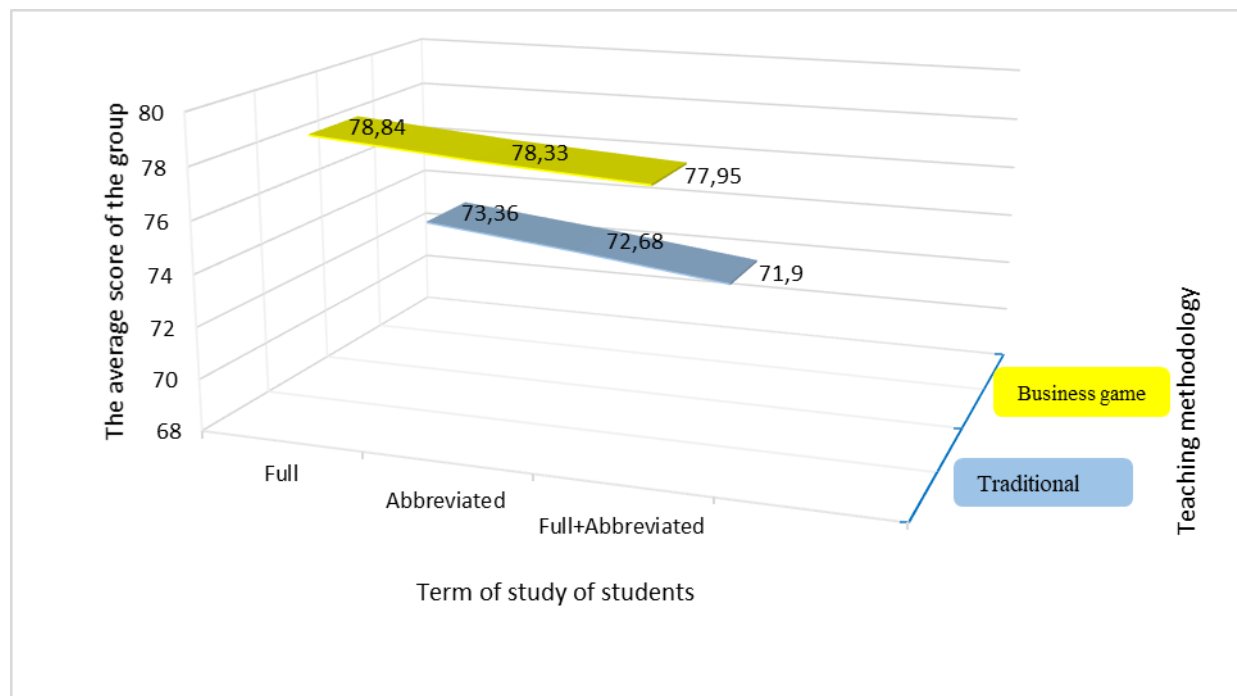


Fig. 1. Results of students' certification for the module for different methods of teaching the discipline.

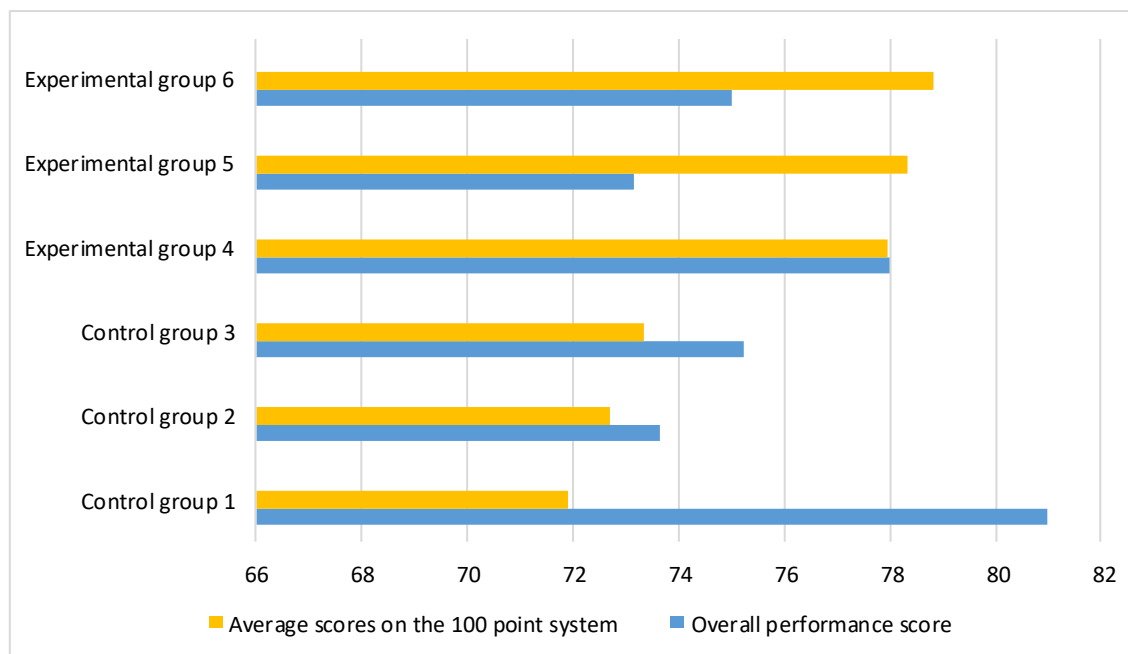
After conducting practical exercises in the form of a business game, the degree of mastering of educational material by students was analyzed in comparison with students of control groups, in which this topic was presented in a lecture form. Form of evaluation of field-gala students in the answers to the test tasks and descriptive

questions of the training module. The average response scores for the 100-point system were compared with the results of the assessments in the control groups, taking into account the overall score of the groups in the academic year.

Statistical analysis of the results of the research was performed using the Microsoft Excel 2003 computer program. The obtained data showed that the level of knowledge of students in the groups, where the practical classes were conducted in the form of business games, was significantly higher than the students of the control groups (Fig. 1). The average score of the responses in the control groups was 72.65 points, and in the experimental groups - 78.37. The standard deviation from the mean is  $\pm 0.434$  and  $\pm 0.271$ , respectively.

To find out how significantly different indicators of one sample of the studied results from the other, as students of the study groups received higher scores than the test ones, the Student's criterion was determined to be 11,198. Measurement accuracy had the highest significance level ( $p < 0.001$ ).

Comparing the data of averages of responses from the control module of students on a 100-point system with the total score of groups' success in the academic year, the inverse correlation between the two sets of data was found. The strength of the correlation was  $-0.34389$ , that is, in the range of  $\pm 0.1$  to  $\pm 0.29$ , according to the scale is a weak dependence, as evidenced by the level of significance. The total academic achievement of students from all disciplines in the year in the control groups was higher than the results of the control module on the topic "Organization of workplace certification for working conditions at the enterprise", and, conversely, in one of the study groups, these values were almost equal and still in two, the results of the test module were much higher than the average score (Fig. 2).



**Fig. 2.** Comparison of averaged response scores on a 100-point system with the total score of groups for the academic year.

It is established that the use of the developed business game in the educational process has allowed increasing the level of assimilation of material on organizational issues of occupational safety by 8%.

The described method of preparation and conduct of a business game "Organization of performance appraisal of workplaces at the enterprise" can be used as one of the active teaching methods that allow the students to act independently in the simulated situation. The analysis of different ways of solving the situation, actions, methods and ways of coping with critical situations contributes to a significant improvement of the quality of the educational process and the accumulation of experience. Business games in the educational process allow future professionals to form not only certain professional skills but also certain professional and moral personality traits under the conditions of fulfilling their professional duties: efficiency, diligence, honesty, initiative and principle [12].

## Conclusions

1. It is shown that the use of the developed business game "Organization of performance appraisal on working conditions at the enterprise" in the educational process allowed to increase the level of assimilation of material on organizational issues of occupational safety and health by 8%.

2. The described method of preparation and conduct of a business game can be used as one of the active teaching methods, which allow students a certain time to act independently under the conditions of a simulated situation. Analysis of the development of the situation, different ways of solving it, actions, methods and ways of getting out of critical situations contributes to a significant improvement in the quality of the educational process and the accumulation of experience.

## References

1. *Oliynyk N. A.* (2018). Teaching Methods of Future Agro-Engineers. Pedagogics of Creating Creative Personality in Higher and General Education Schools: Coll. Sciences. BC. Zaporozhye: KPU, Issue. 60. vol. 2. 134-138.
2. *Vasilenko O. V.* (2015). Experience of application of modern methods of training in the preparation of specialists of restaurant business in higher educational establishments. Scientific Notes. Series: Problems of Methods of Physical, Mathematical and Technological Education, Issue. 7 (I). 118-121.
3. *Dereza O. O., Dereza S. V.* (2017). Business Game and its Possibilities in the Professional Training of Future Engineers. Collection of scientific and methodological works: Improvement of the educational process in higher education. No. 20. Melitopol, 100-105.
4. *Litvinov A. S.* (2017). Pedagogical Provision of Innovations in Education: Educ. manual for the general Sciences. ed. ped. Prof. V.V. Borisova. Sumy. University Book, 265.
5. *Oliynyk N. Yu.* (2015). Efficiency of game models of teaching in the system of modern higher education. Scientific notes. Series: Problems of Methods of Physical, Mathematical and Technological Education, Issue. 7. 70-75.
6. *Vanyushin V. N., Gvozdkov S. V., Lavrentyev A. R., Orlova L. A.* (2015). Businessgame in training: a scientific and practical search. Dzerzhinsk: Kon-Cord Publishing House, 131.
7. *Orlova L. A.* (2015). Law and Rules of the Game: Monograph, ed. Doctor of Law, prof. V.M. Baranova. Moscow. Yurlitinform Publishing House, 230.
8. *Lipkovich I. E., Taran E. A., Orischenko I. V.* (2015). Business games: a training tool. Azov-Black Sea Engineering Institute of the State Security Institute of the State Higher State Technical University in Zernograd. Zernograd, 63.
9. *Kocherga O.* (2012). Use of the business game in the process of formation of social responsibility of future primary school teachers. Problems of modern teacher preparation № 6 (Part 3), 49-56.
10. *Voynalovich O.* (2011). Modern approaches to the organization of intensive training in labor safety. Collection of scientific papers of the 10th international scientific and technical conference "Safety of life and activity people - education, science, practice", Kyiv. Center for Educational Literature, Vol. 1. 116-121.
11. *Sekacheva L. M.* (2012). Innovations in training occupational safety: problems of introduction. Modern problems of science and education. № 2. 105-112.
12. *Yatsuh O. V.* (2018). Application of the newest teaching aids and problems of their introduction during the professional training of masters in civil security. All-Ukrainian Scientific-Practical Magazine "Headmaster, Lyceum, Gymnasium". Special Topic Issue "Higher Education of Ukraine in the Context of Integration into the European Educational Space". №6. Book. 2. Volume III (81). Kyiv. Gnosis, 382-392.
13. *Voinalovych Oleksandr, Hnatiuk Oleg, Rogovskii Ivan, Pokutnii Oleksandr.* (2019). Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 563-269. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N245. Scopus.

## Список літератури

1. *Oliynyk N. A.* Teaching Methods of Future Agro-Engineers. Pedagogics of Creating Creative Personality in Higher and General Education Schools: Coll. Sciences. BC. Zaporozhye: KPU, 2018. Issue. 60. vol. 2. 134-138.
2. *Vasilenko O. V.* Experience of application of modern methods of training in the preparation of specialists of restaurant business in higher educational establishments. Scientific Notes. Series: Problems of Methods of Physical, Mathematical and Technological Education, 2015. Issue. 7 (I). pp. 118-121.
3. *Dereza O. O., Dereza S. V.* Business Game and its Possibilities in the Professional Training of Future Engineers. Collection of scientific and methodological works: Improvement of the educational process in higher education. No. 20. Melitopol, 2017. P. 100-105.
4. *Litvinov A. S.* Pedagogical Provision of Innovations in Education: Educ. manual for the general Sciences. ed. ped. Prof. V.V. Borisova. Sumy. University Book, 2017. 265 p.
5. *Oliynyk N. Yu.* Efficiency of game models of teaching in the system of modern higher education. Scientific notes. Series: Problems of Methods of Physical, Mathematical and Technological Education, 2015. Issue. 7. pp. 70-75.
6. *Vanyushin V. N., Gvozdkov S. V., Lavrentyev A. R., Orlova L. A.* Businessgame in training: a scientific and practical search. Dzerzhinsk: Kon-Cord Publishing House, 2015. 131 p.
7. *Orlova L. A.* Law and Rules of the Game: Monograph, ed. Doctor of Law, prof. V.M. Baranova. Moscow. Yurlitinform Publishing House, 2015. 230 p.
8. *Lipkovich I. E., Taran E. A., Orischenko I. V.* Business games: a training tool. Azov-Black Sea Engineering Institute of the State Security Institute of the State Higher State Technical University in Zernograd. Zernograd, 2015. 63 p.
9. *Kocherga O.* Use of the business game in the process of formation of social responsibility of future primary school teachers. Problems of modern teacher preparation № 6 (Part 3), 2012. P. 49-56.
10. *Voynalovich O.* Modern approaches to the organization of intensive training in labor safety. Collection of scientific papers of the 10th international scientific and technical conference "Safety of life and activity people - education, science, practice", Kyiv. Center for Educational Literature, 2011. Vol. 1. P. 116-121.
11. *Sekacheva L. M.* Innovations in training occupational safety: problems of introduction. Modern problems of science and education. 2012. № 2. P. 105-112.
12. *Yatsuh O. V.* Application of the newest teaching aids and problems of their introduction during the professional training of masters in civil security. All-Ukrainian Scientific-Practical Magazine "Headmaster, Lyceum,

Gymnasium". Special Topic Issue "Higher Education of Ukraine in the Context of Integration into the European Educational Space". №6. Book. 2. Volume III (81). Kyiv. Gnosis, 2018. P. 382-392.

13. Voinalovych Oleksandr, Hnatiuk Oleg, Rogovskii Ivan, Pokutnii Oleksandr. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 563-269. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N245. Scopus.

### ДІЛОВІ ІГРИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЗНАНЬ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

*О. В. Войналович, С. М. Голопура*

**Анотація.** Стаття присвячена теоретичному і практичному аналізу використання методу ділової гри у професійній підготовці інженерів сільськогосподарського виробництва. Відзначається, що проблема використання Гри в системі соціально-педагогічної роботи широко представлені в плані педагогіки в цілому дослідження. У той же час ми бачимо дефіцит вітчизняних досліджень, присвячених розробці теоретичних основ і вдосконалення практики використання ділових ігор як активного методу навчання майбутніх інженерів сільськогосподарського виробництва. Специфіка ігрової діяльності визначено, що в напрямку превентивної, профілактичної спрямованості гри як засобу організації змістовного підготовки майбутніх фахівців.

Мета дослідження-розробити, науково обґрунтувати та експериментально апробувати методику ділової гри "організація атестації за умовами праці на підприємстві", спрямована на ознайомлення учнів з порядком оцінки ступеня шкоди на виробництві сільськогосподарської продукції. Результатом таких ігор можуть бути як прямі, розвитку особистісних якостей і демонстрації практичної підготовки інженерів сільськогосподарських досліджень. Грати в певних ситуаціях, з залученням учасників гри в ситуацію вибору-це реальний шлях розвитку творчої особистості, а саме такі його якості, як творчий інтерес, допитливість, бажання пізнати себе, впевненість у собі, творчий оптимізм.

В даній роботі, ступінь засвоєння навчального матеріалу студентами після проведення практичних занять у формі ділової гри аналізується в порівнянні зі студентами контрольних груп, в яких ця тема була представлена в формі лекцій. Форми оцінки студент повинен був відповісти на тестові завдання та описові питання модуля. Середній бал за 100-бальною системою відповіді були зіставлені з результатами контролю у контрольних групах, враховуючи загальний результат групи у навчальному році.

**Ключові слова:** ділова гра, безпека та гігієна праці, кваліфікаційні атестації за умовами праці,

виробничої ситуації, ступінь засвоєння навчального матеріалу.

### ДЕЛОВЫЕ ИГРЫ ПО ОХРАНЕ ТРУДА КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЗНАНИЙ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

*А. В. Войналович, С. Н. Голопура*

**Аннотация.** Статья посвящена теоретическому и практическому анализу использования метода деловой игры в профессиональной подготовке инженеров сельскохозяйственного производства. Отмечается, что проблема использования Игры в системе социально-педагогической работы широко представлены в плане педагогики в целом исследования. В то же время мы видим дефицит отечественных исследований, посвященных разработке теоретических основ и совершенствование практики использования деловых игр как активного метода обучения будущих инженеров сельскохозяйственного производства. Специфика игровой деятельности определено, что в направлении превентивной, профилактической направленности игры как способа организации содержательной подготовки будущих специалистов.

Цель исследования-разработать, научно обосновать и экспериментально апробировать методику деловой игры "организация аттестации по условиям труда на предприятии", направленная на ознакомление учащихся с порядком оценки степени вреда на производстве сельскохозяйственной продукции. Результатом таких игр могут быть как прямые, развития личностных качеств и демонстрации практической подготовки инженеров сельскохозяйственных исследований. Играть в определенных ситуациях, с привлечением участников игры в ситуацию выбора-это реальный путь развития творческой личности, а именно такие его качества, как творческий интерес, любознательность, желание познать себя, уверенность в себе, творческий оптимизм.

В данной работе, степень усвоения учебного материала студентами после проведения практических занятий в форме деловой игры анализируется в сравнении со студентами контрольных групп, в которых эта тема была представлена в форме лекций. Формы оценки студент должен был ответить на тестовые задания и описательные вопросы модуля. Средний балл по 100-бальной системе ответы были сопоставлены с результатами контроля в контрольных группах, учитывая общий результат группы в учебном году.

**Ключевые слова:** деловая игра, безопасность и гигиена труда, квалификационные аттестации по условиям труда, производственной ситуации, степень усвоения учебного материала.

**O. V. Voinalovych** ORCID 0000-0002-9321-2672.

**S. M. Holopura** ORCID 0000-0001-9531-5344.

УДК 661.068

## ШНЕКОВИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ФІЛЬТРАТУ ІЗ ЗЕРНОВОЇ БАРДИ

І. В. Фльонц<sup>1</sup>, І. І. Чвартацький<sup>1</sup>, Р. В. Шатров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України  
«Бережанський агротехнічний інститут», Україна.

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: flonc\_igor@ukr.net, igorchvartatskiy@gmail.com, rvshatrov@outlook.com.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 9, рис. 4, табл. 1.*

**Анотація.** Виконано аналіз застосування сучасних шнекових сепараторів для зневоднення рідких органічних субстратів, як агропромислового комплексу, так і в інших галузях народного господарства. Запропоновано технологічну схему і розроблено конструкцію шнекового сепаратора для зневоднення спиртової зернової барди. Основною особливістю запропонованого шнеково-пресового сепаратора є двохстадійний процес зневоднення вхідного субстрату.

Рідкий розчин субстрату потрапляє у першу зону шнекового сепаратора, де крізь отвори циліндра попереднього віджиму видаляється рідка фракція – фугат, а тверда фракція – кек потрапляє в другу зону. У другій зоні попередньо віджати кек служить фільтром тонкої очистки крізь яку під тиском проходить фугат, який виділився з першої зони і має в собі ще багато твердих речовин у рідкій фазі таких як наприклад дріжджовий осад у барді. Таким чином, фугат очищується і виходить крізь отвори циліндру остаточного віджимання.

Внаслідок проведених науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, створено новий шнековий сепаратор. Використання двоетапної системи зневоднення рідких субстратів у шнековому сепараторі дозволить значно знизити вміст сухих речовин у рідкій фазі.

**Ключові слова.** барда зернова, фугат, кек, шнековий сепаратор, зневоднення, фільтр, шнек.

### Постановка проблеми

Сучасні шнекові сепаратори для зневоднення спиртової барди, які використовуються в технологічних процесах спиртової промисловості в своїй більшості використовують зусилля, яке передається на лопаті шнека для збільшення тиску у міжвитковому просторі витискають рідку фазу з субстрату через фільтрувальні отвори. Однак через великий діаметр цих отворів значна частина дрібних частинок, таких як дріжджовий осад, просто

вимивається. Що не дозволяє повністю забезпечити видалення сухих речовин із рідкої фази.

В той же час такі методи як, декантація, фільтрування є малопродуктивні і потребують значних затрат часу і коштів. [1, 2, 3].

### Аналіз останніх досліджень

Виробництво біоетанолу в світі у даний час набуває широкого розповсюдження. Це пов'язано з тим що, він використовується у якості добавок до бензину для зменшення використання нафтової сировини і підвищення октанового числа. На даний час у багатьох країнах світу (США країни ЄС) на законодавчому рівні затверджено вміст у бензині таких біокомпонентів, як біоетанол.

Найбільшими виробниками етанолу є США, Бразилія, Європа, Китай і Канада. З розвитком спиртової промисловості, що спричинений широким застосуванням спирту як біопалива, виникла проблема утилізації відходів [4, 5].

Найбільшою проблемою є утилізація післяспиртової барди (ПСБ), яка в натуральному вигляді має обмежений попит на ринку, оскільки не підлягає довготривалому зберіганню (розвиток гнилісних процесів), а також потребує значних витрат на доставку споживачу [6-9]. Тож вдосконалення шнекового сепаратора шляхом повторного використання попередньо віджатого кеку у якості фільтру тонкої очистки фугату дозволить покращити якісні показники зневоднення рідкої зернової барди.

### Мета досліджень

У даній статті поставлено задачу підвищення ефективності очищення фільтрату зменшенням вмісту сухої речовини в ньому, шляхом використання віджатого кеку у вигляді фільтрувального елемента для неочищеного фугату.

### Результати дослідження

Виходячи з поставленої задачі пропонується конструкція шнекового сепаратора [7], який виконаний вигляді подвійного шнекового преса, який являє собою корпус, що складається з циліндрів переднього та остаточного віджимання з отворами для фільтрату жорстко з'єднаними між собою з'єднувальними циліндрами з фігурною вставкою з отвором для подачі фільтрату барди після попереднього віджимання. В середині розміщені шнеки попереднього та остаточного віджиму, що з'єднані муфтою. Ці шнеки по краях закріплені на валах, до яких приводиться крутний момент на виконання корисної роботи. Субстрат подається через лійку, яка закріплена у верхній частині. Вивантаження кеку проходить через патрубок у задній частині корпусу. Рідка фракція збирається у

місткості для фільтратів попереднього та остаточного віджиму під шнековим сепаратором.

Принцип роботи показаний на рис. 1 і 2 та полягає в наступному.

Крутний момент передається від електродвигуна через пасову передачу на шків 2, який жорстко закріплений на валу 1.

Далі крутний момент подається на шнек попереднього віджимання 3, з'єднувальну муфту 5, шнек остаточного віджимання 4 і вал 6, які жорстко з'єднані між собою і вільно обертаються на підшипникових вузлах 12, 13. Зернова барда дозовано подається у лійку 15, звідки попадає на лопаті шнека 3 і просувається ними далі по зоні А. Внаслідок того, що площа поперечного січення на виході із з'єднувальної муфти 5 значно менша від площі поперечного січення у міжвитковому просторі, тиск у цій камері зростає, це створює сприятливі умови для видалення фільтрату барди через отвори 8.

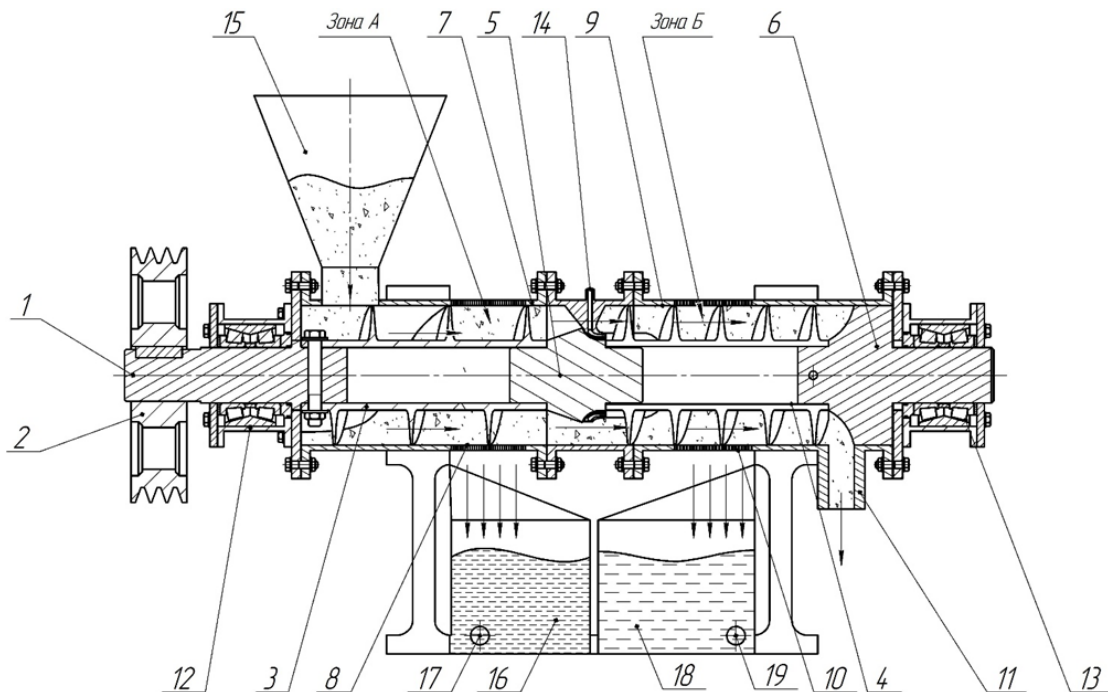


Рис. 1. Шнековий сепаратор для видалення фільтрату із зернової барди:

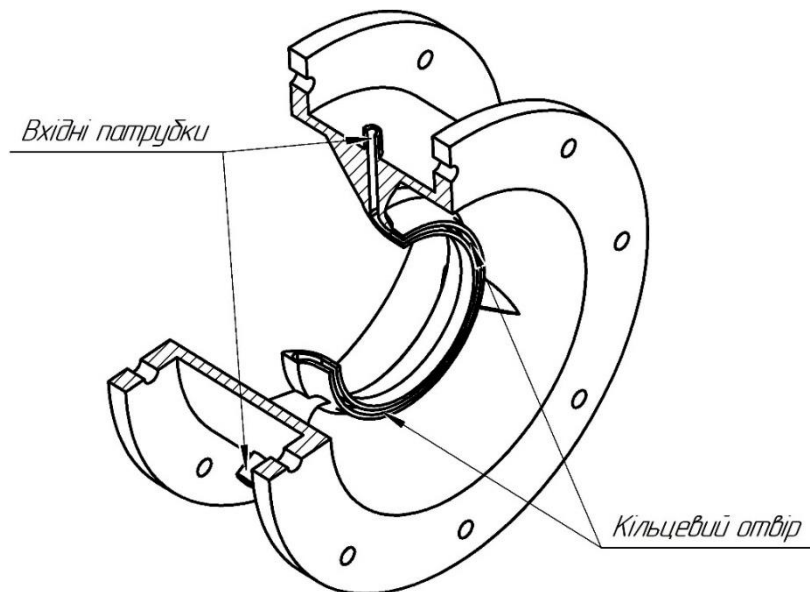
Fig. 1. Screw separator for removal of filtrate from grain waste:

1 – привідний вал; 2 – шків; 3 – шнек попереднього віджимання; 4 – шнек остаточного віджимання; 5 – з'єднувальна муфта; 6 – вал; 7 – циліндр попереднього віджимання; 8, 10 – отвори для видалення фільтрату; 9 – циліндр остаточного віджимання; 11 – патрубок для видалення твердої фракції барди; 12, 13 – підшипникові вузли; 14 – з'єднувальний циліндр з фігурною вставкою з отвором для подачі фільтрату барди після попереднього вижимання; 15 – лійка для подачі барди; 16 – місткість для фільтрату попереднього віджимання; 17 – патрубок для фільтрату попереднього віджимання; 18 – місткість для фільтрату остаточного віджимання; 19 – патрубок для фільтрату остаточного віджимання.

Далі вона стікає у місткість для фільтрату попереднього віджимання 16. Проходячи крізь отвір між з'єднувальною муфтою 5 і з'єднувальним циліндром 14 спресована тверда фракція у вигляді кільця подається на шнек 4 у зону Б, як це показано на рис. 2. У порожнину під тиском від місткості 16 за допомогою відцентрового насоса (на рисунку не показано) через отвори фігурних вставок з отворами з'єднувальної муфти 14 подається фільтрат барди. Таким чином, рідка фракція барди після попереднього

віджимання повторно проходить крізь спресовану тверду фракцію барди до отворів 10.

Тверда фракція у зоні Б служить фільтрувальним елементом, який затримує у собі тверді рештки з фільтрату барди після попереднього віджимання. Далі тверда фракція видаляється через патрубок для фільтрату остаточного віджимання 19, а фільтрат із зони Б видаляється назовні через отвори 10.



**Рис. 2.** З'єднувальний циліндр з фігурною вставкою з отвором для подачі фільтрату барди після попереднього вижимання.

**Fig. 2.** Coupling cylinder with curly insert with opening for filtration of bard filtrate after pre-squeezing.

Аналізуючи конструктивні особливості даного шнекового сепаратора бачимо, що він складається з двох з'єднаних між собою шнекових фільтрів. Тому при розрахунку силових характеристик слід розраховувати потужності кожної зі сторін після чого сумуючи їх.

Для аналізу силових характеристик шнекового сепаратора необхідно розрахувати моменти, які необхідно прикласти до шнекового валу, щоб подолати сили тертя і створити тиск, необхідний для відтиснення фугату:

– момент від сил тертя робочого тіла об циліндри віджимання фугату,  $M_{цв}$

$$M_{цв} = \frac{\pi D^2 f_{mk} \eta_m}{2} \int_0^L P(x) dx; \quad (1)$$

де:  $f_{mk}$  – коефіцієнт тертя ковзання;

$\eta_m$  – коефіцієнт, який враховує рівномірність передачі тиску;

$D$  – внутрішній діаметр циліндрів віджимання, м;

$L$  – довжина робочої зони циліндру віджимання, м;

$P$  – робочий тиск процесу пресування, Па.

– момент від рівномірної дії  $q$  на робочу криволінійну поверхню шнеку

$$M_q = \frac{\pi q L (D^3 - d^3)}{12h} (\cos \alpha + f_2 \sin \alpha); \quad (2)$$

де:  $d$  – зовнішній діаметр валу шнека, м;

$\alpha$  – кут нахилу гвинтової лінії до поперечного перерізу гвинта, град.;

$h$  – крок гвинта шнекового валу, м.

– момент від сил тертя на поверхні тильної сторони витка шнека

$$M_T = \frac{\pi L (D^3 - d^3)}{12h} f_{mk} \eta_m \int_0^L P(x) dx \quad (3)$$

Потужність, яка необхідна для відтиснення фугату через отвори циліндрів віджимання можна визначити наступним чином

$$N_{фуг} = P_{max} \cdot V_{фуг} \cdot \omega \dots \dots \dots (4)$$

де:  $P_{max}$  – максимальне значення тиску в камері пресування, Па;

$V_{фуг}$  – об'єм фугату віджатого крізь отвори циліндрів віджимання, м<sup>3</sup>;

$\omega$  – кутова швидкість обертання шнекового валу, рад/с.

Потужність, яка необхідна для витискання макухи через отвори

$$N_{кек} = \rho_b V_{кек} \omega \frac{v^2}{2} k_b, \quad (5)$$

де  $\rho_b$  – густина барди після віджиму, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{кек}$  – об'єм кеку після віджиму, м<sup>3</sup>;

$k_b$  – коефіцієнт, який враховує зовнішнє і внутрішнє тертя макухи.

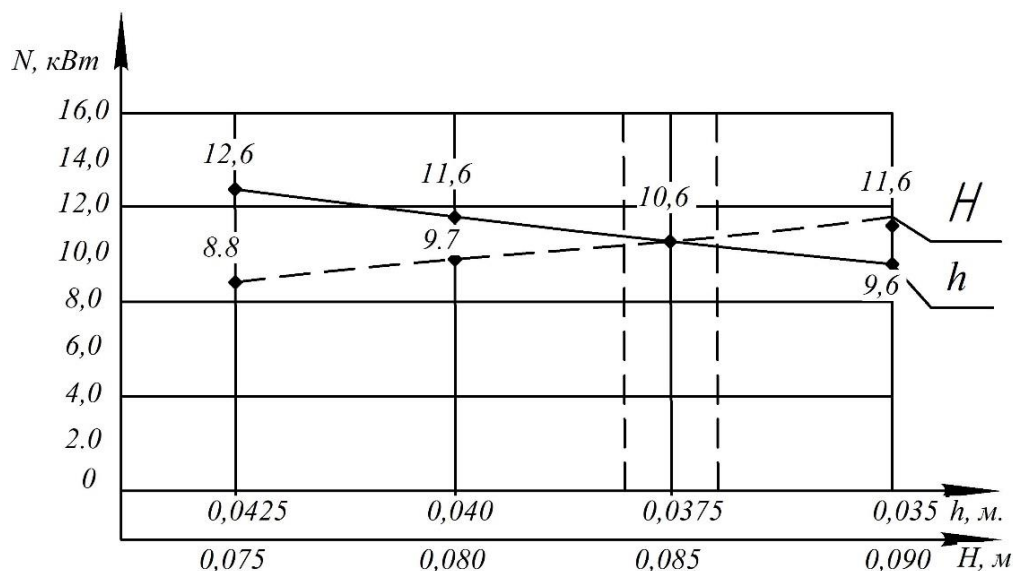
Тоді сумарна споживана потужність становитиме

$$N = (M_{цв} + M_q + M_T) \cdot \omega + N_{фуг} + N_{кек} \quad (6)$$

На підставі аналізу залежностей (6) можна стверджувати, що на енергетичні показники роботи преса, оснащеного шнековим валом із гвинтовою канавкою у вигляді сегмента круга, впливають його конструктивні параметри – довжина, внутрішній та зовнішній діаметри, крок витків і площа отворів для відведення макухи, а також частота обертання валу.

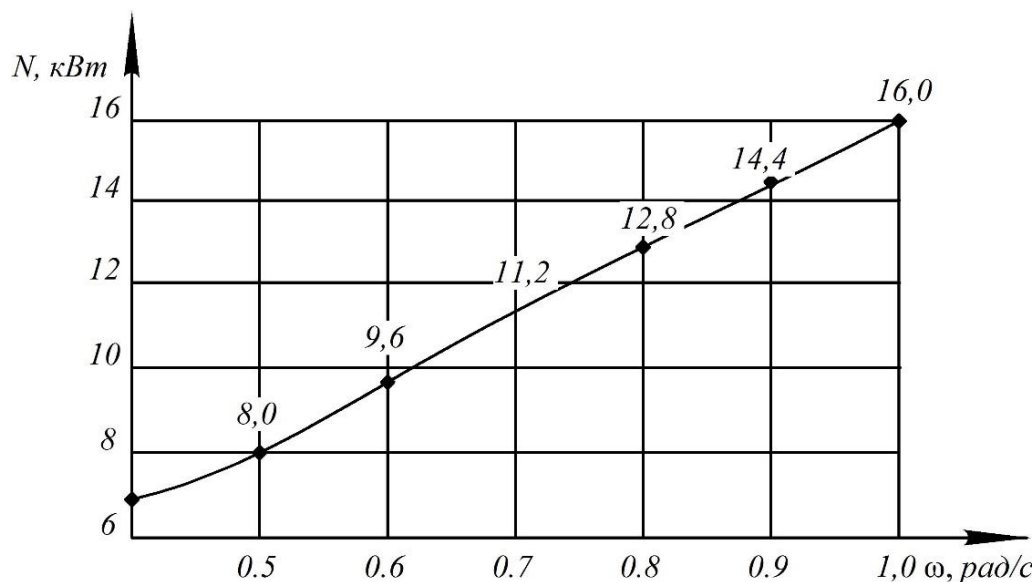
Побудовані графіки залежностей загальної споживаної потужності  $N$ , кВт шнекового сепаратора для видалення фільтрату із зернової барди від глибини каналу шнекового валу –  $H$ , м, і кроку гвинта шнекового валу –  $h$ , м. (рис. 3).

За допомогою яких, можна обрати оптимальний діапазон геометричних параметрів шнека –  $H$  від 0,037 м до 0,038 м та кроку гвинта шнекового валу –  $h$  від 0,084 м до 0,086 м, при заданій продуктивності  $Q = 500$  кг/год зернової барди.



**Рис. 3.** Залежності загальної споживаної потужності  $N, \text{kW}$  шнекового сепаратора для видалення фільтрату із зернової барди від глибини каналу шнекового вала –  $H, \text{m}$ , і кроку гвинта шнекового вала –  $h, \text{m}$ .

**Fig. 3.** Dependences of the total power consumption  $N, \text{kW}$  of the screw separator to remove the filtrate from the grain bard from the depth of the channel of the screw shaft –  $H, \text{m}$ , and the pitch of the screw of the screw shaft –  $h, \text{m}$ .



**Рис. 4.** Залежності загальної споживаної потужності  $N, \text{kW}$  від кутової швидкості обертання шнекового вала, рад/с.

**Fig. 4.** Dependences of the total power consumption  $N, \text{kW}$  on angular speed of rotation of screw shaft, rad/s.

**Таблиця 1.** Визначення основних параметрів зневоднення зернової барди з Козлівського спиртзаводу  $V = 500 \text{ мл}$ ,  $\text{pH} = 4.24$ .

**Table 1.** Definition of basic parameters dehydration of grain bards from Kozliv distillery  $V = 500 \text{ ml}$ ,  $\text{pH} = 4.24$ .

| № з/п | Варіанти                                                                                                               | Середнє значення     |                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
|       |                                                                                                                        | Вміст СР у фугаті, % | Вологість осаду, % |
| 1     | Барда профільтована крізь сито вкрите 4-ма шарами марлі. $r = 0,689$                                                   | 4,2                  | 80                 |
| 2     | Повторна фільтрація фугату крізь наливний шар кеку барди на ситі з 4-ма шарами марлі. $r = 0,721$                      | 3,4                  | 76                 |
| 3     | Моделювання процесу зневоднення барди на лабораторному шнековому фільтр-пресі. $r = 0,840$                             | 3,2                  | 73                 |
| 4     | Повторна фільтрація під тиском віджатого фугату, крізь віджати кек у лабораторному шнековому фільтр-пресі. $r = 0,811$ | 3,0                  | 72                 |

На підставі аналізу залежностей (6) можна стверджувати, що на енергетичні показники роботи нашого шнекового сепаратора, оснащеного шнековими валами із гвинтовою канавкою у вигляді сегмента круга, впливають його конструктивні параметри – довжина, внутрішній та зовнішній діаметри, крок витків і площа отворів для відведення кеку, а також частота обертання вала. Дослідивши рівняння (6) та підставивши в нього різні значення  $\omega$ , отримали залежність впливу на потужності процесу сепарації кутової швидкості шнекового вала (рис. 4). Її аналіз свідчить, що потужність, яка затрачається на процес зневоднення зернової барди, збільшується зі збільшенням кутової швидкості шнекового вала.

Ефективність даного технічного рішення було випробувано 2018 році в науково-дослідній лабораторії «Біотехнології а агросфері» ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». Для досліду використовувалась зернова барда Козлівського спиртзаводу. Дослідження проводились по чотирьом варіантам у п'ятикратному повторюванні. Моделювання проводилось на лабораторному шнековому фільтр-пресі власного виробництва з пустотілим шнеком та отворами у кінці.

### Висновки

1. В результаті проведеного аналізу запропоновано нову конструкцію шнекового сепаратора для видалення фільтрату із зернової барди. Головною особливістю якої є, що попередньо віджати кек використовується у якості фільтру тонкої очистки фугату. Таке технічне рішення дозволить значно знизити кількість сухої речовини у рідких відходах, без втрат продуктивності самого процесу.

2. Досліджено що профіль витка шнека спричиняє зміну енерговитрат на зневоднення зернової барди. Так, на енергетичні показники роботи шнекового сепаратора для видалення фільтрату із зернової барди, обладнаного запропонованим шнековим валом, впливають його, внутрішній та зовнішній діаметри, крок витків, частота обертання. Потужність, яка витрачається на процес зневоднення зернової барди, зростає зі збільшенням частоти обертання вала.

3. Попередні моделювання в лабораторних умовах показали, що завдяки таким конструктивним особливостям шнекового сепаратора можна додатково вилучити з рідкої фази на 6 % більше, ніж у звичайних умовах.

### Список літератури

1. KUGLER. Cjncepts for solid-liqusd separation. [Electronic resource]. 2018 URL: [https://www.kugler-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/09/KUGLER\\_ProductsForSolid-Liquid-Separation\\_2018.pdf](https://www.kugler-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/09/KUGLER_ProductsForSolid-Liquid-Separation_2018.pdf) (дата звернення: 10.10.2019).

2. SM SEPARATORS SERIES - technical specifications. [Electronic resource]. 2015. URL: <https://www.cri-man.com/Apps/WebObjects/Criman.woa/wa/viewFile?id=742&lang=eng> (дата звернення: 10.10.2019).

3. Шнеко-прессовый сепаратор серия SP. . [Електронний ресурс]. 2018 URL: <http://www.waluftech.com.ua/img/content/EYS%20%пре cсопрессовый%20сепаратор%20SP.pdf> (дата звернення: 10.10.2019).

4. Овчинников Д. В. Біоетанол як моторне паливо: переваги і недоліки Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». 2017. Вип. 1 (37). С. 300-307.

5. Чупайленко О. А. Розвиток використання біопалива для автотранспорту в Україні. Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2014. Вип. 13(2). С. 133-143.

6. Голуб Н. Б., Потанова М. В. Сучасні методи переробки й утилізації зернової післяспиртової барди. Innovative Biosystems and Bioengineering : international scientific e-journal. 2018. Vol. 2, No. 2. Pp. 125–134. Bibliogr.: 65 ref.

7. Шнековий сепаратор: пат. 135353 Україна: МПК (2006): B30B 9/12 (2006.01), B30B 9/02 (2006.01), B01D 35/28 (2006.01), B01D 29/39 (2006.01), C02F 11/126 (2019.01), C02F 11/125 (2019.01), Заявл. 25.01.2019, Опубл. 25.06.2019, бюл. № 12/2019.

8. Рогатинський Р. М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 280 с.

9. Ivan Rogovskii, Luidmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko. Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61) No. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10> pp. 117-128. Scopus.

### References

1. KUGLER. Cjncepts for solid-liqusd separation. Available at: [https://www.kugler-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/09/KUGLER\\_ProductsForSolid-Liquid-Separation\\_2018.pdf](https://www.kugler-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/09/KUGLER_ProductsForSolid-Liquid-Separation_2018.pdf).

2. SM SEPARATORS SERIES - technical specifications. Available at: <https://www.cri-man.com/Apps/WebObjects/Criman.woa/wa/viewFile?id=742&lang=eng>.

3. Screw Press Separator SP Series. Available at: <http://www.waluftech.com.ua/img/content/EYS%20%пре cсо- прессовый%20сепаратор%20SP.pdf>.

4. Ovchynnikov D. (2017). Bioethanol as a motor fuel: advantages and disadvantages. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. Kyiv: National Transport University, Issue 1 (37).

5. Chupaylenko O. (2014). Development of the use of biopropellant for motor transport in Ukraine. Available

at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal\\_2014\\_13%282%29\\_\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2014_13%282%29__16).

6. Golub N., Potapova M. (2018). Modern Methods of Processing and Utilization of Grain Distillery Spent Wash. Innovative Biosystems and Bioengineering : international scientific e-journal. Vol. 2, No. 2. 125-134.

7. Flonts I. I., Chvartatskiy I. I., Kyryk O. M., Les'kiv M. S., Kachun' T. Y. (2019). Screw Separator. Patent of Ukraine for useful model. B30B 9/12 (2006.01), B30B 9/02 (2006.01), B01D 35/28 (2006.01), B01D 29/39 (2006.01), C02F 11/126 (2019.01), C02F 11/125 (2019.01). № 135353; declared 25.01.2019; published 25.06.2019, № 12.

8. Rogatinsky R. M. (2014). Scientific-applied bases of creation of screw transport-technological mechanisms: monograph. Ivan Puliuy TNTU, P/ 280.

9. Ivan Rogovskii, Luidmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko. (2019). Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbioculture separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Vol. 12 (61) No. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10>. 117-128. Scopus.

#### ШНЕКОВЫЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФИЛЬТРАТА С ЗЕРНОВОЙ БАРДЫ

I. В. Фльонц, I. I. Чвартацький, Р. В. Шатров

**Аннотация.** Выполнен анализ применения современных шнековых сепараторов для обезвоживания жидких органических субстратов, как агропромышленного комплекса, так и в других отраслях народного хозяйства. Предложена технологическая схема и разработана конструкция шнекового сепаратора для обезвоживания спиртовой зерновой барды. Основной особенностью предложенного шнеково-прессового сепаратора является двухстадийный процесс обезвоживания входящего субстрата.

Жидкий раствор субстрата попадает в первую зону шнекового сепаратора, где сквозь отверстия цилиндра предварительного отжима удаляется жидкая фракция - фугат, а твердая фракция - кек попадает во вторую зону. Во второй зоне предварительно отжатый кек служит фильтром тонкой очистки через которую под давлением проходит фугат, который выделился из первой зоны и имеет в себе еще много твердых веществ в жидкой фазе как например дрожжевой осадок в барде. Таким образом фугат очищается и выходит через отверстия цилиндра окончательного отжима.

Вследствие проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ создан новый шнековый сепаратор. Использование двухэтапной системы обезвоживания жидких субстратов в шнековом сепараторе позволит значительно снизить содержание сухих веществ в жидкой фазе.

**Ключевые слова.** барда зерновая, фугат, кек, шнековый сепаратор, обезвоживание, фильтр, шнек.

#### SCREW SEPARATOR FOR REMOVAL OF FILTRATE FROM GRAIN BARD

I. V. Flonts, I. I. Chvartatskiy, R. V. Shatrov

**Abstract.** The analysis of the use of modern screw separators for the dehydration of liquid organic substrates, both agroindustrial complex and other sectors of the economy is done. The technological scheme is proposed and the design of a screw separator for dehydration of an grain distillery spent wash is developed. The main feature of the proposed screw-press separator is a two-stage process of dehydration of the input substrate.

The liquid substrate solution enters the first area of the screw separator, where the liquid fraction - fugate is removed through the openings of the pre-spin cylinder, and the solid fraction - the cake enters the second zone. In the second zone, the pre-pressed cake serves as a filter of fine purification through which a fugate is released through the pressure, which was released from the first zone and contains many solids in the liquid phase, such as yeast sediment in the bard. In this way, the fugate is being purified and exits through the openings of the final spin cylinder.

As a result of the research and development work, a new screw separator was created. The use of a two-stage system of dehydration of liquid substrates in a screw separator will significantly reduce the solids content in the liquid phase.

**Key words:** grain bard, fugate, cake, screw separator, dehydration, filter, screw.

I. В. Фльонц ORCID 0000-0001-5175-9066.

I. I. Чвартацький ORCID 0000-0001-5689-4603.

Р. В. Шатров ORCID 0000-0002-3596-0146.

УДК 631.331.922

## ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ БУНКЕРА-ДОЗАТОРА ПРОТРУЮВАЧА НАСІННЯ

О. М. Вечера

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція автора: olegv@meta.ua.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 11, рис. 1, табл. 0.*

**Анотація.** Розглянуто питання вдосконалення бункера-дозатора насіння. В результаті проведених досліджень запропоновано вдосконалення бункера та визначені необхідні параметри зміни для рівномірного неперервного дозування насіння сільськогосподарських культур, що важливе в багатьох галузях сільськогосподарського машинобудування, де потрібне якісне дозування сипких зернистих матеріалів, особливо в протруювачах насіння. Запропоноване вдосконалення дозволяє підвищити рівномірність дозування насіння сільськогосподарських культур незалежно від висоти заповнення ним бункера та зернистих матеріалів в інших галузях та зменшення металоємкості і габаритів відповідних машин, у яких застосовуються такі бункери.

**Ключові слова:** бункер, тертя, тиск, рівномірність, дозатор, вібрація.

### Постановка проблеми

У різних виробництвах поширені операції вантаження-розвантаження сипких зернистих матеріалів в технологічні і транспортуючі пристрої. Невід'ємною частиною устаткування для таких операцій є різного роду бункери, що встановлюються в місцях сполучення основного, транспортуючого і допоміжного устаткування. Окрім цього бункери застосовуються для зберігання різних матеріалів, а також для їх об'ємного і вагового дозування.

Сипкі матеріали дуже різноманітні по своєму гранулометричному складу, щільності, вологості і іншим фізико-механічним властивостям і по здатності витікання з бункерів. При роботі з вологими, липкими, такими, що злежуються матеріалами дуже часті випадки порушення та нестабільності роботи бункерів, що полягають в утворенні зведень над випускним отвором бункера, внаслідок чого витікання матеріалу частково або повністю припиняється. Іншою причиною порушення нормальної роботи бункерів є утворення пасивних зон, коли витікання матеріалу відбувається тільки із зони, розташованої над випускним отвором (трубоутворювання), що істотно зменшує

продуктивність, стабільність і корисну ємність бункера.

Дозатори, що поєднують дозування насіння з розподіленням та формуванням його потоку потрібної щільності внаслідок гальмівної дії розподільних пристроїв значно зменшують потенційну продуктивність протруювача. Тому потрібно вдосконалити проточний дозатор, що забезпечує рівномірне неперервне дозування насіння сільськогосподарських культур незалежно від висоти заповнення ним бункера аж до повного спорожнення його.

### Аналіз останніх досліджень

Результати досліджень процесу висипання сипких матеріалів із місткостей свідчать, що геометричні характеристики місткостей і дозувальних отворів та їх співвідношення, а також рівень заповнення місткостей суттєво впливають на рівномірність дозування сипких матеріалів проточними дозаторами об'ємного типу. Аналіз дозувальних пристроїв серійних протруювачів свідчить, що в їх конструкціях ці закономірності не враховуються. Так, продуктивність дозаторів з пасивними розподільниками насіння визначається площею живого перетину кільцевого отвору випускної горловини бункера та конструктивними параметрами розподільника насіння. Продуктивність дозаторів з активними розподільниками залежить від частоти обертання розподільника та його конструкції (диск або конус), а дозаторів протруювачів інерційно-фрикційного типу [1], у яких робочий орган одночасно є активним розподільником насіння – ще й від параметрів бокової поверхні робочого органа

Найбільш повно фізична сутність процесу висипання зерна через отвори в місткостях вивчалися В. М. Атомяном [2] та Г. М. Бузенковим і С. А. Ма [3], яким вдалося картину висипання насіння обґрунтувати напрямками і швидкостями руху насіння в кожній зоні [2] і взаємним розміщенням частинок сипкого матеріалу в місткості та силами тиску сипких матеріалів на дно і стінки місткості [3]. Причиною утворення склепіння з часточок є

заклинювання їх силами внутрішнього тертя по лінії їх укладки. Чим менший коефіцієнт внутрішнього тертя і чим більший діаметр отвору, тим склепіння менш стійке і тому утворення його можливе лише у випадку висипання сипкого матеріалу через отвори малого діаметра. Висота отвору при постійному діаметрі не впливає на витрату сипкого матеріалу [3]. Аналогічний результат одержаний і в нас.

Робочі процеси сучасних протруювачів насіння неперервної дії включають неперервне і рівномірне дозування насіння і робочої рідини - пестициду, оскільки вони є необхідною передумовою рівномірної обробки насіння препаратом, а отже і досягнення високої ефективності протруювання.

Згідно з результатами досліджень [2-4] вплив умов витікання насіння з бункера на рівномірність потоку визначається параметрами випускного отвору, місткості і висотою заповнення її насінням, а також його фізико-механічними властивостями [5-11].

### Мета досліджень

Здобуття якісної оцінки впливу вібрацій бункерів на динаміку зернистого матеріалу, тобто вивчення впливу вібрацій на закони виділення і розподілу тиску в бункерах.

### Результати досліджень

Суттєвим резервом з підвищення ефективності та забезпечення безперебійної роботи бункерів є впровадження вібраційних технологій, унікальність яких прослідковується у забезпеченні адаптивного динамічного впливу на різноманітні дисперсні системи за умови значного енергетичного потенціалу їх технологічної обробки. До широкого різноманіття явищ, що виникають внаслідок реалізації вібраційного впливу варто віднести значне зменшення коефіцієнта внутрішнього тертя, активне збільшення питомої поверхні матеріалу при взаємодії з технологічним наповнювачем, ефективне створення значних градієнтів швидкостей зсувних деформацій у мікро- та макрооб'ємах продукції за умови зміни її структурно-механічних характеристик. Принцип вібраційної інтенсифікації заснований на ослабленні структурних зв'язків між частинками сипучого матеріалу та на збільшенні їх відносної рухливості, на силовому руйнуванні зводу, що утворюється над випускним отвором. У випадку використання активних розподільників (як правило, обертових дисків або конусів) гальмівний опір висипанню насіння з випускної горловини бункера ці розподільники створюють внаслідок накопичення в зоні під випускною горловиною шару насіння, що не евакуується з цієї зони активними розподільниками. В цьому випадку причиною зменшення потенційної продуктивності дозатора є неузгодженість конструктивних параметрів дозатора та режимів роботи активного розподільника і випускної горловини [5]. З метою прискорення евакуації насіння із зони сходу його з розподільника в деяких

протруювачах (наприклад ПНУ-4) застосовують додаткові конструктивні елементи – активатори.

Дві основні задачі динаміки зернистих матеріалів (закони витікання і закони розподілу тисків на дно і стінки силосів і бункерів) розглядалися в [6] в припущенні існування досить великих коефіцієнтів внутрішнього і зовнішнього тертя зерен. Тим часом, кути тертя  $\varphi$  (кут зовнішнього тертя зерен об стінку бункера) і  $\phi$  (кут внутрішнього тертя зерен) у різних сипучих матеріалів змінюються в широких межах, а можуть бути й малими. Можна уявити собі і такий зернистий матеріал, між зернами якого є рідина, наприклад, масляна плівка. У статичі такий матеріал буде вести себе так, як ніби сили зовнішнього і внутрішнього тертя практично відсутні.

До числа факторів, що сприяють зниженню сил сухого тертя, відноситься й коливальний рух бункера і зернистого матеріалу, що знаходиться в ньому. Для мобільних машин - це випадкові коливання бункерів, обумовлені нерівностями дороги, хитацією судна і т.д. Іноді коливальний рух спеціально надається бункеру і сипучому матеріалу з метою усунення можливості утворення склепін і отримання більш стійкого витікання. Ефект дії вібрацій на зернисту середу зводиться як би до зниження коефіцієнта тертя, тому що в процесі коливань сили нормального тиску зерен одне до одного та на стінку бункера періодично змінюються. В результаті цього сили, недостатні для взаємного відносного зміщення зерен при їх спокої, можуть бути достатніми для їх переміщення в окремі моменти часу при вібраціях. Тобто рушійна сила буде більша сили тертя і зерно прийде в рух. Загальний ефект зводиться таким чином як би до зменшення коефіцієнту тертя.

У основу цієї оцінки покладений ефект зниження кутів тертя при вібраціях бункерів. Вказана якісна оцінка, очевидно, не може повністю замінити точного кількісного дослідження впливу вібрацій на динаміку зернистого матеріалу. Кількісне дослідження повинне враховувати всі характеристики коливального руху, що здійснюється бункером (поступальні коливання в горизонтальному, вертикальному або похилому напрямках; поступальні коливання по кругових або еліптичних траєкторіях і т.д.; повороти бункера відносно нерухомої або миттєвої осі обертання і тому подібне. Дослідженню впливу поступальних вертикальних коливань на закони виділення присвячена робота [7] та інші.

Відповідно до викладеного, будемо вважати, що із зростанням інтенсивності (частоти і максимального прискорення) вібрацій ефективні кути тертя  $\varphi$  та  $\phi$  знижуються, і в граничному випадку можна уявити собі їх повне зникнення. Це приведе до відповідної зміни коефіцієнтів опору  $k$  і нормального тиску  $k_n$  та коефіцієнта Янсена  $k_G$  (коефіцієнт бокового тиску), що впливає на рівномірність подачі насіння. Припустив  $\varphi = \phi = 0$  у формулах коефіцієнтів опору [8]  $k$  та нормального тиску  $k_n$ , отримаємо їх значення в граничному випадку відсутності тертя – при інтенсивних вібраціях:

$$k = \pm \frac{1}{R_r} \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg}^2 \beta; \quad (1)$$

$$k_n = \frac{tg^2 \beta}{2 \pm tg \alpha \cdot tg \beta}; \quad (2)$$

$$k_\sigma = \frac{1}{2} tg^2 \beta, \quad (3)$$

де: верхній знак відповідає звужуваному, а нижній – розширювальному бункеру,  $\beta$  – кут укладання зерен сипучого тіла.

З формул видно, що у бункері, що розширюється донизу коефіцієнт опору руху  $k$  при вібраціях може стати негативним.

У випадку бункера (силосу) з вертикальними стінками ( $\alpha=0$ ):

$$k = 0; k_\sigma = \frac{1}{2} tg^2 \beta, \quad (4)$$

де:  $\beta$  – кут укладання зерен сипучого тіла.

Що до витікання дрібнозернистих матеріалів, то згідно [6, 7] було визначено два можливих типа витікання – нормальне або гідравлічне. Існування того чи іншого типу обумовлено співвідношеннями між фрикційними ( $\varphi$ ;  $\phi$ ) та розпірними властивостями матеріалу ( $\beta$ ), а також пов'язано з формою бункера ( $\alpha$ ).

Зменшення кутів тертя  $\varphi$  та  $\phi$  змінює значення величин  $k_o$  та  $\Theta$ .

При  $\varphi = \phi = 0$  вони приймають такий вигляд:

$$k_o = tg \alpha \cdot tg^2 \beta; \quad (5)$$

$$\Theta = \frac{k_o}{tg \alpha} = tg^2 \beta. \quad (6)$$

Умови існування першого ( $\Theta > 3$ ) та другого ( $\Theta \leq 3$ ) типів витікання приймають відповідно вигляд:

$\beta > 60^\circ$  - перший тип витікання;

$\beta \leq 60^\circ$  - другий тип витікання.

Існування першого типу витікання представляється в даному випадку малоймовірним. Однак, повністю виключати цей випадок з розглядання неможна до тих пір, поки не вивчений вплив вібрацій бункера на укладку зерен – величину кута  $\beta_{cp}$ .

Що до вертикального та нормального тиску зернистих матеріалів при вібраціях бункера та при  $\varphi \rightarrow 0$ ,  $\phi \rightarrow 0$  коефіцієнт опору  $k \rightarrow 0$ .

Рівняння для вертикальних тисків в силосі буде мати вигляд:

$$\frac{d\sigma}{dx} = \gamma g, \quad (7)$$

звідки слідує гідростатичний закон розподілу вертикальних тисків:

$$\sigma = \sigma_z = \gamma g x. \quad (8)$$

Таким чином вплив вібрацій силосу на вертикальні тиски зводиться до їх зростання та наближенню до гідростатичних.

Боковий тиск на стінку силосна наближається до значення:

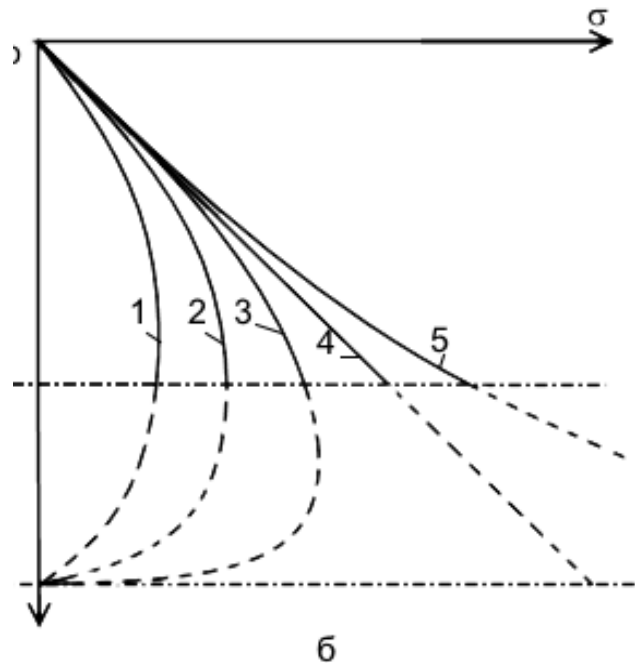
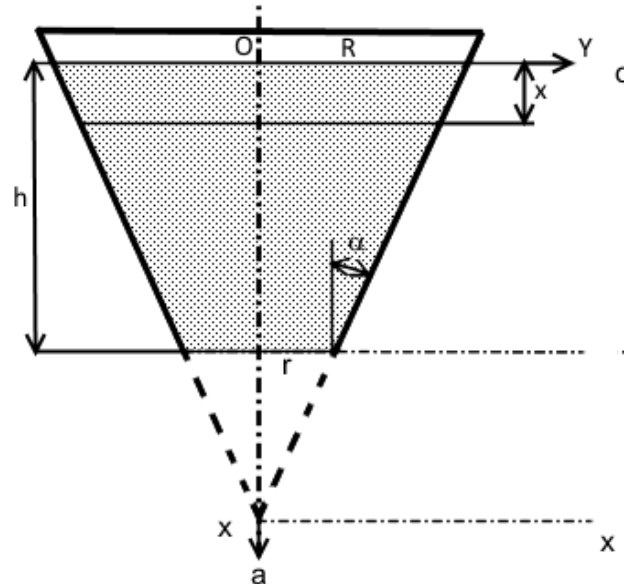
$$\sigma_n = \frac{1}{2} \gamma g x tg^2 \beta, \quad (9)$$

що слідує з формул та для  $k_n = k_\sigma$ .

У конічного бункера диференційне рівняння при  $\varphi = \phi = 0$  буде у такому вигляді:

$$\frac{d\sigma}{dx} + \frac{b(tg^2 \beta - 2)}{R - bx} \sigma = \gamma g. \quad (10)$$

Коефіцієнт перед  $\sigma$  у другій складовій лівої частини рівняння позитивний при  $tg \beta > \sqrt{2}$  або  $\beta > 54^\circ 45'$  та негативний при  $\beta < 54^\circ 45'$ .



**Рис. 1.** Визначення вертикального тиску в бункері: а – схема та розміри бункера; б – залежності вертикальних тисків від глибини  $x$  розрізу при різних значеннях співвідношення  $k_o/b = \Theta$ : 1 – 5; 2 – 4; 3 – 3; 4 – 2; 5 – 1,5.

**Fig. 1.** Calculation of vertical pressure in the silo.

Отже, у випадку  $\beta > 54^\circ 45'$  графіки вертикальних тисків  $\sigma = \sigma(x)$  аналогічні кривим 1, 2, 3 на рис. 1. При  $\beta < 54^\circ 45'$  графіки вертикальних тисків аналогічні кривій 5 на малюнку, а при  $\beta = 54^\circ 45'$  ми повинні отримати гідростатичний закон розподілення

вертикальних тисків – крива 4.

### Висновки

1. Розрахунок і проектування вібраційного обладнання, що забезпечує високу продуктивність, вимагають поглибленого вивчення фізичних закономірностей впливу вібрацій та необхідного їх напрямку дії на хід технологічного процесу.

2. Так, результати розрахунків, показують, що при частотах коливань 250-350 Гц швидкість витікання матеріалу при вібрації більше, ніж з нерухомого бункера. Однак зі зменшення частоти і зростанням амплітуди коливань графік зміни коефіцієнта заповнення в часі набуває ступінчастий характер. Пояснюється це переходом матеріалу в стан віброкиплячого шару, при якому він починає періодично відриватися від дна судини. В цей час витікання матеріалу не відбувається, отже і коефіцієнт не змінюється, а його графік має ступінчастий вигляд. Наявність таких режимів дозволяє здійснювати ще й дискретну подачу матеріалу з бункера.

3. В протруювачах інерційно-фрикційного типу, які поєднують дозування, розподілення і обробку насіння рідкими пестицидами одним робочим органом, продуктивність дозатора визначають ті ж фактори, що й в інших проточних дозаторів з активними розподільниками, та ще й параметри бокової конічної поверхні робочого органу. Узгодження дії усіх цих факторів з обов'язковим врахуванням характеристик насіння, що дозується і обробляється, забезпечує надійну роботу протруювача в цілому, яка, очевидно, можлива у випадку, коли насіння з достатньою швидкістю буде рухатися вгору по твірній конічного робочого органу.

4. В подальшому для більш якісного проектування та розрахунку продуктивності стоїть задача створити модель сипучого матеріалу в умовах вібраційного впливу, побудована з використанням гіпотези суцільності і рівнянь механіки суцільного середовища, яка дозволить досліджувати процеси течії при різних законах вібрації визначати значення щільності, швидкості і напруги в кожній точці розрахункової області, розрахувати максимальну швидкість висипання, а отже й продуктивність конічного бункера з конічним розподільником (дозатором) в середині бункера, який використовується в модифікованих конструкціях протруювачів типу ПНУ-4, ПНУ-10 та розрахувати оптимальні параметри коливань бункера відповідно продуктивності робочого органу – камери протруювання для отримання максимальної продуктивності та мінімальної нерівномірності протруювання насіння з врахуванням вібраційних коливань бункера і самого протруювача.

дослідження універсального процесу нанесення захисних препаратів на насіння сільськогосподарських культур. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха: 2002. Вип. 86. С. 114-121.

2. Атомян В. М. Свободное истечение и высев семян зерновыми сеялками. Ереван: Из-во Главного управления с.х. науки МСХ Армянской ССР, 1960, 138 с.

3. Бузенков Г. М., Ма С. А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. Москва. Машиностроение, 1976, 271 с.

4. Тимошенко С. П., Вечера О. М., Тимошенко С. І. Спосіб обробки насіння рідкими препаратами. Патент № 96498 A01C 1/08, 2006/01, п.10/11/2011, бюл. № 21.

5. Тимошенко С. П., Михайленко М. А. Разработать рабочие органы протравливателей семян и обосновать их оптимальные параметры. Раздел №2 Отчета по теме №4 НИР УНИИМЭСХ, Глеваха: 1978, 77 с.

6. Алферов К. В., Зенков Р. Л. Бункерные установки. Москва. Машгиз. 1955. 308 с.

7. Барабанская Г. Ф. О влиянии вибраций на истечение сыпучих материалов из бункера при виброускорениях, не превышающих ускорения силы тяжести. Механика сплошных сред в сельхозмашиностроении: РИСХМ. Ростов на Дону. 1973. С. 86-92.

8. Гячев Л. В. Основы теории бункеров. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. 309 с.

9. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Rosamaha, Yu. O., Blesnyuk, O. V., Ohienko, A. V. Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. 2019. Bucharest. Vol. 58. No 2. P. 137—146. DOI: 10.35633/INMATEH-58-15. Scopus. WoS.

10. Ivan Rogovskii, Liudmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko. Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbioculture separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61) No. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10> pp. 117-128. Scopus.

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

### References

### Список літератури

1. Тимошенко С. П., Ратушний В. В., Стибель І. В., Мазур Д. М. Обґрунтування, розробка і

1. Timoshenko S. P., Ratushnyy V. V., Stibel' I. V., Mazur D. M. (2002). Obosnovaniye, razrabotka i issledovaniye universal'nogo protsessa naneseniya zashchitnykh preparatov na semena

sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. Glevakha: Vip. 86. 114-121.

2. *Atomyan V. M.* (1960). *Svobodnoye istecheniye i vysev semyan zernovymy seyalki*. Yerevan: Iz-vo Glavnogo upravleniya s.kh. nauki MSKH armyanskoy SSR, 138.

3. *Buzenkov G. M., Ma S. A.* (1976). *Mashiny dlya poseva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. Moscow. Mashinostroyeniye, 271.

4. *Timoshenko S. P., Vechera A. N., Timoshenko S. I.* (2006). *Sposob obrabotki semyan zhidkimi preparatami*. Patent. № 96498 A01S 1/08, 2006/01, p.10 / 11/2011, byul.№21.

5. *Timoshenko S. P., Mikhaylenko M. A.* (1978). *Razrabotat' rabochiye organy Protravlivatel' semyan i obosnovat' ikh optimal'nyye parametry*". Razdel №2 Otcheta po teme №4 NIR UNIIMESKH, Glevakha, 77.

6. *Alferov K. V., Zenkov R. L.* (1955). *Bunkernyy ustanovki*. Moscow. Mashgiz. 308.

7. *Barabanskaya G. F.* (1973). *V vliyanii vibratsiy na istecheniye sypchikh materialov iz bunkera pri vibrouskoreniya, a ne prevyshayushchem uskoreniya sily tyazhesti*. Mekhanika sploshnykh sred v sel'khozmashtnostroyeni: Sb.n.t. RISKHM. Rostov n / D. 86-92.

8. *Gyachev L. V.* (1992). *Osnovy teorii bunkerov*. Novosibirsk: Izd-vo Novosib. un-ta, 309.

12. *Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Rosamaha, Yu. O., Blesnyuk, O. V., Ohienko, A. V.* (2019). Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. Vol. 58. No 2. P. 137—146. DOI: 10.35633/INMATEH-58-15. Scopus. WoS.

13. *Ivan Rogovskii, Liudmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko.* (2019). Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61) No. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10>. 117-128. Scopus.

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

непрерывного дозирования семян сельскохозяйственных культур, что важно во многих отраслях сельскохозяйственного машиностроения, где требуется качественное дозирования сыпучих зернистых материалов, особенно в протравители семян. Предложенное совершенствование позволяет повысить равномерность дозирования семян сельскохозяйственных культур независимо от высоты заполнения им бункера и зернистых материалов в других отраслях и уменьшения металлоемкости и габаритов соответствующих машин, в которых применяются такие бункеры.

**Ключевые слова:** бункер, трение, давление, равномерность, дозатор, вибрация.

## IMPROVEMENT OF QUALITY OF WORK OF SEED TREATER BUNKER-DISPENSER

*O. M. Vechera*

**Abstract.** The question of improvement of seed hopper is considered. As a result of researches the improvement of the bunker is proposed and the necessary parameters of change for uniform continuous dosing of crop seeds are determined, which is important in many branches of agricultural engineering, where the high-quality dosing of granular granular materials is required, especially in seed dressers. The proposed improvement makes it possible to increase the dosage uniformity of crops, regardless of the height of the hopper and granular materials in other industries and to reduce the metal consumption and dimensions of the respective machines in which such hoppers are used.

**Key words:** hopper, friction, pressure, uniformity, dispenser, vibration.

**O. M. Вечера** ORCID 0000-0002-8828-7119.

## УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ БУНКЕРА-ДОЗАТОРА ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН

*О. Н. Вечера*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы совершенствования бункера-дозатора семян. В результате проведенных исследований предложено совершенствование бункера и определены необходимые параметры изменения для равномерного



УДК 629.631.554

## ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

С. Г. Фришев

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України,  
«Ніжинський агротехнічний інститут», Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція автора: [frishev@meta.ua](mailto:frishev@meta.ua).*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 9, рис. 2, табл. 2.*

**Анотація.** Пропонується методика визначення раціональних параметрів перевантажувальної технології під час збирання цукрових буряків. Особливість потоково-перевантажувального способу транспортування врожаю буряків є гнучкість, адаптивність до погодно-кліматичних та господарських умов під час збирання. У випадку зміни умов (в дощову погоду при перезволоженому ґрунті або недостатньої кількості автомобілів) в комплекс машин додається навантажувач-очищувач і робота ЗТК переходить на перевало-перевантажувальний спосіб перевезення. Атлант розвантажує продукцію в кагати, звідки вона після просихання буряків завантажується в автомобіль з одночасним очищенням від ґрунту.

**Ключові слова:** цукрові буряки, збирання, транспортування, ефективність, продуктивність.

### Постановка проблеми

Цукрові буряки збирають потоковим, потоково-перевантажувальним, перевалочним та перевало-перевантажувальним способами. Вибір способу збирання залежить від особливостей ґрунтово-кліматичних зон бурякосіяння. Так, в районах достатнього зволоження буряки переважно збирають перевалочним та перевало-перевантажувальним способами. У районах нестійкого зволоження, де спостерігається чергування посушливих і помірно зволених років, потрібно застосувати поточковий та потоково-перевантажувальний спосіб.

Важливим напрямком підвищення ефективності збирально-транспортних процесів для цукрових буряків є застосування потужних збиральних комбайнів (БК) з великою місткістю бункерів в поєднанні з великовантажними транспортними засобами та потужною вантажно-очисною технікою. Цей напрямок необхідно розглядати в тісному взаємозв'язку з проблемою зменшення ущільнення ґрунту під час транспортування коренеплодів з поля.

Саме про такий напрямок свідчить зарубіжний досвід господарств з великим обсягом виробництва

[1, 2], де набуває широкого розповсюдження потоково-перевантажувальна технологія, шляхом застосування спеціалізованих великовантажних тракторних причепів та напівпричепів перевантажувачів (СТНП) та високопродуктивних навантажувачів-очисників. Тому актуальна розробка методики обґрунтування раціональних параметрів потоково-перевантажувальної технології для цукрових буряків.

### Аналіз останніх досліджень

Вперше в Україні потоково-перевантажувальний варіант технології для збирання цукрових буряків в 70-х роках минулого століття був запропонований у Всесоюзному НДІ цукрових буряків (м. Київ). Але його впровадження у виробництво не відбулося у зв'язку з недостатньо високим технічним рівнем розробки як причепів так і збиральних комбайнів [2-4]. В останній час у країнах ЄС, коли з'явилися більш досконалі БК з бункерами великої місткості – 40 м<sup>3</sup> (комбайни фірми ROPA, , Vervet Beet Eater 625 та інші) та причепи перевантажувачі RUW HAWE місткістю 40 м<sup>3</sup> з трактором Джон Дір 8400, а в Україні напівпричеми ТЗП-27 «Атлант» та ін.), відбувається виробниче застосування потоково-перевантажувальної технології [5-9].

### Мета досліджень

Метою дослідження є підвищення ефективності збирально-транспортних процесів шляхом удосконалення технологічних операцій.

### Результати досліджень

За оцінкою спеціалістів Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України найбільш ефективним способом вивезення цукрових буряків з поля на приймальний пункт є

потоків із застосуванням автопоїздів, які містять великовантажні автомобілі (АМ) та причепа. Але такий спосіб має наступні суттєві недоліки:

- для ефективної роботи бурякозбиральних комбайнів (БК) без зупинок із урахуванням великої відстані перевезення до цукрових заводів потрібна значна кількість автомобільних транспортних засобів (АТЗ), в той же час у зв'язку із значними коливаннями часу обороту АТЗ простої БК в очікуванні транспорту сягають 20% [2]; перерішення причепів потребує додаткових трудозатрат;

- на переуволожнених ґрунтах неможлива робота АТЗ в полі, що призводить до простоїв БК;

- великовантажні АТЗ значно ущільнюють ґрунт, що веде до його деградації та потребує додаткових витрат для розпушення;

- з полів вивозяться з коренеплодами до 10% ґрунту (від маси буряків).

Перші два недоліки призводять до зниження продуктивності як БК так і АТЗ, затягування агротермінів збирання та втратам урожаю.

Еволюція розвитку БК відбувалася останнім часом в напрямку обладнання їх спочатку бункерами-компенсаторами місткістю 1,5-3,5 т, а потім, із збільшенням потужності двигунів до 250-300 кВт місткість бункера збільшували поетапно – до 10-12, 15-18, 20-25 т. Відповідно значно зростає за вантажопідйомністю транспортний парк, який збагатився спеціалізованою технікою.

Як показує досвід країн ЄС застосування на перевезенні від БК перевантажувального варіанту транспортування у значному ступені ліквідує вказані раніше недоліки. Основою таких технологічних процесів є впровадження високопродуктивних збирально-транспортних комплексів (ЗТК), які містять, наприклад комбайн SF-10 Franz Kleine, спеціалізований тракторний напівпричіп (СТНП) ТЗП-27 з трактором потужністю 150-200 к.с., навантажувач-очішувач та великовантажні АТЗ. Це дає також змогу значно зменшити ущільнення ґрунту через виключення відвозу буряків від комбайнів великовантажними АТЗ. БК працює без зупинок з одночасним навантаженням буряків у причіп-перевантажувач, який йде поруч, з можливістю накопичення буряка в проміжному бункері при заміні СТНП з подальшим перевантаженням у великовантажний автомобіль або у кагати. Використання місткості проміжного бункера дозволяє комбайну робити довгі робочі проходи, здатні перекривати тим самим можливі транспортні затримки, коли комбайн не супроводжується рухомим поруч напівприцепом.

Не менш важливою перевагою СТНП перед вантажівкою являється ступінь впливу на ґрунт. При в'їзді вантажівки на поле відбувається високий тиск на ґрунт, що негативно позначається на подальшій врожайності вирощуваних культур. Якщо питомий тиск трактора, причепа чи комбайна завдяки широкопрофільним шинам наближається до нормативних вимог, то у вантажівки цей показник в рази перевищує допустиму норму. У дощову погоду вантажівки в полі в загальній непрацездатні.

В Україні на заводі Кобзаренка (Сумська обл.) розпочато виробництво універсальних здвигних напівпричепів серії «Атлант» з перемінним заднім бортом - це чотири напівпричепа в одному: звичайний напівпричіп, перевантажувальний бункер-накопичувач, кагатіровщик цукрових буряків і розкидач органічних добрив.

Технічна характеристика напівпричепів дана в таблиці 1.

**Таблиця 1.** Технічна характеристика напівпричепів.

**Table 1.** Technical characteristics of semi-trailers.

| Показники                           | ТЗП-39  | ТЗП-27  |
|-------------------------------------|---------|---------|
| Вантажопідйомність, кг              | 30 000  | 20 000  |
| Об'єм, м <sup>3</sup>               | 40,0    | 32      |
| Об'єм з нашивками, м <sup>3</sup>   | 48,4    |         |
| Необхідна потужність трактора, к.с. | 250-300 | 220-250 |
| Вісі, шт                            | 3       | 2       |

Особливістю потоково-перевантажувального способу транспортування врожаю буряків є гнучкість, адаптивність до погодно-кліматичних та господарських умов під час збирання. При сприятливих погодних умовах і достатньої кількості АТЗ такий ЗТК: наприклад комбайн «Холмер», тракторний напівпричіп-перевантажувач (ТНП) ТЗП-27 «Атлант» з трактором потужністю 220-250 к.с. здійснює потоково-перевантажувальний спосіб перевезення. Буряки, які вивезені з поля «Атлантом», на дорозі перевантажуються у великовантажні АТЗ для перевезення на цукровий завод (рис 1).



**Рис. 1.** Буряки, які вивезені з поля, на дорозі перевантажуються «Атлантом» у великовантажні АТЗ для перевезення на цукровий завод.

**Fig. 1.** Beet, which are removed from the field, on the road, overloaded with "Atlanta" in the ATZ heavy-duty for transport to sugar factory.

У випадку зміни умов (в дощову погоду при переувлажненому ґрунті або при недостатній кількості АТЗ) в комплекс машин додається навантажувач-очішувач і його робота переходить на перевало-перевантажувальний спосіб перевезення. «Атлант» розвантажує продукцію в кагати (рис 2), откуда вона після просихання завантажується з одночасним очищенням в АТЗ. Створений на перевалочних майданчиках запас коренеплодів дозволяє більш раціонально і продуктивно

використовувати автомобільний транспорт на вивезенні буряків протягом доби.



Рис. 2. «Атлант» розвантажує продукцію в кагати.

Fig. 2. Atlant unloads products in piles.

Доставляти коренеплоди на цукровий завод можна сучасними окремими великовантажними автомобілями і автопоїздами КрАЗ-6230С4-330+КрАЗ А261С3, КамАЗ-45143+СЗАП 8357або МАЗ-650108+МАЗ-856103.

З метою кількісної оцінки вказаних способів і визначення доцільності застосування раціонального нами розроблена методика порівняльної оцінки. Для порівняння прийнято 2 найбільш продуктивних збирально-транспортних процесів:

1) потоково-перевантажувальний процес, при якому тракторний напівпричіп ТЗП-27 транспортує буряки від комбайна та вивантажує їх в кузов АТЗ для перевезення на цукровий завод;

2) прямі перевезення буряків від БК на цукровий завод автотягачами з причепами (потоковий спосіб).

Для вибору раціонального варіанту взаємодії комбайнів та транспортних засобів (ТЗ) проаналізуємо їх раціональні параметри під час збирання і транспортування цукрових буряків.

З урахуванням широкого розповсюдження в Україні закордонної збиральної техніки нами розглянут комбайн «Холмер». Його продуктивність за годину основного часу дорівнює 1,7-3,3 га/год. Для урожайності 50 т/га середнє значення продуктивності БК за годину основного часу  $W_{кр} = 125$  т/год.

Потоково-перевантажувальний процес виконує ЗТК з трьох БК марки «Холмер», відповідно трьох напівпричепів ТЗК-27 «Атлант» з тракторами ХТЗ 17221 та необхідна кількість великовантажних АТЗ. Віддаль від поля до цукрового заводу 15 км,  $T_{зм}$  – тривалість зміни 7 год, та кількість змін  $K_{зм} = 2$ ; D – тривалість збиральних робіт, приймаємо 20 днів.

Група з 3-х БК працює в одному полі, але кожний у своїй заґінці [1], при цьому гичка подрібнюється та розкидається як органічне добриво. Трактор ХТЗ 17221 (220-250 к.с.) з напівприцепом під час завершення заповнення бункера комбайна підїжджає до БК і на ходу завантажується коренеплодами, а потім переїжджає до дороги, де розвантажується у

кузови великовантажних самоскидів АМ для перевезення у приймальний пункт цукрового заводу.

Продуктивність БК за годину змінного часу розраховують [1,6] за формулою:

$$W_{Г} = W_{кр} \tau, \text{ т/год}, \quad (1)$$

де  $\tau$  - коефіцієнт використання часу зміни:

$$\tau = \delta_{зм} \tau_{ц} = 0,81 \quad (2)$$

$\delta_{зм}$  - коефіцієнт циклового часу зміни, приймається 0,9;

$\tau_{ц}$  - коефіцієнт використання циклового часу зміни дорівнює [6]:

$$\tau_{ц} = \frac{t_{Б} + t_{РОЗ}}{t_{Б} + t_{Х} + t_{РОЗ}} = 0,9 \quad (3)$$

де  $t_{Б}$  - тривалість заповнення бункера БК буряками,

$t_{РОЗ}$  - тривалість розвантаження бункера БК (40 с. для «Холмера»);

$t_{Х}$  - тривалість холостого ходу БК на разворотах,

$t_{РУХ}$  - тривалість руху БК до кагатів і назад.

Продуктивність БК за годину змінного часу дорівнює

$$W_{Г} = W_{кр} \tau = 125 \cdot 0,81 = 101 \text{ т/год}$$

Площу, з якої три комбайна збирають за 20 робочих днів урожай визначаємо як [1]

$$S = \frac{m_{к} \cdot W_{Г} \cdot t_{зм} \cdot K_{зм} \cdot D}{U} = 1697 \text{ га} \quad (4)$$

де S – площа, га;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, 7 год;

D – тривалість збиральних робіт, 20 днів.

Умовою безперервної роботи ЗТК є баланс часу, коли кожний напівпричіп обслуговує один БК, коли тривалість обороту ТНП ( $t_{ОБ}$ ) від моменту часу завершення його завантаження до моменту повернення після розвантаження (в АТЗ або в бурти на поле) до БК для чергового завантаження буде менше або дорівнювати часу завантаження бункера комбайна ( $t_{Н}$ ). Ця умова визначається виразом:

$$t_{ОБ} \leq t_{Н}, \quad (5)$$

або

$$t_{РУХ} + \frac{K_{М} (q_{Б} + \frac{W_{кр} \cdot q_{Б}}{W_{КБ}})}{W_{Н}} \leq \frac{q_{Б}}{W_{кр}}$$

де  $q_{Б}$  - маса буряка, яка міститься у бункері БК, т;

$W_{Н}$  та  $W_{КБ}$  - продуктивність вивантажувального транспортера відповідно напівпричепа та БК (приймаємо 600 та 1600 т/год);

$K_{М}$  - коефіцієнт, який ураховує маневрування під час завантаження АТЗ, ( $K_{М} = 1,5$ );

$t_{PUX}$  - тривалість руху ТНП за один його оборот,  $t_{PUX} = 0,07$  год. за даними експериментальних досліджень [4, 5].

З останнього виразу визначається мінімальна маса буряка, що заповнює бункер БК (місткість бункера), під час руху і розвантаження СТНП:

$$q_B = \frac{t_{PUX}}{\frac{1}{W_{KP}} - \frac{K_M(1+K_B)}{W_H}} = 13,2 \text{ т} \quad (6)$$

де  $K_B = W_{KP} / W_{KB}$ .

Маса буряків, що завантажується в ТНП під час роботи з «Холмером»

$$m_H = q_B + \frac{W_{KP} \cdot q_B}{W_{KB}} = 19,4 \text{ т.} \quad (7)$$

Виходячи з розрахунків (6), мінімальна місткість бункера  $q_B = 13,2$  т. Для цього значення уточнюємо марку БК. Таким може бути БК «Холмер» з  $V_H = 24 \text{ м}^3$ , для якого

$$q_B = 28 \cdot 0,64 = 18 \text{ т} > 13,2 \text{ т}$$

Кількість напівпричепів ТЗП-27 дорівнює кількості БК. Тобто

$$n_{TЗП} = 3 \text{ од.}$$

Кількість АТЗ для обслуговування групи комбайнів знайдемо як

$$n_A = \frac{I_{ДОБ}}{W_{ДОБ}} = 6 \text{ од.,}$$

де  $W_{ДОБ} = 14625$  ткм - добова продуктивність АТЗ, т км;

$I_{ДОБ}$  - добової обсяг перевезень, т км.

$$W_{ДОБ} = \frac{T_{Ц}}{t_{Ц}} Q \cdot l_{ij} = 2846 \text{ ткм.}$$

$t_{POZ}$  — тривалість перебування автомобіля в пункті розвантаження, яка залежить від рівня механізації і організації робіт, для розрахунків приймається 0,2 год.;

Тривалість циклової роботи за добу дорівнює

$$T_{Ц} = T_{ДОБ} - T_{ПЗ} - T_{ВДП} - T_{OC} = 12,5 \text{ год.} \quad (8)$$

де  $T_{ДОБ}, T_{ПЗ}, T_{ВДП}, T_{OC}$  - відповідно тривалість роботи за добу, підготовчо-заклучний час, норматив часу на відпочинок і особисті потреби.

$t_X$  - тривалість холостого ходу БК на разворотах,

$t_{PUX}$  - тривалість руху БК до кагатів і назад.

Збирально-транспортний потоковий технологічний спосіб полягає в наступному. Розглянемо також як і в попередньому варіанті групу з 3-х БК «Холмер». Ефективною організацією вивезення цукрових буряків з поля на приймальний

пункт є застосування автопоїздів з використанням великовантажних автомобілів (АМ), при цьому АМ перевозить два причепа. За кожним з АМ закріплено по чотири двовісних причепа. При потоковому збиранні урожаю спочатку завантажується АМ, а потім окремо два причепа, які були доставлено раніше. В той час, коли автопоїзд везе буряки на приймальний пункт, при допомозі трактора два пусті причепа перевозяться до БК, де завантажуються, а потім відправляються на дорогу. При поверненні АМ з пустими причепами водій відчіпляє їх, завантажується від БК, причіплює раніше завантажені два причепа і відвозить на приймальний пункт.

У зв'язку з стохастичністю процесів збирання і транспортування (через можливі затримки транспортного засобу на шляху через стан доріг, черги на цукровому заводі та ін.) та відповідними простоями як БК та АТЗ коефіцієнт використання часу зміни для потокового процесу менше в порівнянні з потоково-перевантажувальним. Він також залежить від довжини гону поля і місткості бункера комбайна. Орієнтовно в розрахунках за даними літературних джерел можна прийняти його значення як  $\tau = 0,62$  з [1, 2].

Продуктивність БК за годину змінного часу:

$$W_{Г} = W_{KP} \cdot \tau = 125 \cdot 0,62 = 78 \text{ т / год}$$

Кількість БК необхідних для збирання буряків з базової площі поля 1697 га:

$$m_K = \frac{S \cdot U}{W_{Г} K D} = \frac{1697 \cdot 50}{78 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 20} = 4 \text{ од.} \quad (9)$$

Виходячи з однакових значень параметрів, що визначають кількість АТЗ для порівнюємих варіантів отримаємо

$$n_A = \frac{I_{ДОБ}}{W_{ДОБ}} = 6 \text{ од.}$$

З метою порівняння різних транспортних процесів нами шляхом розрахунків виконана їх економічна оцінка [6]. Техніко-економічні параметри машин ЗТК для різних транспортних процесів представлені в таблиці 2.

З представлених даних бачимо, що продуктивність БК під час застосування потоково-перевантажувальних перевезень в 1,3 перевищує продуктивність комбайнів під час поточкових перевезень, що пов'язано із застосуванням напівпричепів ТЗП-27 «Атлант», які працюють як міжопераційні компенсатори і забезпечують безперервність роботи БК. Таке підвищення означає можливість збирання буряків зі всієї базової площі (1697 га) трьома комбайнами, в той час коли традиційні поточкові прямі перевезення потребують 4 БК, що дозволяє отримати загальний економічний ефект 1471720 грн.

Особливість потоково-перевантажувального способу транспортування врожаю буряків є гнучкість, адаптивність до погодно-кліматичних та господарських умов під час збирання. У випадку зміни умов (в дощову погоду при переувлажненому ґрунті або недостатньої кількості АТЗ) в комплекс

машин додається навантажувач-очищувач і робота ЗТК переходить на перевало-перевантажувальний спосіб перевезення. «Атлант» розвантажує продукцію в кагати, звідки вона після просихання буряків завантажується в АТЗ з одночасним очищенням від ґрунту.

**Таблиця 2.** Техніко-економічні параметри машин ЗТК для різних транспортних процесів.

**Table 2.** Technical and economic parameters of the machines ZTK for different transport processes.

| Показник                                                                  | Потоковий транспортний процес                | Потоково-перевантажувальний процес         |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Коефіцієнт використання часу зміни БК                                     | 0,62                                         | 0,81                                       |
| Продуктивність БК за годину змінного часу, т/год.                         | 78                                           | 101                                        |
| Кількість комбайнів, од.                                                  | 4                                            | 3                                          |
| Кількість транспортних засобів, од                                        | КаМАЗ 45143- 6 од; причіп СЗАП 8357 - 24 од. | ТЗП-27+ХТЗ17221- 3 од.; КрАЗ-6230С4- 6 од. |
| Приведені витрати, грн/т                                                  | 50,7                                         | 55,7                                       |
| Додатковий економічний ефект за рахунок зменшення кількості БК в ЗТК, грн | -                                            | 1 500 000                                  |
| Екологічний вплив машин ЗТК                                               | Значне ущільнення ґрунту колесами АТЗ        | -                                          |
| Загальний економічний ефект, грн                                          | -                                            | 1471720                                    |

### Висновки

1. Обґрунтована методика порівняння раціональних параметрів потоково-перевантажувальних і поточкових процесів під час збирання цукрових буряків.

2. Потоково-перевантажувальний спосіб транспортування врожаю цукрових буряків має певну перспективу застосування в Україні.

### Список літератури

1. Гречкосій В. Д., Войтюк В. Д., Шатров Р. В. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник. Київ. 2014. 392 с.

2. Измайлов А. Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК. Москва. ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 200 с.

3. Фришев С. Г., Козуниця С. І. Розробка ефективних технологій транспортування зерна від комбайнів: монографія. Київ. 2015. 224 с.

4. Зязев В. А., Капланович М. С., Петров В. И. Перевозки сельскохозяйственных грузов автомобильным транспортом. Москва. Транспорт, 1979. 253 с.

5. Гоберман В. А. Автомобильный транспорт в сельскохозяйственном производстве. Москва. Транспорт, 1986. 287 с.

6. Ильченко В. Ю. Нагірний Ю. П. Машиновикористання в земліробстві. Київ. Урожай, 1996. 384 с.

7. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Rosamaha, Yu. O., Blesnyuk, O. V., Ohienko, A. V. Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. 2019. Bucharest. Vol. 58. No 2. P. 137—146. DOI: 10.35633/INMATEH-58-15. Scopus. WoS.

8. Ivan Rogovskii, Luidmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko. Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbioculture separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61) No. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10> pp. 117-128. Scopus.

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

### References

1. Grechkosiy V. D., Voitiuk V. D., Shatrov, G. V. (2014). Designing of technological processes in crop production: a training manual. Kyiv. 392.

2. Izmailov A. Y. (2007). Technologies and technical solutions to improve the efficiency of transport systems АПК. Moscow. FGNU "ROS-informagrotekh". 200.

3. Mishev S. G., Casopisa S. I. (2015). Development of an effective technology of transportation of grain from combines: monograph. Kyiv. 224.

4. Sasev V. A., Kaplunovich M. S., Petrov V. S. (1979). Transportation of agricultural goods by road. Moscow. Transport. 253.

5. Goberman V. A. (1986). Road transport in agricultural production. Moscow. Transport. 287.

6. Ilchenko, V. Y. Nagorny, Yu. P. (1996). Mashinostroenie in semlabs. Kyiv. Harvest. 384.

10. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Rosamaha, Yu. O., Blesnyuk, O. V., Ohienko, A. V.

(2019). Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. Vol. 58. No 2. P. 137—146. DOI: 10.35633/INMATEH-58-15. Scopus. WoS.

11. Ivan Rogovskii, Liudmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko. (2019). Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbioculture separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61) No. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10>. 117-128. Scopus.

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

products in piles, where it after drying the beets loaded in the car with simultaneous cleaning from soil.

**Key words:** sugar beet, harvesting, transport, efficiency, performance.

С. Г. Фришев ORCID 0000-0002-8828-7119.

#### ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

С. Г. Фришев

**Аннотация.** Предлагается методика определения рациональных параметров перегрузочной технологии во время уборки сахарной свеклы. Особенность поточно-перегрузочного способа транспортировки урожая свеклы является гибкость, адаптивность к погоднo-климатическим и хозяйственным условиям во время уборки. В случае изменения условий (в дождливую погоду при переувлажненной почве или недостаточного количества автомобилей) в комплекс машин прилагается погрузчик-очистувач и работа ЗТК переходит на перевало-перегрузочный способ перевозки. Атлант разгружает продукцию в кагаты, откуда она после просыхания свеклы загружается в автомобиль с одновременной очисткой от грунта.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, уборка, транспортировка, эффективность, производительность.

#### SUBSTANTIATION OF RATIONAL PARAMETERS OF HARVESTING-TRANSPORT COMPLEX OF MACHINES FOR PRODUCTION OF SUGAR BEET

S. G. Frishev

**Abstract.** A method of definition of rational parameters of handling technology during the harvest of sugar beet. Feature of the thread-handling method of transporting the beet harvest is flexibility, adaptability to climatic and economic conditions during harvest. In case of changing conditions (in rainy weather with wet soil or insufficient number of vehicles) to a set of machines attached loader-ocsa and work ZTK goes on perevala-shifting method of transportation. The Atlanta unloads

UDC 65.012.34:338.3.001.63

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PRODUCTION – LOGISTICS SYSTEMS THAT BASED ON PUSH AND PULL STRATEGIES

O. M. Zagursky, T. I. Slipukha

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

Corresponding authors: [zagurskiy\\_oleg@ukr.net](mailto:zagurskiy_oleg@ukr.net).

Article history: Received: March 2019. Received in the revised form: April 2019. Accepted: August 2019.  
Bible 15, fig.4, tab 5.

**Abstract.** A comparison is made of production and logistics strategies based on Push and Pull strategies and the advantages and disadvantages of their application to the enterprise are analyzed. This makes it possible to make a choice between flow management systems according to the market conditions and the characteristics of internal processes in the enterprise.

Was presented a mathematical model of choosing the construction's principle of production-logistics system of the enterprise and practical recommendations for its implementation. A system of indicators characterizing the efficiency of the production and logistics system of the enterprise has been formed. The following indicators have been identified as key criteria influencing decision-making when choosing a production and logistics system: reliability of the supplier; availability of warehouse space; fluctuations in demand; productivity; quality of production.

The evaluation of the indicators of JSC "Milk Alliance" showed that at this point in time the production and logistics system of the enterprise most fully meets the requirements of the pushing concept of flow management. At the same time, the analysis provided an opportunity to identify the directions that the company needs to work on in order to further transition to the principles of the pulling concept, namely the need to improve interactions with existing suppliers and search for new suppliers. It is determined that the selected problems at the enterprise are important factors of construction of production and logistics systems on the principles of extraction. Therefore, they can be used as criteria that influence the decision on the choice of production and logistics concept.

**Key words:** production - logistics system, flexibility, inventories, concepts of flow management, efficiency criteria, system of indicators.

### Introduction

Given the new economic conditions, an effective production and logistics system must meet such requirements as rapid response to changing demand, reducing the level of all types of inventory, fulfilling

orders with high quality of service and more. In this regard, in the design of modern production - logistics systems, work is underway to replace the sale policy of manufactured goods with the production policy of goods sold; minimizing the time of production through the technological process, reducing the batch of resources and batch processing, reducing all types of downtime and inefficient intra-industrial transportation.

### Formulation of problem

Accordingly, more and more implementation is underway with "dynamic" production and logistics systems, which allow to satisfy the needs of the clients most fully and meet the requirements of the economy of post-industrial society. In particular, they are built on the principle of pulling consumers to points of sale, which provides flexibility and high level of service, thus creating the conditions for a quick response to changing customer requests. At the same time, the factors analysis that influence the overall choice of production-logistics system strategy shows that the "cost-effective" option of the strategy, aimed at reducing all types of costs, is fully justified in conditions when demand is demanded, the requirements for diversity are limited and the volume of production is high. In this sense, scientific approaches, practical methods and models for choosing a method of managing production and logistics systems based on different concepts of material flow management and the indicators that form them are of particular interest for research.

### Analysis of recent research results

In today's economy, one of the basic competitive advantages of any organization is the ability to quickly and efficiently meet customer requests according to their requirements. The most important tool in the process of achieving this goal is the focus of the organization as a whole, because it is the formation of an effective system of promotion of goods along the supply chain, allows you to deliver the necessary goods to the consumer at the right

place, time, quantity and quality and at the lowest cost. Today, especially in foreign practice, there are many approaches to determining the performance indicators of production and logistics systems. Thus, A. Gunasekaran, S. Patel, E. Tirtiroglu propose a system of performance indicators, classified by processes [1]. Houseman considers the distribution of metrics by types of flows [2]. Chan and Ki subdivide performance appraisal indicators into groups: quantitative (cost, lead time, production capacity and resources) and qualitative (customer satisfaction, degree of flexibility, integration of information and material flows, risk management and supplier performance) [3].

However, taking into account or using certain scientific approaches does not guarantee the undoubted efficiency of the production and logistics system of the enterprise. A combination of adverse external factors (fluctuations in prices, arbitrary increases in supply parties, deviations from production schedules, and the like, etc.) can lead to disruptions or failures in the supply chain, and consequently reduce the reliability of supply and increase the costs of the enterprise. Therefore, one of the most difficult problems that management faces in modernizing the production and logistics system of the enterprise is the choice of a way to manage the goods flows, which is determined based on the overall goals of the company, market situation, features of the processes of the enterprise and other factors. Thus, the management of the enterprise is faced with a multicriteria problem, which solution can be used in different ways. The following methods of solving such problems are distinguished in science: utility theory method [4], criterion importance theory [5; 6], the weighted sum method [7; 8] method of hierarchy analysis [9; 10.]. However, despite the abundance of scientific research in this area, it should be emphasized that a number of conceptual and methodological tasks are underdeveloped and require further study, in particular regarding the choice of how to manage the flow of goods in the enterprise.

### Purpose of research

Development of methodological provisions for the design of production and logistics systems based on the pulling concept of flow management, as well as the

development of models to choose the principle of construction of production and logistics system and practical recommendations for its implementation. To achieve this goal the following tasks were solved:

- refinement of methodological approaches to the design of production and logistics systems based on the pulling concept of flow management;
- development of a mathematical model of decision-making on the choice of the principle of construction of production and logistics system of the enterprise;
- formation of a system of indicators characterizing the efficiency of the production and logistics system of the enterprise.

### Results of research

In modern science and practice, the issues of designing logistics systems of enterprises are given much attention, which is primarily due to the subject of their research - flows. Their diversity - material, labor, service, information, energy, financial - requires a clear organization and synchronization with each other not only within the enterprise, but throughout the supply chain. The lack of common principles for flow management makes it impossible to use the synergistic effect of their combination and leads to loss of the entire production and logistics system. The main information taken into account in the development of production and logistics systems is information on the market, production, material and information flows. Therefore, the research is based on modern scientific approaches in the field of logistics, marketing and management. Thus, in the logistics and marketing activities distinguish two basic principles of material flow management: ejection and extraction. Accordingly, production and logistics strategies based on these principles were called Push and Pull strategies.

Manufacturing and logistics system, pushing type (Figure 1), means an adaptive system that performs certain production and logistics functions, which is based on the principle of transferring the resource from the previous link of the logistics chain to the next according to a centralized delivery schedule. In it, the main focus is on material flow planning based on demand forecasts, and production and trade "push" their goods to points of sale according to the delivery schedule and do not depend on the needs of customers.

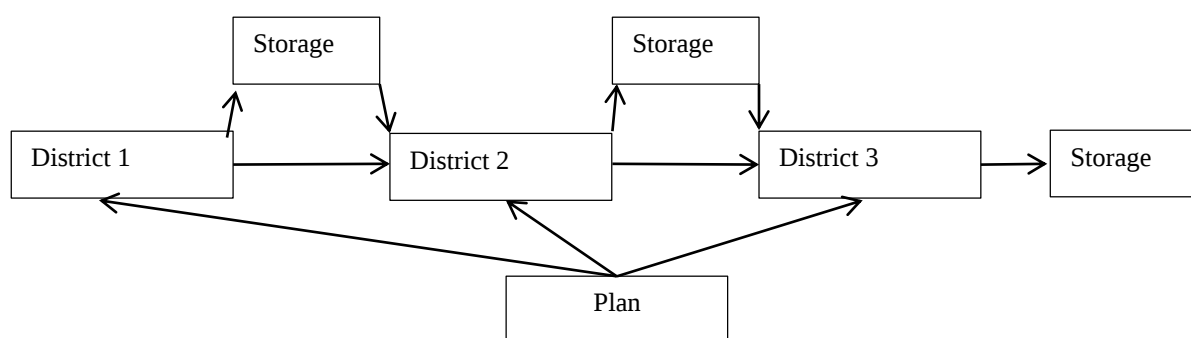
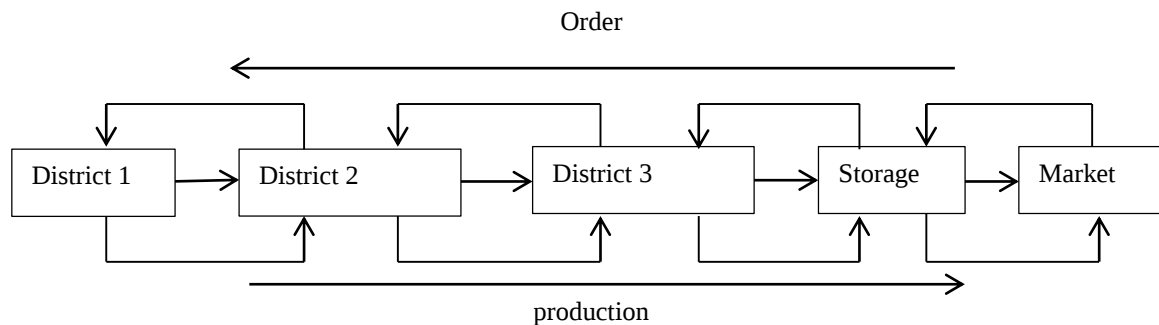


Fig. 1. The scheme of Push Strategy.

Production – logistics system based on the pulling concept (Fig. 2) can be described as an adaptive feedback system that performs certain production and logistics operations based on the principle of transferring the resource from the previous link of the production and

logistics chain the following at the request of the end consumer, the customer. In it the buyer is "attracted" to the point of sale and the signal for the beginning of the production process is also given by the consumer.



**Fig. 2.** The scheme of Pull Strategy.

The purpose of both concepts is to meet the needs of the next link at the expense of the previous one's resources. The main and defining differences of production and logistics systems based on pushing and pulling concepts are:

- flow control method;
- the degree of centralization of supply planning for inter-link transmissions;
- approaches to establishing the rhythm that determines the movement of material flow.

Each method of organization of production and logistics system has strengths and weaknesses that influence the strategy of enterprise development. Thanks to the basic characteristics of the pulling concept (flexibility, high quality of service, reduction of inventory standards), the flow management system makes it possible to respond quickly to changes in customer requests. As a result of its construction, the company shortens the production cycle, increases the turnover of inventories and, in fact, carries out work to order. At the same time, the principle of extraction requires timeliness and quality of deliveries, as they ensure the operation of the entire production process in the absence of stocks or their minimum size. Similarly, the system does not provide input quality control, so the reliability of supplying quality materials is one of the main conditions.

Considering the strengths of the push system, it is possible to note its stability and the possibility of organizing the input control, which allows to ensure the satisfaction of stable high demand. However, it also has drawbacks, namely the lack of clarity in demand tracking and the mandatory availability of insurance reserves and reserves. Therefore, for this system, demand fluctuations are extremely negative. Reserves that allow for fluctuations require significant financial costs, additional storage space and manpower from the system.

Accordingly, the management of the enterprise in the design of production and logistics system is tasked with choosing between pushing strategies focused on mass production planned production and pulling, which focus on the production of small batches at the request of the consumer. Assessment of the strengths and weaknesses of the concept allows the company to choose between flow

management systems according to their market conditions and the characteristics of internal processes in the enterprise. At the same time it is necessary to adhere to generally accepted principles of strategy development, such as systematic, adaptability, global optimization, logistical coordination and integration.

The first stage in the design of the production and logistics system is goal setting. The company can set the following types of goals: 1) Achieving certain values of the market share indicator. 2) Increasing the efficiency of activities that are necessary when the needs of consumers are not met or are not met at the expense of resources high costs, ie with inefficient use of capital, staff and production and technical potential of the company.

This step is crucial because it allows us to formulate a vision for the future of the company [11].

After defining the goal, the management of the company must make a choice between the type of production and logistics system, that is, identify the appropriateness of using an enterprise system based on pulling or pushing concepts. This can be done through a detailed examination of the company specificity, market conditions, geographical location and other factors, using methods of mathematical and economic modeling. However, when designing a production and logistics system, it is important to understand that the object is the processes that occur in the enterprise in real time and meet the current economic conditions. To choose an alternative strategy of production-logistics system of the enterprise we use the method of hierarchy analysis (MHA). The purpose of the method is to justify the best choice of the proposed alternatives, the characteristics of which are vectors with heterogeneous, including with indeterminate, separate components [12].

The essence of the method of analysis of hierarchies lies in the step-by-step solution of such interconnected individual problems as:

- construction of indicators hierarchical structure;
- evaluation of the hierarchical arrangement of individual indicators for each hierarchy's level;
- comparison of available alternatives and choosing the best one.

This method seems simple, straightforward and easy to calculate. Accordingly, it is widely used in practical activities to perform decision-making tasks in different productions: to choose one best or several best options, to sort (rank) all the options by preference, etc.

The following are the advantages of using the MHA over other methods of selecting alternative projects and prioritizing them.

- uses a hierarchical structure and enables decision-makers to determine the level of strategic goals and specific indicators to better assess strategic alignment.

- goes beyond financial analysis as a result of integrating quantitative and qualitative parameters.

- enables decision makers to measure the relative importance of projects, including their benefits, costs, risks and opportunities, leading to more efficient use of funds.

- can be applied to any organization with any level of maturity, since the data is normalized using numerical estimates or expert judgment when the required indicators are unavailable.

- is subjected to sensitivity analysis, which provides a greater number of analytical capabilities when considering a particular scenario [13].

For choosing the constructions principle of production-logistics system, we will evaluate the state of the enterprise and the possibility of implementing the system in the existing conditions. Based on the level of indicators, we can conclude on which system at a given moment conditions are most fully meet its requirements. At the same time, we will evaluate the directions that the enterprise needs to improve in order to further transition from one system to another.

Since the study of company performance is carried out at the current time, the solution of the problem will occur in the conditions of certainty. Thus, we construct a model of linear decision-making programming under certainty. There are many variants of system V

$$V = (V_1; V_2) \quad (1)$$

where  $V_1$  – is pull system,

$V_2$  – is push system.

Each variant of  $V_i$  is characterized by the values of the  $X_i$  criteria. That is, for each variant there is a vector criterion X

$$X = (X_1, \dots, X_n) \quad (2)$$

where n – is number of criteria,

$X_i$  takes a value from the set  $N_i$  (scale)

The objective function in this case will be represented by an additive function:

$$h(x) = a_1 n_1(x) + a_2 n_2(x) + \dots + a_m n_m(x) \rightarrow \max \quad (3)$$

where  $a_i$  – is degree of criterion's significance (its relative weight),

$n_m(x)$  – is the level of its importance in the enterprise.

The whole set of n criteria under consideration should cover key procurement, production, and consumption processes that are important for both the towing and the pushing systems.

As criteria that influence the decision-making on the choice of production and logistics concept we have selected the following indicators:

- Supplier reliability is a particularly important criterion for the pull strategy in which suppliers and their relationships with suppliers are key;

- availability of warehouse space - the criterion is more inherent in the pushing strategy, since fuzzy demand tracking implies the availability of insurance stocks;

- fluctuations in demand - a criterion characteristic of both concepts, but due to the low flexibility of greater impact it has a pushing strategy where fluctuations in demand can lead to more negative consequences;

- labor productivity is a factor that has a great impact on both alternatives, because for the extraction principle it provides a short production cycle and for the ejection - the efficiency of the whole system, which is directly dependent on the volume of production and income;

- the quality of the products produced is also a factor that matters for both systems. The quality level must be assessed both at the entrance to the production logistics system and at the exit. Both factors are extremely important for the hauling system. Lack of input control causes increased responsibility of suppliers, and lack of inventory makes the quality of manufactured products one of the priority tasks of production, because each unit of defective goods generates the need to create a buffer.

In view of the peculiarities of the first two criteria and their impact on the production-logistics systems of different types, we will divide them into additional indicators 1 (coefficient of supply's volume, coefficient of supplies quality, coefficient of materials supplied quality; factor of supplier's distance), 2 (coefficient of supply) the maintenance of work in progress, the coefficient of area security of finished products retention, the factor of area security of raw materials retention). Thus, the system of indicators that influence the decision on the choice of production and logistics concept has the following form.

The integrated coefficient of each indicator is calculated as the weighted average of the partial coefficients.

$$N_i = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_i}{i} \quad (4)$$

The  $N_i$  ratio indicates what level each of the metrics in the enterprise is. Moreover, each indicator of  $n_i$  is compared to its significance level for  $N_i$  analysis. In order to evaluate this level, you must arrange all the indicators by their degree of importance so that the rule  $n_1 > n_2 > \dots$   $n_i$  is satisfied. Ranking is by Fishburn rule [14]:

$$n_i = \frac{2(n - i + 1)}{(n - 1)n} \quad (5)$$

And if we assume that the development's level of the production-logistics system of the enterprise is equal to 1, then the matrix "A" constructed using the method of pairwise comparisons will have the form.

**Table 1.** System of indicators that influence decision making when choosing a production - logistics concept.

| Index                        | Indicator                                                                  | Partial coefficient | Integrated coefficient |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|
| Provider reliability         | Delivery ratio                                                             | $n_1$               | $N_1$                  |
|                              | The timeliness of deliveries                                               | $n_2$               |                        |
|                              | Quality factor of the supplied materials                                   | $n_3$               |                        |
|                              | Vendor Remoteness Ratio                                                    | $n_4$               |                        |
| Existence of warehouse areas | The coefficient of security of the area of maintenance of work in progress | $n_5$               | $N_2$                  |
|                              | The coefficient of security of the area of retention of finished products  | $n_6$               |                        |
|                              | The coefficient of availability warehouse of raw materials retention       | $n_7$               |                        |
| Fluctuations in demand       | Coefficient of actual sales deviation from planned                         | $n_8$               | $N_3$                  |
| Productivity                 | The level of productivity                                                  | $n_9$               | $N_4$                  |
| The quality of the products  | Quality factor of the produced products                                    | $n_{10}$            | $N_5$                  |

Source: prepared by the author

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \frac{N_1}{N_2} & \frac{N_1}{N_3} & \frac{N_1}{N_4} & \frac{N_1}{N_5} \\ \frac{N_2}{N_1} & 1 & \frac{N_2}{N_3} & \frac{N_2}{N_4} & \frac{N_2}{N_5} \\ \frac{N_3}{N_1} & \frac{N_3}{N_2} & 1 & \frac{N_3}{N_4} & \frac{N_3}{N_5} \\ \frac{N_4}{N_1} & \frac{N_4}{N_2} & \frac{N_4}{N_3} & 1 & \frac{N_4}{N_5} \\ \frac{N_5}{N_1} & \frac{N_5}{N_2} & \frac{N_5}{N_3} & \frac{N_5}{N_4} & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

The matrix "A" allows you to evaluate which indicators in the enterprise are more important. For this purpose, a normalized matrix "A" is calculated by dividing the elements of each matrix "A" column by the sum of the elements of these columns.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Then to determine the proportion of each indicator in the level of enterprise's processes we find the average value of the line items:

$$A = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} \quad (8)$$

The assessment of the processes importance for each systems is made taking into account the experience of specific enterprises. To do this, we add a pairwise comparison matrix (Tables 2, 3.)

**Table 2.** The matrix of pairwise comparison of indicator's importance for the pull-system.

| Index                        | Provider reliability | Existence of warehouse areas | Fluctuations in demand | Productivity | The quality of the products | Total |
|------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------|--------------|-----------------------------|-------|
| Provider reliability         | 1                    | 1                            | 1                      | 1            | 1                           | 5     |
| Existence of warehouse areas | 0                    | 1                            | 0                      | 0            | 0                           | 1     |
| Fluctuations in demand       | 0                    | 1                            | 1                      | 0            | 0                           | 2     |
| Productivity                 | 0                    | 1                            | 1                      | 1            | 0                           | 3     |
| Provider reliability         | 0                    | 1                            | 1                      | 1            | 1                           | 4     |

**Table 3.** The matrix of pairwise comparison of indicator's importance for the push system.

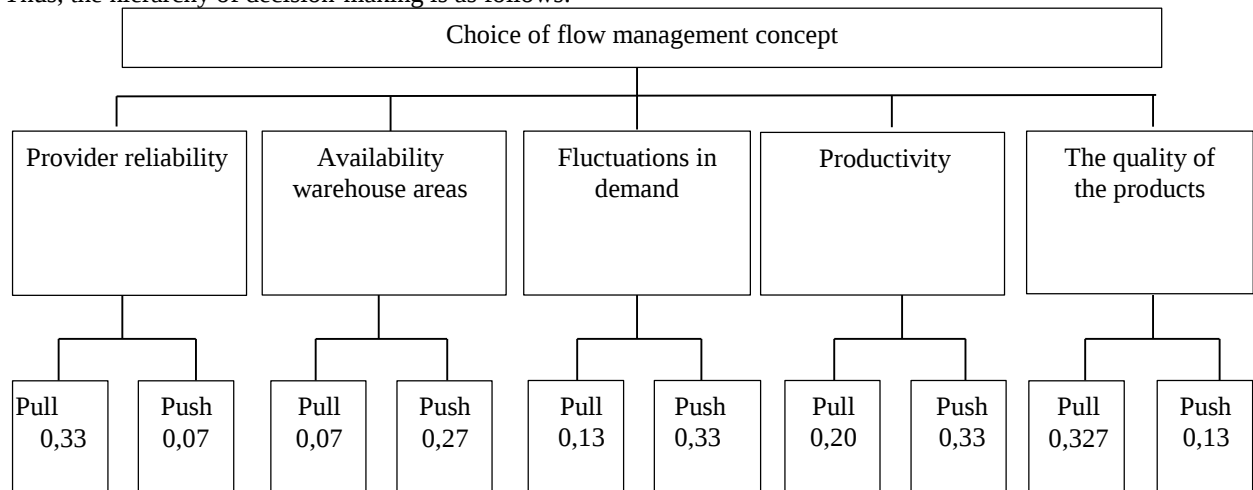
| Index                        | Provider reliability | Existence of warehouse areas | Fluctuations in demand | Productivity | The quality of the products | Total |
|------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------|--------------|-----------------------------|-------|
| Provider reliability         | 1                    | 0                            | 0                      | 0            | 1                           | 2     |
| Existence of warehouse areas | 1                    | 1                            | 0                      | 1            | 0                           | 3     |
| Fluctuations in demand       | 1                    | 1                            | 1                      | 1            | 1                           | 5     |
| Productivity                 | 1                    | 0                            | 0                      | 1            | 1                           | 3     |
| The quality of the products  | 0                    | 1                            | 0                      | 0            | 1                           | 2     |

Source: prepared by the author

**Table 4.** Criteria for evaluating the importance of indicators for pull and push systems.

| Index                        | The degree of importance |             |      |             |
|------------------------------|--------------------------|-------------|------|-------------|
|                              | pull                     | coefficient | push | coefficient |
| Provider reliability         | 5                        | 0,33        | 2    | 0,07        |
| Availability warehouse areas | 1                        | 0,07        | 3    | 0,27        |
| Fluctuations in demand       | 2                        | 0,13        | 5    | 0,33        |
| Productivity                 | 3                        | 0,2         | 3    | 0,2         |
| The quality of the products  | 4                        | 0,27        | 2    | 0,13        |

Thus, the hierarchy of decision-making is as follows:

**Fig. 3.** The hierarchy of decision making for the choice of logistics concept.

In fact, tables 2 and 3 define the importance criteria for a given production-logistics system. It should be noted that in scientific research there is no precise formal definition of the criteria's importance, so as a rule this task is solved by an informal method, involving experts who come from their own understanding about the importance of individual indicators. As a result, we get criteria for evaluating the importance of indicators for both systems.

The purpose of both concepts is to meet the needs of the The estimation of the two systems is based on the calculation of the combined weighting factor for each of them.

Push:  $0,33N_1 + 0,07 N_2 + 0,13 N_3 + 0,20 N_4 + 0,27 N_5 = x_1$ .

Pull:  $0,07 N_1 + 0,27 N_2 + 0,33 N_3 + 0,33 N_4 + 0,13 N_5 = x_2$ .

Accordingly, a system that has a combined weight ratio is greater and is optimal for a given enterprise when available.

Let's calculate the value of indicators for JSC "Milk Alliance" (Table 5).

The values of the indicators that influence the decision making when choosing a production-logistics concept for JSC "Milk Alliance".

Pull:  $0,33 * 0,56 + 0,07 * 0,64 + 0,13 * 0,8 + 0,2 * 1,22 + 0,27 * 0,97 = 0,84$ .

Push:  $0,07 * 0,56 + 0,27 * 0,64 + 0,33 * 0,8 + 0,33 * 1,22 + 0,13 * 0,97 = 0,99$ .

The results show that today it is more profitable to use a pushing production and logistics system at the enterprise. And in view of the weight and significance of the criteria, in order to switch to the Milk Alliance JV flow management system, it is first necessary to pay attention to working with suppliers, improving relationships with them or finding new suppliers.

If it is impossible to implement a pulling strategy (as in the object of research), the company needs to conduct an analysis of factors that impede the change of production and logistics system. When identifying a problem and finding a solution, an important aspect is to eliminate the underlying causes of the discrepancy.

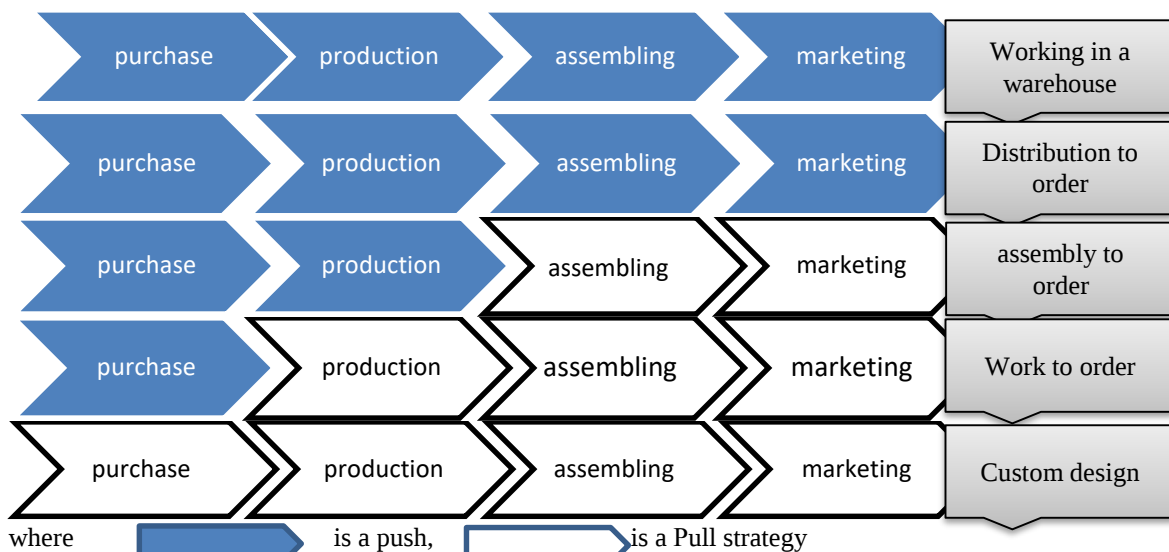
**Table 5.** The values of the indicators that influence the decision making when choosing a production and logistics concept for JSC "Milk Alliance".

| Index                        | Indicator                                                                 | Partial coefficient                                                                     | Integrated coefficient |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Provider reliability         | Delivery ratio                                                            | $n_1 = \frac{4754520}{5150380} = 0.92$                                                  | $N_1 = 0,56$           |
|                              | The timeliness of deliveries                                              | $n_2 = \frac{10 \text{ поставч} / \text{міс}}{13 \text{ поставч} / \text{міс}} = 0.77$  |                        |
|                              | Quality factor of the supplied materials                                  | $n_3 = \frac{148 \text{ м} / \text{міс}}{151 \text{ м} / \text{міс}} = 0.98$            |                        |
|                              | Vendor Remoteness Ratio                                                   | $n_4 = 90\% \geq 100 \text{ км} = 0.1$                                                  |                        |
| Availability warehouse areas | Коефіцієнт забезпеченості площі утримання НЗВ                             | $n_5 = \frac{120220}{124610} = 0.96$                                                    | $N_2 = 0,64$           |
|                              | Коефіцієнт забезпеченості площі утримання ГП                              | $n_6 = \frac{90000}{94500} = 0.95$                                                      |                        |
|                              | The coefficient of availability warehouse area of raw materials retention | $n_7 = \frac{148000}{145500} = 1,02$                                                    |                        |
| Fluctuations in demand       | Coefficient of actual sales deviation from planned                        | $n_8 = \frac{5360800 \text{ грн} / \text{міс}}{6742000 \text{ грн} / \text{міс}} = 0.8$ | $N_3 = 0,8$            |
| Productivity                 | The level of productivity                                                 | $n_9 = \frac{12100}{9900} = 1,22$                                                       | $N_4 = 1,22$           |
| The quality of the products  | Quality factor of the produced products                                   | $n_{10} = \frac{1450 \text{ м} / \text{міс}}{1490 \text{ м} / \text{міс}} = 0.97$       | $N_5 = 0,97$           |

Source: prepared by the author

In this case, all obstacles to the construction of the pulling concept can be divided into bulk and insurmountable. The insurmountable causes, as a rule, lie in the external environment of the company, which cannot be influenced, first of all, by the nature of consumption or the specificity of production technology, its dependence

on chemical or biological processes. In this case, the company is forced to find other tools to achieve this goal. Overcoming obstacles, as a rule, are the characteristics of the internal environment of the company. For example, features of interaction between workshops, departments, suppliers, customers, etc.

**Fig. 4.** The main combinations of Push and Roll strategies.

Source: prepared by the author

When working with them should develop a plan for solving the problem and the stages of its implementation. After eliminating the root causes, you can return to assessing the possibility of building a traction system.

However, in practice, basic types of pushing or pulling production and logistics systems in a "clean" form are rarely used. Typically, enterprises combine ways to eliminate bottlenecks based on their own technological process. And if you can conditionally divide the supply chain into the following stages: procurement, production, installation and marketing, there are five major combinations of Push and Pull strategies: warehousing, custom distribution, build-to-order, work-to-order and custom design.

Most desirable for businesses in most sectors of the economy is the closest possible approach to a full Pull strategy (custom design). After all, the pulling concept of logistics is universal and can be applied in the construction of production and logistics system in any field of activity. Dennis Hobbs [15] clearly identifies the six stages of building a production and logistics system based on a pulling concept.

1. Initialization and launch of the project. This stage contains the formulation of a strategic vision for the future company, determining the composition of teams and training participants, drawing up a plan of action, defining the powers of teams, their tasks, organizing the collection of information necessary for the design of supply chains on a pulling basis.

2. Documenting products, processes and materials.

3. The stage of final review, which is to complete the information-gathering activities, ie to reach consensus and approve management decisions on products, volumes and working minutes per day on the drawing line.

4. Production capacity planning. The purpose of this phase is to create an extraction strategy model based on the estimated volume of resources.

5. Commissioning of the line. At this stage, the clock and switching time of operators are synchronized; the correctness of the distribution of tasks across workplaces and ergonomic planning of the workplace are checked; a plan is made to reduce work in progress; a mechanism for continuous improvement of the process is introduced.

6. Assimilation, that is, checking the operation of the line and assessing its compliance with the criteria of the drawing concept. At this final stage, deviations are identified and correction strategies are developed.

The measures carried out generally contribute to improving the efficiency of the production and logistics system of the enterprise and its profitability, respectively. In the future, to create value flow for internal and external consumers, it is necessary to transform them into a sequence of processes. Turning supply chains into streams also means the continuity of the flow of resources that are processed in business processes in a rhythm that is set by consumers on a pull-out basis, thereby automatically building a supply system "on time."

## Conclusions

1. When constructing and designing a production and logistics system based on the pulling principle of flow

management, it is necessary to adhere to the basic principles: systematicity, adaptability, global optimization, logistical coordination and integration, development of a corresponding complex of subsystems. It is important to constantly improve processes, which, in the context of regular changes, can improve and maintain the efficiency of the system as a whole.

2. Assessing the feasibility of implementing the concept at the enterprise is an important step in building a production and logistics system, as it selects the concept of flow management. In order to make a decision, the study used the method of analysis of the AHI hierarchy, which made it possible to substantiate the choice of the best alternative strategy for JSC "Milk Alliance". The analysis showed that the performance of the company at this point in time most fully meet the requirements of a pushing production and logistics flow management system, and at the same time gave the opportunity to identify the directions that need to work to further the transition to the principles of pulling concept. Selected problems at the enterprise are important factors in the construction of production and logistics systems based on the principles of extraction. Therefore, they can be used as criteria that influence the decision on the choice of production and logistics concept.

## References

1. Gunasekaran A., Patel, C., Tirtiroglu E. (2001). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 21, №1/2, 71-87.
2. Hausman W. (2018). Financial Flows & Supply Chain Efficiency/Visa Commercial Solutions URL: [http://www.visaasia.com/ap/sea/commercial/corporates/includes/uploads/Supply\\_Chain\\_Management\\_Visa.pdf](http://www.visaasia.com/ap/sea/commercial/corporates/includes/uploads/Supply_Chain_Management_Visa.pdf).
3. Chan F. T., Qi H. J. (2003). An innovative performance measurement method for supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 3. 209-223.
4. Leenders M. R., Johnson P. F., Flynn A. E., Fearon H. E. (2006). *Purchasing and Supply Management*, 13 th edition. McGraw-Hill. 768.
5. Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (2005). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. NewYork: Springer. 1035.
6. Podinovski V. V. (1994). Criteria importance theory. *Mathematical Social Sciences*. Vol. 27. 237-252.
7. Belton V., Stewart T. J. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Boston: Cluwer. 372.
8. Branke J., Deb K., Miettinen K., Sownski R. (2008). *Multiobjective optimization: interactive and evolutionary approaches*. NY: Springer. 470.
9. Odnorog M. A. (2015). Investment support for completed projects at agricultural enterprises. *Actual Problems of Economics*. № 7. 180-185.
10. Saaty T. L. (1982). *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. Belmont, Calif.: Lifetime Learning Publications, 291.

11. Drake, P. R. (1998). Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education. *International Journal of Engineering Education*. Vol. 14 (3). 191-196.
12. Saaty T. L. (1996). *The Hierarchon: A Dictionary of Hierarchies*. Pittsburgh, Pennsylvania : RWS Publications. 510.
13. Kendrick J. D., Saaty D. (2007). Use Analytic Hierarchy. Process For Project Selection. *Six sigma forum magazine*. 22-29. URL: <http://engexecforum.com/external%20files/Use%20Analytic%20Heirarch%20for%20Project%20Selection.pdf>.
14. Fishburn P. (1968). *Utility Theory*. Management Science. Vol. 14, No. 5. 335-378.
15. Hobbs D. P. (2003). *Lean Manufacturing Implementation: A Complete Execution Manual for Any Size Manufacturer* J. Ross Publishing. 264.

### Список літератури

1. Gunasekaran A., Patel, C., Tirtiroglu E. Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*. 2001. Vol. 21, №.1/2, P. 71-87.
2. Hausman W. *Financial Flows & Supply Chain Efficiency/Visa Commercial Solutions* URL: [http://www.visaasia.com/ap/sea/commercial/corporates/includes/uploads/Supply\\_Chain\\_Management\\_Visa.pdf](http://www.visaasia.com/ap/sea/commercial/corporates/includes/uploads/Supply_Chain_Management_Visa.pdf).
3. Chan F. T., Qi H. J. An innovative performance measurement method for supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2003. Vol. 3. P. 209-223.
4. Leenders M. R., Johnson P. F., Flynn A. E., Fearon H. E. *Purchasing and Supply Management*, 13 th edition, 2006. McGraw-Hill. 768 p.
5. Figueira J., Greco S., Ehrgott M. Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys. NewYork: Springer, 2005. 1035 p.
6. Podinovski V. V. Criteria importance theory. *Mathematical Social Sciences*. 1994. Vol. 27. P. 237-252.
7. Belton V., Stewart T. J. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Boston: Cluwer, 2002. 372 p.
8. Branke J., Deb K., Miettinen K., Sownski R. *Multiobjective optimization: interactive and evolutionary approaches*. NY: Springer, 2008. 470 p.
9. Odnorog M. A. Investment support for completed projects at agricultural enterprises. *Actual Problems of Economics*, 2015. № 7. P. 180-185.
10. Saaty T. L. *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. Belmont, Calif.: Lifetime Learning Publications, 1982, 291 p.
11. Drake, P. R. Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education. *International Journal of Engineering Education*. 1998. Vol. 14 (3). 191-196.
12. Saaty T. L. *The Hierarchon: A Dictionary of Hierarchies*. Pittsburgh, Pennsylvania : RWS Publications, 1996. 510 p.
13. Kendrick J. D., Saaty D. Use Analytic Hierarchy. Process For Project Selection. *Six sigma forum magazine*. 2007. P. 22-29. URL: <http://engexecforum.com/external%20files/Use%20Analytic%20Heirarch%20for%20Project%20Selection.pdf>.
14. Fishburn P. *Utility Theory*. Management Science. 1968. Vol. 14, No. 5. P. 335-378.
15. Hobbs D. P. *Lean Manufacturing Implementation: A Complete Execution Manual for Any Size Manufacturer* J. Ross Publishing, 2003. 264 p.

### ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБНИЧО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ТЯГНУЧОЇ КОНЦЕПЦІЇ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ

О. М. Загурський, Т. І. Сліпуча

**Анотація.** Досліджено особливості проектування виробничо-логістичних систем на основі тягнучої концепції управління потоками. Її застосування дозволяє найбільш повно задовольнити потреби клієнтів, забезпечити гнучкість постачань й зниження собівартості продукції для підприємства, створити умови для швидкої реакції на зміни запитів споживачів, скоротити виробничий цикл, підвищити оборотність запасів і, по суті, здійснити перехід до стратегії виробництва товарів на замовлення споживачів.

Проведено порівняння виробничо-логістичних стратегій, що побудовані на принципах Push (штовхаюча), і Pull (тягнуча) стратегій та проаналізовано переваги та недоліки їх застосування для підприємства. Аналіз сильних і слабких сторін стратегій дозволяє зробити вибір між системами управління потоками відповідно до умов роботи на ринку та особливостей внутрішніх процесів на підприємстві.

Запропоновано математичну модель вибору принципу побудови виробничо-логістичної системи підприємства та практичні рекомендації до її впровадження. Сформовано систему показників, що характеризують ефективність функціонування виробничо-логістичної системи підприємства. В якості ключових критеріїв, що впливають на прийняття рішення при виборі виробничо-логістичної системи виділено наступні показники: надійність постачальника; забезпеченість складськими площами; коливання попиту; продуктивність праці; якість виробленої продукції.

Оцінка показників ВАТ «Молочний альянс» засвідчила, що на даний момент часу виробничо-логістична система підприємства найбільш повно відповідає вимогам штовхаючої концепції управління потоками. В той же час проведений аналіз надав можливість виявити напрямки над якими необхідно працювати підприємству для подальшого переходу до принципів тягнучої концепції, а саме необхідність покращення взаємодій із діючими постачальниками та пошук нових постачальників. Визначено, що виділені проблеми на підприємстві є важливими факторами побудови виробничо-логістичних систем на принципах витягування. Тому вони можуть бути використані в якості критеріїв, що впливають на прийняття рішення про вибір виробничо-логістичної концепції.

**Ключові слова:** виробничо-логістична система, гнучкість, запаси, концепції управління потоками, критерії ефективності, система показників.

управления потоками, критерии эффективности, система показателей.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-  
ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ  
ТЯНУЩЕЙ КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ПОТОКАМИ

*О. Н. Загурский, Т. И. Слипуха*

**Аннотация.** Исследованы особенности проектирования производственно-логистических систем на основе тянущей концепции управления потоками. Ее применение позволяет наиболее полно удовлетворять потребности клиентов, обеспечивать гибкость поставок и снижения себестоимости продукции для предприятия. Таким образом, создаются условия для быстрой реакции предприятия на изменения запросов потребителей, сокращается производственный цикл, повышается оборачиваемость запасов и, по сути, осуществляется переход к стратегии производства на заказ.

Проведено сравнение производственно-логистических стратегий построенных на принципах Push (толкающая), и Pull (тянущая) стратегии, проанализированы преимущества и недостатки их внедрения на предприятии. Анализ сильных и слабых сторон позволяет сделать выбор между системами управления потоками в соответствии с условиями работы на рынке и особенностями внутренних процессов на предприятии.

Предложена математическая модель выбора принципа построения производственно-логистической системы предприятия и практические рекомендации к ее внедрению. Сформирована система показателей, характеризующих эффективность функционирования производственно-логистической системы предприятия. В качестве критериев, влияющих на принятие решения о выборе производственно-логистической концепции, выделены следующие показатели: надежность поставщика; обеспеченность складскими площадями; колебания спроса; производительность труда; качество производимой продукции.

Оценка критериев ЗАО «Россава» показала, что на данный момент времени производственно-логистическая система предприятия наиболее полно отвечает требованиям толкающей концепции управления потоками. В то же время проведенный анализ дал возможность выявить направления, над которыми необходимо работать предприятию для дальнейшего перехода к принципам тянущей концепции, а именно необходимость улучшения взаимодействия с действующими поставщиками и поиск новых поставщиков. Определено, что выделенные проблемы на предприятии являются важными факторами построения производственно-логистических систем на принципах вытягивания. Поэтому они могут быть использованы в качестве критериев, влияющих на принятие решения о выборе производственно-логистической концепции.

**Ключевые слова:** производственно-логистическая система, гибкость, запасы, концепции

**О. М. Zagursky** ORCID 0000-0002-5407-8466.

**Т. І. Slipukha** ORCID 0000-000X-XXXX-XXXX.

УДК 631.5

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРА ЗА ЗАКОНАМИ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСУ

Н. І. Болтянська, О. В. Болтянський

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 17, рис. 0, табл. 0.*

**Анотація.** Сьогодні спостерігається старіння машинно-тракторного парку в тваринництві та особливо гостро стає проблема ефективного використання вітчизняної і зарубіжної техніки. Особливо велика увага приділяється проблемі підвищення якості та надійності розроблюваних вітчизняних машин і устаткування. Вимоги до техніки безперервно зростають як до якості, так і діапазону виконання сільськогосподарських робіт і операцій, підвищення надійності і продуктивності. Особливість функціонального призначення та експлуатації засобів механізації у тваринництві полягає у забезпеченні безперервності біотехнічного зв'язку: оператор — машина — тварина — навколишнє середовище. Це є можливим лише за умов постійного підтримання вказаних засобів у працездатному стані, за якого коефіцієнт готовності кожної одиниці повинен бути на рівні 0,95–0,98. У теорії надійності відомо декілька десятків розподілів, за допомогою яких можливо описувати експериментальні дані відмов. Розглядаючи різні моделі відмов виділено ряд розподілів: нормальний, логарифмічно нормальний, Вейбулла, гамма та експоненціальний, які є основою побудови моделей довговічності невідновлених виробів тваринницької техніки, замінені у разі відмови запасними. Перелічені розподіли охоплюють відповідно поступові, зносові, утомлені та раптові відмови механічних систем, складних систем, що пройшли період припрацювання, а також систем, які експлуатуються в тяжких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень.

**Ключові слова:** надійність, прес-гранулятор, запасні частини, параметри розподілу, час прогнозу, середній ресурс.

### Постановка проблеми

В умовах численних інституційних перетворень, за яких відбулося значне погіршення стану матеріальної бази вітчизняних великотварних сільськогосподарських товаровиробників, особисті селянські господарства стали основними виробниками продукції найбільш трудомістких і збиткових галузей сільського господарства, в першу чергу тваринництва. Трудомістке виробництво тваринницької продукції в особистих селянських господарствах дає можливість створити

сферу вторинної зайнятості для працездатних осіб сільської місцевості, а для деяких соціальних груп жителів села – основної зайнятості. Враховуючи стан розвитку інфраструктури села, особливо розвиток торговельної мережі та рівень забезпечення продуктами харчування тваринного походження, а також рівень грошових доходів сільських жителів особисте селянське господарство набуває форм натурального, а надлишки тваринницької продукції частково реалізуються, стаючи одним з основних джерел надходження грошових коштів. У нових умовах формування економічних відносин на селі та розвитку невеликих фермерських господарств першочергове значення має розробка та впровадження у виробництво енергоощадних малогабаритних засобів механізації, які мають високу експлуатаційну надійність [1-4].

### Аналіз останніх досліджень

Найважчий в аграрних підприємствах парк техніки кількісно зменшився, морально застарів, фізично зношений. Економічний стан підприємств аграрного сектору такий, що найближчим часом докорінне оновлення їх матеріально-технічної бази є досить проблематичним, тому пріоритетною задачею технічної політики наразі є зупинка процесу катастрофічного зменшення кількісного складу наявного парку техніки та відновлення матеріально-технічної бази його сервісного забезпечення. Збереження кількісного складу парку може бути досягнуто за рахунок відновлювальних ремонтів з одночасною модернізацією основних видів сільськогосподарської техніки. Це дозволить на 30–40% зменшити вибуття техніки з експлуатації і використовувати її в аграрному секторі ще впродовж 5–6 років. Підтримувати сільськогосподарську техніку в робочому стані та ефективно її використовувати можна лише забезпечивши заданий рівень надійності та відповідно організувавши технічний сервіс [5-7].

Питанням забезпечення надійності тваринницької техніки, підтримання її в робочому стані та ефективного її використання приділяли увагу такі науковці: А.І. Бойко, А.В. Новицький, З.В. Ружи́ло, С.В. Кропивко, В.С. Ловейкін, К.І. Почка та ін. Але на даний час

залишається невирішеними ще дуже багато питань [4, 7, 8].

### Мета досліджень

Мета досліджень є визначити ряд розподілів, які є основою побудови моделей довговічності невідновлених виробів (елементів) прес-гранулятора, замінених у разі відмови запасними, які охоплюють поступові, зносові, утомлені та раптові відмови механічних систем, що пройшли період припрацювання, а також систем, які експлуатуються в тяжких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень.

### Результати досліджень

Існуючі засоби механізації, які суттєво підвищують продуктивність процесу створення повноцінних кормів та знижують його трудомісткість, мають велику масу, та значну питому енергоємність. Використання цих агрегатів на невеликих фермах призводить до необґрунтованої витрати енергії, що підвищує собівартість кормових матеріалів. Також це стосується ситуації з переробкою матеріалів органічного походження та відходів тваринницьких підприємств.

Прес-гранулятори широко використовуються аграріями як інструмент для підготовки кормів та переробки відходів сільського господарства. Основна сфера застосування – виробництво комбінованих гранульованих кормів. З використанням гранулятора аграрії отримують можливість ефективно використовувати виробничі відходи шляхом їх переробки на пресоване біодобриво та паливні гранули (пеллети) [9-11].

Особливість функціонального призначення та експлуатації засобів механізації у тваринництві полягає у забезпеченні безперервності біотехнічного зв'язку: оператор — машина — тварина — навколишнє середовище. Це є можливим лише за умов постійного підтримання вказаних засобів у працездатному стані, за якого коефіцієнт готовності кожної одиниці повинен бути на рівні 0,95–0,98. Високий рівень готовності є досяжним за умови своєчасного та належного виконання комплексу робіт із технічного обслуговування і ремонту цих засобів.

Шоста частина фактичних витрат запасних частин обумовлена виробничими причинами. Недостатньо високий рівень експлуатації та низька якість ремонту машин залишаються основними причинами підвищених витрат запасних частин. Встановлено, що недостатнє забезпечення окремих споживачів запасними частинами, викликане не стільки фактичними витратами, скільки проблемами в плануванні і їхньому розподіленні. Через відсутність прийнятих науково обґрунтованих методичних матеріалів, надто бідної й розрізненої інформації про фактичні ресурси та доцільну рівномірність розподілу ресурсів елементів тваринницької техніки в умовах рядової експлуатації номенклатура й норми витрат запасних частин на практиці встановлюються, як правило, на основі інженерної інтуїції працівників конструкторських організацій та досвіду фахівців ремонтних підприємств [12].

У зв'язку з цим накопичення інформації про ресурси машин, потоки заміни елементів з урахуванням ремонтних впливів і розробка на цій основі прийнятих для практики методичних матеріалів по обґрунтуванню доцільної рівномірності деталей і складальних одиниць, а також організації номенклатури й норм витрат запасних частин – одне з найважливіших завдань, яке стоїть перед ученими, машинобудівниками й експлуатаційниками.

Основні принципи підвищення забезпечення запасними частинами базуються на удосконаленні нормування їхніх витрат, розподілу, підвищенні уніфікації та організації відновлюваного ремонту спрацьованих деталей і вузлів.

Однією з причин удосконаленості нормування витрат запасних частин є недостатнє обґрунтування головних принципів розрахунку норм на основі ресурсу деталей і їх фактичних витрат. Це зумовлено тим, що діапазон коливання величин інтенсивності відмов деталей ширше діапазону інтенсивності списання устаткування [12].

Використання ресурсу як головного показника при розрахунку норм витрат прийнято для швидко-спрацьовуваних деталей, ресурс яких не перевищує річного напрацювання устаткування, а питома вага таких деталей становить 15...25 % від усієї номенклатури запасних частин. Визначення витрат запасних частин на основі ресурсів деталей для всієї номенклатури ускладнено впливом експлуатаційних факторів. Високий рівень витрат запасних частин до устаткування тваринництва зумовлений не тільки їх конструктивними та виробничими недоліками, але й недосконалою експлуатацією. Частка експлуатаційних відмов, прямо чи побічно зв'язаних із порушенням установлених правил і умов експлуатації устаткування ферм, становить половину всіх видів відмов.

У теорії надійності відомо декілька десятків розподілів, за допомогою яких можливо описувати експериментальні дані відмов. Однак не менш важливим стають інші вимоги (фізичність, можливість виконання розрахунків надійності та ін.), які звужують коло розподілів, використовуваних як моделі відмов. При дослідженні надійності технічних засобів розглянуто різні моделі відмов і виділено ряд законів розподілу: нормальний, логарифмічно нормальний, Вейбулла, гамма та експоненціальний, які можна покласти в основу побудови моделей довговічності невідновлених елементів тваринницької техніки, замінюваних у разі відмови запасними. ГОСТ 27.005-97 розглядає разом з іншими розподілами універсальні дифузійні монотонні DM і немонотонні DN - розподіли, які застосовуються в основному при дослідженні виробів електронної техніки [13].

Розподіл ресурсу за прийнятими законами можна характеризувати параметрами положення, масштабу та форми. Наявність кількох параметрів дозволяє більш точно підібрати вид розподілу для характеристики вибіркового даних. Нормальний і гамма-розподіли мають два параметри - масштабу й форми. Розподіл логарифмічно нормальний і Вейбулла, крім параметрів масштабу й форми, можуть мати параметр положення. Експоненціальний розподіл має параметр форми і може

мати параметр положення Введення параметра положення - деякого кінцевого значення часу, до якого відмови неможливі, - означає, що при напрацюванні, меншому ніж величина параметра положення, функція розподілу дорівнює нулю. Від'ємна величина параметра положення відповідає тому, що виріб може відмовити до початку експлуатації в період зберігання (наприклад, батарея, електролітичний конденсатор, електронна лампа, фотоплівка, консервовані продукти, гумові й пластмасові вироби та ін.). Звичайно, параметр положення приймають рівним нулю, що спрощує рівняння та зменшує обсяг обчислювальних робіт.

Для визначення закону розподілу і його параметрів застосовуються методи: моментів, послідовних приближень, максимальної правдоподібності, лінійного оцінювання, графоаналітичний метод із використанням імовірнісного паперу. При застосуванні останнього методу нанесенням даних на ймовірнісний папір можна приблизно оцінити їхню відповідність припустимому закону та одержати також оцінки параметрів розподілу шляхом проведення прямої лінії через вибіркові точки. Стосовно до ресурсних відмов можуть бути визначені такі показники надійності як щільність розподілу, функція розподілу (ймовірність відмови), середній ресурс, гамма-відсотковий ресурс, ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов [13,14].

Розглянемо основні особливості перелічених розподілів.

При нормальному розподілі випадкова величина теоретично може приймати будь-які значення від  $-\infty$  до  $+\infty$  [13]. Оскільки область від'ємних значень часу не має змісту, можливі значення випадкового часу безвідмовної роботи  $t$  і можуть бути тільки позитивними. Тому кількісні характеристики надійності розглядають тільки при усіченому нормальному розподілі часу до відмови. Усічений нормальний розподіл випадкової величини виходить із нормального при обмеженні інтервалу можливих значень цієї величини.

Щільність нормального розподілу має вид

$$f(t) = \frac{\exp\left[-\frac{(t-t_{cp})^2}{2\sigma^2}\right]}{\sigma(2\pi)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

де  $t_{cp}$  і  $\sigma$  - відповідно параметри масштабу і форми нормального розподілу;

$t$  - поточне значення часу.

Характерним для нормального розподілу є те, що інтенсивність відмов починається з 0 і зі збільшенням часу дуже зростає. Це означає, що потік відмов не є стаціонарним і має місце старіння елементів. В області малих значень  $t$  старіння елементів несуттєво впливає на надійність, тому ймовірність безвідмовної роботи виробу зменшується незначно. Після тривалої експлуатації системи, відмови елементів якої мають нормальний розподіл, її надійність швидко знижується, тому ймовірність безвідмовної роботи падає.

Нормальний розподіл застосовується при поступовій зміні параметрів, або у тому випадку, коли частка раптових відмов дуже мала, тобто для виробів, працюючих у сприятливих умовах експлуатації. Він притаманний для опису поступових спрацьовуваних відмов [13].

Точкова оцінка параметрів  $t_{cp}$  і  $\sigma$  визначається

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \quad (2)$$

$$\sigma = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}{(n-1)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (3)$$

де  $t_i$  - статистичні дані напрацювань до відмови;  $n$  - обсяг вибірки, за якою визначені параметри розподілу.

Коефіцієнт варіації

$$v = \frac{\sigma}{t_{cp}} \quad (4)$$

Другим розглянемо логарифмічно нормальний (LN) розподіл, який має досить прості вирази для своїх характеристик унаслідок зведення його до широко табульованої функції нормованого нормального розподілу.

Час безвідмовної роботи підпорядковується логарифмічно нормальному закону, якщо розподіл натурального логарифма часу безвідмовної роботи відповідає нормальному закону. Зазначені властивості, а також велика розкиданість і асиметричність розподілу стали підставою для залучення LN-розподілу як теоретичної моделі відмов при утомленості. Він застосовується для спрацьовуваних відмов, а також при дослідженні надійності напівпровідникових приладів. Крім того, результати прискорених випробувань деяких видів виробів можуть бути задовільно апроксимовані LN-розподілом [13].

Щільність ймовірності логарифмічно нормального розподілу визначається виразом

$$f(t) = \frac{\exp\left[-\frac{\ln(1-\mu)^2}{2\sigma_{\ln}^2}\right]}{\left[t\sigma_{\ln}(2\pi)^{\frac{1}{2}}\right]} \quad (5)$$

де  $\mu$ ,  $\sigma_{\ln}$  - відповідно параметри масштабу і форми логарифмічно нормального розподілу.

LN-розподіл має одну моду при  $t = \exp(\mu - \sigma_{\ln}^2)$  і медіану при  $t = \exp(\mu)$ , а також позитивну асиметрію. Інтенсивність відмов має немонотонний характер із спаданням на кінці розподілу. LN-розподіл можна іноді помилково прийняти за експоненціальний.

Якщо випадкові величини  $t_1$  і  $t_2$  незалежні й розподілені за LN-розподілом, то їхній добуток  $t_3 = t_1 \cdot t_2$  також має LN-розподіл.

Максимально правдоподібні оцінки параметрів у випадку повної вибірки розраховують за формулами:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \quad (6)$$

$$\sigma_{\ln} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Розподіл Вейбулла це - третій межовий розподіл в теорії екстремальних розподілів і відповідає ситуації руйнування самої слабкої ланки (елемента) із деякої сукупності (системи, яка складається з групи елементів), а також є достатньо гнучкою функцією, за допомогою якої добре вирівнювати різноманітну статистику відмов і яка може бути моделлю відмов, в основному, механічних об'єктів.

Розподіл Вейбулла визначається двопараметричною щільністю ймовірності

$$f(t) = \frac{bt^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]}{a} \quad (8)$$

де  $\alpha$  і  $b$  - відповідно параметри масштабу та форми розподілу Вейбулла.

Одним із достоїнств розподілу Вейбулла слід вважати різноманітність форм кривих інтенсивності відмов. При  $b < 1$  щільність починається з  $+\infty$  і в зоні великих  $t$  прагне до нуля. Це означає, що він також, як і гамма-розподіл, може бути використаний як характеристика надійності виробів із часом їхнього припрацювання.

При  $b = 1$  розподіл Вейбулла переходить в експоненціальний. При  $b > 1$  щільність ймовірності починається з 0 і з часом зростає. При параметрі  $b = 3,25$  розподіл Вейбулла можна вважати приблизно нормальним. Розподіл Вейбулла широко використовується при вивченні надійності механічних пристроїв, при дослідженні характеристик надійності електронних ламп і електромеханічних елементів.

Для розподілу Вейбулла, також як і для гамма-розподілу, відсутній у загальному виді вираз для середньої частоти відмов, що утрудняє аналіз системи за коефіцієнтами надійності, так як доводиться розв'язувати рівняння Вольтера наближеними методами.

Оцінки максимальної правдоподібності параметрів  $\alpha$  і  $b$  одержують з системи рівнянь

$$\begin{cases} n\alpha - \sum_{i=1}^n t_i^b = 0 \\ \frac{n}{b} + \sum_{i=1}^n t_i - \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n t_i^b \ln t_i = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Перше наближення для значення  $\alpha$  можна одержати, вирішуючи систему рівнянь

$$\begin{cases} n\alpha - \sum_{i=1}^n t_i^b = 0 \\ t_{cp} = \alpha^b \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) \end{cases} \quad (10)$$

Так методом послідовних наближень знаходять  $\alpha$  і  $b$ . Звичайно, оцінку параметра  $\alpha$  проводять у припущенні, що параметр  $b$  відомий, тоді

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^b + (n-r)t_r^b}{r} \quad (11)$$

Це рівняння правдиво для плану спостережень [NUr], коли спостереження проводять за  $N$  виробами, без заміни виробів, що відмовили і закінчуються тоді, коли відмовить  $r$  виробів. При цьому  $t_r$  - час припинення спостережень, а  $t_i$  - наробіток виробів, що відмовили.

Розглянемо гамма-розподіл, який визначається двопараметричною щільністю ймовірності

$$f(t) = \lambda_0^m t^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{\lambda_0 t}{m-1}\right)\right]!$$

де  $\lambda_0$  і  $m$  - відповідно параметри масштабу та форми гамма-розподілу.

Якщо оцінка параметрів виконується методом моментів, то, використовуючи такі властивості розподілу, як середнє  $t_{cp}$  і дисперсію  $\sigma^2$ , отримуємо систему рівнянь

$$\begin{cases} \frac{m}{\lambda_0} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \\ \frac{m}{\lambda_0^2} = \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - t_{cp})^2}{n-1} \end{cases} \quad (13)$$

Розв'язуючи рівняння відносно  $m$  і  $\lambda_0$ , знаходимо оцінки для  $m$  і  $\lambda_0$ :

$$m = \left(\frac{t_{cp}}{\sigma}\right)^2 \quad (14)$$

$$\lambda_0 = \frac{t_{cp}}{\sigma^2} \quad (15)$$

Оцінка параметрів  $m$  і  $\lambda_0$  за допомогою методу максимальної правдоподібності полягає в рішенні системи рівнянь

$$\begin{cases} n \ln \frac{1}{\lambda_0} + \frac{nd}{d(1-m) \ln \Gamma(m)} - \sum_{i=1}^n \ln t_i = 0 \\ \frac{nm}{\lambda_0^2} - \sum_{i=1}^n t_i = 0 \end{cases} \quad (16)$$

Рішення цих двох рівнянь можна одержати методом послідовних наближень. За перше наближення беруться оцінки, знайдені методом моментів.

Якщо вважати параметр  $m$  відомим, то

$$\lambda_0 = \frac{m}{t_{cp}} \quad (17)$$

Параметр  $m$  характеризує асиметрію й ексцес. В залежності від його величини суттєво змінюється вид основних кількісних характеристик надійності. При  $m = 1$  гамма-розподіл перетворюється в експоненціальний. При  $m > 1$  інтенсивність відмов збільшується, а при  $m < 1$  - зменшується. Неповну гамма-функцію важко розрахувати, проте коли  $(m-1)$  - ціле число, то ймовірність безвідмовної роботи визначається як

$$P(t) = \int_1^\infty \frac{\lambda_0^m}{(m-1)! t^{m-1} \exp dt} = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{\exp(\lambda_0 t)}{i!} \quad (18)$$

Сума  $n$  незалежних величин, які підлягають гамма-розподілу з параметрами  $\lambda_0$  і  $m_i$ , також має гамма-розподіл із параметрами  $\lambda_0$  і  $\sum m_i$ .

Цьому розподілу задовольняє час виникнення відмов резервованих систем із включенням резерву способом заміни та при умові, що потік відмов основної і всіх резервних систем є звичайним. В цьому випадку параметр  $m$  дорівнює числу всіх систем (основної та резервних), тобто  $m = L + 1$ .

Цей розподіл також може бути характеристикою часу виникнення відмов складних електромеханічних систем, якщо мають місце відмови елементів на початковій стадії експлуатації чи в процесі відпрацювання системи, тобто при  $m < 1$  гамма-розподіл є зручною характеристикою часу виникнення відмов апаратури на протязі часу її припрацювання.

Останнім розглянемо експоненціальний розподіл, який визначається щільністю ймовірності

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (19)$$

де  $\lambda$  - параметр експоненціального розподілу.

Експоненціальний розподіл є частковим випадком гамма-розподілу та розподілу Вейбулла і характеризується постійною інтенсивністю відмов, котра є також параметром розподілу. Постійна інтенсивність відмов означає, що ймовірність відмов системи не залежить

(Ошибки в тексте документа отсутствуют.)

від того, скільки часу вона проробила до розглянутого моменту часу. Цей розподіл абсолютно не враховує старіння та спрацювання. Зворотна величина інтенсивності відмов є середнім напрацюванням до відмови. Експоненціальний розподіл має місце у випадках, коли вироби складні й можлива більша кількість відмов різних елементів виробів із неоднаковою інтенсивністю. Він має максимальну щільність у момент включення, тобто відповідає низькій технології й якості виготовлення та складання, виключає технологічне припрацювання й доведення. Якщо відмови елементів виробів розподілені за експоненціальним законом, то й відмова самого виробу має експоненціальний розподіл, а інтенсивність відмов виробу дорівнює сумі інтенсивностей відмов його елементів. В останньому випадку необхідно передбачити незалежність відмов елементів та їхнє послідовне з'єднання.

Цей розподіл застосовується для аналізу складних систем, які пройшли період припрацювання, а також для систем, які працюють у тяжких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень. У більшості випадків експоненціальний розподіл характерний для раптових відмов і застосовується частіше інших при дослідженні надійності. Численні дослідження виявляють, що для багатьох елементів різних систем випадковий час їхньої безвідмовної роботи підпорядковується експоненціальному закону. Він типовий для складних систем, складених з різнорідних елементів із різними  $\lambda$ -характеристиками.

Інтенсивність відмов складної системи, складеної з багатьох елементів із різними значеннями  $\lambda_i(t)$ , може бути постійною і при істотно нестаціонарних інтенсивностях відмов окремих елементів. Крім того, при дослідженні надійності окремих елементів іноді можна зневажати підвищену інтенсивність у початковий період експлуатації чи усунути цей період застосуванням припрацювання. Якщо в процесі експлуатації цих елементів не настає період спрацювання, то інтенсивність відмов у цьому випадку можна приймати постійною.

При інтенсивності відмов елементів одержуються прості формули для розрахунку надійності елементів і систем. Якщо зважати на те, що складні системи іноді складаються з багатьох елементів, то стає очевидним важливість спрощення розрахунку надійності. При  $\lambda = \text{const}$  імовірність безвідмовної роботи елементу чи системи на протязі заданого періоду часу не залежить від часу роботи. Це значно спрощує розрахунки. Відмічена властивість експоненціального розподілу обумовлює вельми істотні методичні похибки при оцінці показників надійності, особливо при далекому протязі середнього чи гамма-відстокового ресурсу, при розрахунку показників безвідмовності великих систем.

Максимально правдоподібна оцінка  $t_{cp}$  у випадку повної вибірки дорівнює

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \quad (20)$$

У багатьох випадках умовно приймають, що в період експлуатації машини, чимало віддалений від вступу її у дію, час між замінами деталей підпорядковується експоненціальному закону, а попит на запасні частини з метою спрощення розглядають як стаціонарний процес, описаний розподілом Пуассона. Однак

практика показує, що часто закон розподілу напрацювання до відмови відрізняється від пуассонівського, а потік відмов – нестаціонарний.

Згідно з теорією відновлення, яка також розглядає питання розрахунку кількості запасних частин, з часом процес відновлення стає стаціонарним, а це значить, що при будь-якому законі розподілу відмов в ділянки часу, чимало віддаленого від уведення машин у дію, середнє число відмов, що припадають на одиницю часу, близьке до величини, оберненої середньому ресурсу елемента. Але прямолінійна модель прогнозу потреби машин у запасних частинах, умовно приймаючи їхні витрати постійними в часі, справедлива в будь-якому часовому інтервалі тільки для експоненціального розподілу. Застосування її для інших розподілів при напрацюваннях, незначно віддалених від уведення машин у дію, призводить до значних похибок. Аналітичні ж розрахунки кількості запасних частин методами чисельного інтегрування, розкладу в ряд підінтегральної функції заміни, статистичного моделювання пов'язані з громіздкими розрахунками.

## Висновки

1. Розглядаючи різні моделі відмов можна виділити ряд розподілів: нормальний, логарифмічно нормальний, Вейбулла, гамма та експоненціальний, які є основою побудови моделей довговічності невідновлених виробів (елементів) прес-гранулятора, замінені у разі відмови запасними. Перелічені розподіли охоплюють відповідно поступові, зносіві (нормальний, логарифмічно нормальний), утомлені (Вейбулла) та раптові (експоненціальний) відмови механічних систем (гамма-розподіл), складних систем, що пройшли період припрацювання, а також систем, які експлуатуються в тяжких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень.

## Список літератури

1. Склар О. Г., Болтянська Н. І. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навчальний посібник. Мелітополь: Колор Принт, 2012. 720 с.
2. Роговський І. Л. Технічні вимоги до гарантійного технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Науковий вісник національного університету біоресурсів та природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2010. Вип. 166, ч. 1. С. 286-291.
3. Болтянська Н. І. Сучасний стан машинно-тракторного парку підприємств агропромислового комплексу. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2008. Вип. 36. С. 3-7.
4. Склар О. Г., Болтянська Н. І. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник. Київ. Видавничий дім «Кондор», 2018. 380 с.
5. Болтянський О. В. Аналіз шляхів підвищення ефективності використання машинотракторного парку. Праці ТДАТУ. 2014. Вип. 14. Т. 4. С. 204-209.
6. Роговський І. Л. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету

сільського господарства імені Петра Василенка. 2015. Т. 159. С. 224.

7. *Комар А. С., Болтянська Н. І.* Переробка пташиного посліду на добриво шляхом його гранулювання. Тези V Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва». Умань. 2019. С.18-20.

8. *Болтянська Н. І.* Забезпечення якості продукції у галузі сільськогосподарського машинобудування. Науковий вісник національного університету біоресурсів та природокористування. Серія: техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 196, ч. 1. С. 239-245.

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

10. *Болтянська Н. І.* Роль технічного сервісу при забезпеченні високоефективного функціонування технологічного процесу виробництва продукції тваринництва. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2013. Вип. 3. Т. 1, С. 103-110.

11. *Rogovskii I. L.* Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 262. С. 403-411.

12. *Болтянська Н. І., Комар А. С.* Розробка конструкції преса-гранулятора для переробки пташиного посліду. 36. наукових праць Міжн. наук.-практ. конф. «Актуальні питання розвитку аграрної науки в Україні». Ніжин, 2019. С. 84-91.

13. *Boltyanska N.* Ways to Improve Structures Gear Pelleting Presses. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow, 2018. Vol. 18, No 2. P. 23-29.

14. *Комар А. С.* Аналіз конструкцій пресів для приготування кормових гранул та паливних брикетів. Науковий вісник ТДАТУ. 2018. Вип. 8. Т. 2. С. 44-56.

15. *Болтянський О. В., Болтянська Н. І.* Використання різних критеріїв при визначенні кількості запасних частин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Вип. 36. 2006. С. 3-7.

16. *Справочник по надежности.* Т. 1. Пер. с англ. Под ред. Б. Р. Левина. Москва. Мир. 1969. 339 с.

17. *Болтянська Н. І.* Забезпечення високоефективного функціонування технологічного процесу виробництва продукції тваринництва шляхом підвищення рівня надійності техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2018. Вип. 282. ч. 1. С. 181-192.

2. *Rogovsky I. L.* (2010). Technical Requirements for Agricultural Machinery Warranty Maintenance. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. Vol. 166, Part 1. 286-291.

3. *Boltyanska N. I.* (2008). The current state of the machine-tractor fleet of enterprises in the agro-industrial complex. Proceedings of the Tavrida State Agrotechnological University. No 36, 3-7.

4. *Sklar O. G., Boltyanska N. I.* (2018). Fundamentals of Livestock Enterprise Design: A Textbook. Condor Publishing House, 380.

5. *Boltyansky O. V.* (2014). Analysis of ways of increasing the efficiency of the use of the machine-tractor park. Against TDAT. No 14. Vol. 4. 204-209.

6. *Rogovsky I. L.* (2015). Restoration of capacity of assembly units of agricultural machinery. Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasilenko. Vol. 159. 224.

7. *Komar A. S., Boltyanska N. I.* (2019). Processing of poultry manure for fertilization by granulation. Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference "Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production". Uman. 18-20.

8. *Boltyanska N. I.* (2014). Quality assurance of products in the field of agricultural engineering. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. Vol. 196, Part 1. 239-245.

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

10. *Boltyanska N. I.* (2013). The role of technical service in ensuring the highly efficient functioning of the process of production of livestock products. TDATU Scientific Bulletin. Melitopol, Vol. 3. Vol. 1, 103-110.

11. *Rogovskii I. L.* (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. Vol. 262. 403-411.

12. *Boltyanska N. I., Komar A. S.* (2019). Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. Coll. scientific works Intern. Research Practice Conf. "Topical issues of development of agrarian science in Ukraine". Nizhin, 84-91.

13. *Boltyanska N.* (2018). Ways to Improve Structures Gear Pelleting Presses. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow, Vol. 18. No 2. 23-29.

14. *Komar A. S.* (2018). Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. TDATU Scientific Bulletin. Vol. 8. Iss. 2. 44-56.

15. *Boltyansky O. V., Boltyanska N. I.* (2006). The use of different criteria in determining the number of spare

## References

1. *Sklar O. G., Boltyanska N. I.* (2012). Mechanization of technological processes in animal husbandry: textbook. manual. Color Print. 720.

parts. Proceedings of the Tavrida State Agrotechnical Academy. Issue 36. 3-7.

16. A guide to reliability. T. 1 Per. from English Ed. B. R. Levin. Moscow. World. 1969. 393.

17. *Boltyanska N. I.* (2018). Ensuring the highly efficient functioning of the process of production of livestock products by improving the reliability of technology. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. Vol. 282, Part 1. 181-192.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРОВ ПО ЗАКОНАМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

*Н. И. Болтянская, О. В. Болтянский*

**Аннотация.** Сегодня наблюдается старение машинно-тракторного парка в животноводстве и особенно остро становится проблема эффективного использования отечественной и зарубежной техники. Особенно большое внимание уделяется проблеме повышения качества и надежности разрабатываемых отечественных машин и оборудования. Требования к технике непрерывно возрастают как к качеству, так и диапазона выполнения сельскохозяйственных работ и операций, повышение надежности и производительности. Особенность функционального назначения и эксплуатации средств механизации в животноводстве заключается в обеспечении непрерывности биотехнического связи: оператор — машина — животное — окружающая среда. Это является возможным лишь при условии постоянного поддержания указанных средств в работоспособном состоянии, при котором коэффициент готовности каждой единицы должен быть на уровне 0,95–0,98. В теории надежности известно несколько десятков делений, с помощью которых возможно описывать экспериментальные данные отказов. Рассматривая различные модели отказов выделен ряд распределений: нормальный, логарифмически нормальный, Вейбулла, гамма и экспоненциальный, которые являются основой построения моделей долговечности невосстанавливаемых изделий животноводческой техники, замененных в случае отказа запасными. Перечисленные распределения охватывают соответственно постепенные, износные, уставшие и внезапные отказы механических систем, сложных систем, прошедших период приработки, а также систем, которые эксплуатируются в тяжелых условиях под воздействием механических и климатических нагрузок.

**Ключевые слова:** надежность, пресс-гранулятор, запасные части, параметры распределения, время прогноза, средний ресурс.

developed domestic machinery and equipment. Requirements for equipment are constantly increasing both in quality and in the range of agricultural work and operations, increasing reliability and productivity. A feature of the functional purpose and operation of mechanization in livestock breeding is to ensure the continuity of biotechnological communication: operator - machine - animal - environment. This is possible only under the condition of constant maintenance of these funds in a healthy state, in which the readiness coefficient of each unit should be at the level of 0.95–0.98. In the theory of reliability, several dozen divisions are known by which it is possible to describe the experimental data of failures. Considering various models of failures, a number of distributions are identified: normal, logarithmically normal, Weibull, gamma, and exponential, which are the basis for constructing models of the durability of non-restored products of livestock equipment, replaced in case of failure by spare ones. The listed distributions cover, respectively, gradual, wear, tired and sudden failures of mechanical systems, complex systems that have passed the running-in period, as well as systems that are operated in difficult conditions under the influence of mechanical and climatic loads.

**Key words:** reliability, granulator press. spare parts, distribution parameters, forecast time, average resource.

**Н. И. Болтянская** ORCID 0000-0002-7887-4715.

**О. В. Болтянский** ORCID 0000-0002-9543-5538.

#### RELIABILITY RESEARCH PRESS GRANULATORS BY LAW RESOURCE ALLOCATIONS

*N. I. Boltianska, O. V. Boltyanski*

**Abstract.** Today, the aging of the machine and tractor fleet in livestock breeding is observed, and the problem of the effective use of domestic and foreign equipment is becoming especially acute. Particular attention is paid to the problem of improving the quality and reliability of the



УДК 005.342:62-192

## МОНІТОРИНГ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА НАДІЙНОСТІ ТЕХНІКИ АПК В СИСТЕМІ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

А. В. Новицький

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: Novytskyy@nubip.edu.ua.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 29, рис. 0, табл. 2.*

**Анотація.** В статті представлені дослідження з моніторингу матеріально-технічного забезпечення та фактичного рівня надійності техніки агропромислового комплексу в системі розвитку інноваційних процесів. Проаналізована забезпеченість аграрних підприємств сільськогосподарською технікою в розрізі засобів для приготування і роздавання кормів. Встановлено недостатній рівень матеріально-технічного забезпечення аграрних підприємств різних форм власності машинами та обладнанням, відмічено високий рівень їх морального та фізичного старіння.

Актуальним напрямом теоретичних та експериментальних досліджень є вивчення сільськогосподарських машин як складних соціотехнічних систем, із врахуванням впливу людського фактору на аналіз та синтез, оцінку та забезпечення їх надійності. В статті запропоновано враховувати досвід використання засобів для приготування і роздавання кормів, умови їх експлуатації, вивчення науково-технічної літератури, проведення опитування операторів машин та працівників сервісної служби. В якості об'єкту та предмету досліджень вибрано оцінку довговічності ножів механізму подрібнення-змішування, використано метод експертних оцінок, який базується на результатах опитування кваліфікованих експертів. Підготовлені опитувальні листи, які передбачають проведення опитування експертів за десятьма обґрунтованими факторами.

Встановлено, що максимальний вплив на довговічність ножів засобів для приготування і роздавання кормів мають наступні фактори: матеріал ножів; властивості рослинної маси, що подрібнюється; стаж роботи обслуговуючого персоналу; забрудненість складових кормів сторонніми включеннями. За всіма факторами отримана задовільна, а за основними факторами відмічена добра узгодженість експертів. Перспективним для забезпечення надійності є перехід від продажу окремих продуктів, тобто техніки або ж окремих виробів, до реалізації технічних рішень, які включають додатково сервісне обслуговування, постачання запасних частин, навчання операторів.

**Ключові слова:** техніка, машина, надійність, система, довговічність, ніж, опитувальний лист.

### Постановка проблеми

Одним з найбільш значущих сегментів економіки України є агропромисловий комплекс (АПК), основним завданнями якого є постійне збільшення виробництва продукції рослинництва і тваринництва, нарощування обсягів продовольчих ресурсів. Аграрний сектор формує продовольчу та у визначених межах економічну, екологічну та енергетичну безпеку країни, забезпечує розвиток технологічно пов'язаних галузей національної економіки та створює соціально-економічні умови розвитку сільської місцевості [14].

### Аналіз останніх досліджень

В АПК України працює п'ята частина зайнятого населення за видами економічної діяльності, що склало на 1 січня 2018 році 17,7% [14, 28]. Як відзначається в [14], в сільському, лісовому та рибному господарстві нашої держави зосереджена майже четверта частина виробничих фондів, створено близько 12,1% валової доданої вартості. За останні 5 років спостерігається зростання виробництва продукції тваринництва (особливо, молока та м'яса) та рослинництва (особливо, зернових та зернобобових, картоплі, овочів відкритого ґрунту).

З метою забезпечення економічної та продовольчої безпеки держави в частині виробництва продукції АПК, збільшення експортного потенціалу у вказаній галузі, в Україні сформовано Концепцію Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року [14]. Адже зрозуміло, що необхідність визначення акцентів та встановлення завдань Концепції Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки можна пояснити певним спадом розвитку галузі за 2017 рік. Це, перш за все зниження валової доданої

вартості по галузі з 14,2% у 2015 році та 13,5% у 2016 році до 12,1% – у 2017 році.

За роки проведення реформ в Україні різко зменшився парк машин та обладнання в сільськогосподарських підприємствах різних форм власності в результаті недостатнього оновлення техніки. Так, наприклад, парк зернозбиральних комбайнів країни скоротився з 65,2 тис. у 2000 році до 26,8 тис. на початок 2018 року [28]. Це, у розрахунку на 1000 га посівної площі культур зернових (без кукурудзи) зменшилось із 59 тис. штук до 38 тис. штук. При цьому навантаження на одиницю техніки сільськогосподарських товаровиробників, збільшилася в 1,5-2,8 рази. Не кращі статистичні показники зафіксовані для машин та обладнання для тваринництва, кількість установок та агрегатів для доїння корів зменшилась з 33,5 тис. штук у 2000 році до 9,5 тис. штук на 1 січня 2018 року [28].

Ситуація, яка склалася в АПК України пояснюється високим рівнем морального і фізичного старіння значної частини сільськогосподарської техніки [19, 23, 26, 28], що відповідно фіксується в інформативних джерелах Державної служби статистики України. Не дивлячись на достатній рівень статистичної інформації, за остання 10 років по Україні про наявний парк машин та обладнання для рослинництва [28], було б доцільно розширити інформаційну базу щодо забезпечення технікою для тваринництва (виняток становлять дані щодо кількості установок та агрегатів для доїння корів).

Разом з тим, слід відмітити недостатній моніторинг матеріально-технічного забезпечення техніки АПК та фактичного рівня надійності [2, 3, 6, 15, 17, 18, 19, 23, 26, 27, 29], особливо в системі розвитку інноваційних процесів [4, 5, 20 - 22]. В існуючих літературних джерелах, теоретичних та експериментальних дослідженнях недостатньо уваги приділено вивченню сільськогосподарських машин як складних соціотехнічних систем [10 - 13, 17, 18, 29], із врахуванням впливу людського фактору на аналіз та синтез, оцінку та забезпечення їх показників надійності.

### Мета досліджень

Передбачається, що використання інноваційних форм, методів та засобів досліджень дозволять гармонізувати стан покращення матеріально-технічного забезпечення та підвищення показників надійності техніки аграрного виробництва як соціотехнічних систем.

### Результати досліджень

Методи досліджень ґрунтуються на використанні методологій системного аналізу, прогнозування, методів експертної оцінки.

Сформована за останні десятиліття в Україні ситуація з інженерно-технічним забезпеченням сільськогосподарських товаровиробників стала стримуючим фактором у вирішенні основних завдань

концепції Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року [1]. Пояснити ситуацію, яка склалася в аграрному секторі економіки України можна вивчаючи та аналізуючи цілий ряд причин. Так, спостерігається зростання вартості основних засобів в АПК за видами економічної діяльності, але лише на 0,5% в порівнянні з 2016 роком, в той час, як у 2016 році вказаний показник зріс на 1,6% в порівнянні з попереднім роком [2]. Прямі інвестиції в розвиток аграрної галузі складають за 2016 та 2017 роки лише, відповідно по роках, по 1,6%, незважаючи на те, що відмічається певне зростання в порівнянні з попередніми роками. Аналіз факторів та причин, що відображають стан галузі вказує на необхідність її обґрунтування та розв'язання програмними методами. Тобто, зрозуміло, що подальший розвиток аграрного сектору потребує якісних перетворень, спроможних забезпечити підвищення конкурентоспроможності аграрного виробництва на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Одну з таких причин можна пояснити недостатнім рівнем технічного забезпечення аграрних підприємств, а також високим рівнем морального і фізичного старіння значної частини машин та обладнання.

Нами проведемо моніторинг забезпеченості підприємств України сільськогосподарською технікою, але в розрізі машин для приготування і роздавання кормів. Щодо вказаної техніки для тваринництва, то за даними Державної служби статистики України [28], станом на 1 січня 2018 року у користуванні сільськогосподарських підприємств для забезпечення тваринництва знаходилось 4048 машин і механізмів для приготування кормів, 3276 роздавачів кормів для великої рогатої худоби та 2271 роздавач для свиней. Протягом 2017 року в аграрні підприємства України різних форм власності на ферми великої рогатої худоби (ВРХ) надійшло відповідно 372 машини і механізми для приготування кормів, 209 роздавачів кормів для ВРХ та 157 роздавачів кормів для свиней. Разом з тим, впродовж року було списано певну частину машин та обладнання, що призвело до збільшення планового навантаження на одну машину та підвищення інтенсивності їх зносу. Поряд із застарілою матеріально-технічною базою слід відмітити недостатнє використання новітніх технологій у системі технічного обслуговування і ремонту машин.

Це вказує на необхідність обґрунтування, розробки та дослідження нових ресурсозберігаючих напрямів і методологічних підходів підвищення ефективності та надійності техніки за рахунок удосконалення системи експлуатації, технічного обслуговування, ремонту, постачання запасних частин, підвищення рівня її надійності та підготовки персоналу.

Серед основних напрямів і підходів на які слід акцентувати увагу, є комплекс заходів [1, 4, 8, 9], які направлені на забезпечення показників надійності машин та обладнання як соціотехнічних систем і включають: підвищення напрацювання на відмову; збільшення терміну служби; підвищення коефіцієнтів

готовності та технічного використання; зниження питомої вартості надійності та трудомісткості робіт з технічного обслуговування і ремонту.

Слід зазначити, що серед основних напрямів вирішення поставлених в Концепції завдань [14] та окремих досліджень в напрямку підвищення матеріально-технічного забезпечення аграрної галузі, та підвищення надійності машин [1, 4, 7], слід назвати наступні:

- формування інтегрованої в світову промисловість галузі сільськогосподарського машинобудування;
- технічну модернізацію машинобудівного виробництва, зниження енерговитратності виробництва та імпортоенергозалежності галузей;
- підвищення кваліфікації робітничих кадрів для сільського господарства;
- здійснення прикладних наукових та науково-технічних розробок, виконання державного замовлення у сфері розвитку агропромислового комплексу.

Тобто, серед задекларованих в Концепції напрямів, поряд з питаннями наукового та технологічного зростання машинобудівної галузі для АПК, важливе місце займає реалізації досліджень в сфері використання нових технологій та організаційного досвіду, врахування не лише науково-технічних, але й соціально-економічних факторів.

Для реалізації вказаних складових, необхідні тісна співпраця з економічно і технологічно розвинутими країнами шляхом реалізації не лише новітніх технологій та організаційного досвіду, але й системних досліджень техніки аграрного виробництва як складних технічних систем. Актуальними в цьому плані є цілий ряд наукових праць, які направлені на дослідження, розрахунок та забезпечення надійності машин як складних соціотехнічних систем [8, 9, 20, 22]: «людина-машина»; «людина-машина-рослина», «людина-машина-тварина».

В сучасних умовах глобалізації економічного життя, Україні слід орієнтуватись на стратегії розвитку передових країн світу, в яких наукові дослідження та інноваційні процеси виконують функції головних економіко-відтворювальних факторів, забезпечуючи при цьому свій розвиток вдосконаленням вже існуючих технологій та техніки, підготовкою інженерно-технічних працівників та операторів машин, послідовним використанням принципово нових знань [1, 8, 9, 29]. Протягом останніх п'яти – десяти років, більшість світових виробників та продавців техніки для аграрного виробництва істотно скорочують перелік своїх брендів на користь більш якісних передпродажної підготовки та після продажного обслуговування. Так, однією із стратегій всесвітньо відомих компаній, включаючи ТОВ «АМАКО Україна», ТОВ «Манн+Хуммель ФТ Україна» та інших, є перехід від продажу окремих продуктів, тобто техніки або ж окремих виробів, до реалізації технічних рішень, які включають додаткове сервісне обслуговування, постачання запасних частин, навчання операторів.

Відсутність по ряду позицій конкурентоспроможної техніки вітчизняного

виробництва, дефіцит кадрів інженерно-технічних працівників та операторів змушує найбільші і економічно розвинені аграрні підприємства купувати більш дорогі, але надійні сільськогосподарські машини. Тому, при придбанні нових засобів для приготування та роздавання кормів, сільськогосподарські підприємства стоять перед вибором не тільки найбільш економічних, але ефективних за показниками надійності, з метою подальшого комплектування та оновлення їх парку.

Існуючі методики вибору ЗПРК не лише недостатньо враховують показники надійності, але й особливості підтримання та відновлення працездатності вказаних машин. У зв'язку з цим, актуальним стає вирішення задач, які спрямовані на оцінку ефективності ЗПРК з урахуванням їх надійності через безвідмовність окремих механізмів, довговічність робочих органів, своєчасне постачання запасних частин, ремонтпридатність деталей, які забезпечують працездатність. Тобто, ефективність ЗПРК, які використовуються для приготування і роздавання кормів на тваринницьких фермах можна підвищити шляхом врахування основних показників надійності за рахунок аналізу та синтезу моделей при їх формуванні. Цікавими в цьому плані є статті, які враховують не лише вивчення науково-технічної літератури та раніше виконані дослідження, але й досвід використання ЗПРК, умови їх експлуатації [1, 24, 25, 27], особливості сервісного обслуговування [17, 18].

Актуальним при цьому є опитування операторів машин, які дають можливість оцінити не тільки рівень їх підготовки та відношення до роботи, але й якість ЗПРК, особливості сервісного обслуговування, забезпеченість запасними частинами, показник «ціна-якість» для машини. Згідно програми досліджень, робота експертів проводилась за два етапи. На першому етапі була проведена якісна оцінка надійності машин, яка включала: виявлення найбільш слабких по надійності складових частин; формування факторів, які найчастіше і найбільше впливають на виникнення відмов. Оптимальна кількість експертів для опитування повинна складати від 7 до 10 осіб.

На другому етапі проводиться кількісна оцінка показників надійності ЗПРК з низьким рівнем працездатності. При цьому, кількість експертів повинна бути збільшена до 50 осіб.

Нами, для оцінки довговічності ножів механізму подрібнення-змішування ЗПРК було використано метод експертних оцінок, який базується на результатах опитування кваліфікованих експертів і не вимагає проведення спеціальних експериментів. Для врахування думок експертів, попередньо були підготовлені опитувальні листи. Опитувальні листи передбачають проведення опитування за 10 основними факторами:  $x_1$  – матеріал ножів;  $x_2$  – властивості рослинної маси, що подрібнюється;  $x_3$  – стаж роботи обслуговуючого персоналу;  $x_4$  – забрудненість складових кормів сторонніми включеннями;  $x_5$  – стан кріплення ножів (стан різбових з'єднань, наявність додаткових елементів кріплення ножів);  $x_6$  – технологія виготовлення (відновлення ножів);  $x_7$  – стан заповнення бункера

компонентами;  $x_8$  – режими роботи машини;  $x_9$  – стан контролю інженерно-технічної служби;  $x_{10}$  – вібрація.

Для оцінки показників надійності ножів механізму подрібнення-змішування були взяті засоби для приготування і роздавання кормів, які експлуатуються в аграрних підприємствах Київської

області. Результати опитування експертів представлені в таблиці 1.

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^8 \alpha_{ji} = 550$$

Результати опитування 10 – експертів за 10-ти бальною системою та всі необхідні розрахунки представлені в таблиці 2.

**Таблиця 1.** Ранжирування факторів впливу на довговічність ножів механізму подрібнення-змішування ЗПРК.

**Table 1.** Ranking of factors influencing the durability of the knives of the mechanism of grinding-mixing SPRK.

| Експерт                  | Оцінювальні фактори |       |       |       |       |       |       |       |       |          |
|--------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|                          | $x_1$               | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ | $x_9$ | $x_{10}$ |
| 1.                       | 9                   | 10    | 7     | 8     | 6     | 4     | 5     | 3     | 1     | 2        |
| 2.                       | 10                  | 9     | 8     | 6     | 7     | 3     | 5     | 2     | 1     | 4        |
| 3.                       | 8                   | 7     | 10    | 9     | 5     | 6     | 4     | 1     | 2     | 3        |
| 4.                       | 8                   | 7     | 10    | 5     | 3     | 9     | 6     | 2     | 1     | 4        |
| 5.                       | 10                  | 9     | 6     | 8     | 5     | 7     | 4     | 2     | 3     | 1        |
| 6.                       | 8                   | 10    | 9     | 4     | 5     | 6     | 7     | 1     | 3     | 2        |
| 7.                       | 9                   | 10    | 5     | 7     | 6     | 8     | 4     | 3     | 2     | 1        |
| 8.                       | 8                   | 9     | 7     | 10    | 4     | 5     | 3     | 6     | 2     | 1        |
| 9.                       | 10                  | 8     | 5     | 6     | 4     | 9     | 7     | 3     | 1     | 2        |
| 10.                      | 10                  | 9     | 8     | 5     | 7     | 3     | 6     | 4     | 1     | 2        |
| $\sum_{j=1}^{10} a_{ji}$ | 90                  | 88    | 75    | 68    | 52    | 60    | 51    | 27    | 17    | 22       |

**Таблиця 2.** Результати дослідження факторів впливу на довговічність ножів механізму подрібнення-змішування ЗПРК (за результатами опитування експертів).

**Table 2.** The results of a study of factors influencing the durability of the knives of the mechanism of grinding-mixing SPRK (results of survey of experts).

|                                                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| $\omega_i \left( \sum_{j=1}^{10} \omega_i = I \right)$ | 0,164 | 0,16  | 0,136 | 0,124 | 0,095 | 0,109 | 0,093 | 0,049 | 0,031 | 0,04 |
| $M_i$                                                  | 9,0   | 8,8   | 7,5   | 6,8   | 5,2   | 6,0   | 5,1   | 2,7   | 1,7   | 2,2  |
| $\sigma_i$                                             | 0,94  | 1,13  | 1,8   | 1,92  | 1,36  | 2,23  | 1,42  | 1,52  | 0,82  | 1,01 |
| $V_i$                                                  | 0,104 | 0,128 | 0,24  | 0,28  | 0,26  | 0,37  | 0,28  | 0,56  | 0,48  | 0,46 |

Аналіз отриманих даних показує, що максимальний вплив на довговічність ножів ЗПРК мають наступні фактори:  $\omega_1$  – матеріал ножів,  $\omega_1=0,164$ ;  $x_2$  – властивості рослинної маси, що подрібнюється,  $\omega_2=0,16$ ;  $x_3$  – стаж роботи обслуговуючого персоналу,  $\omega_3=0,136$ ;  $x_4$  – забрудненість складових кормів сторонніми включеннями,  $\omega_4=0,124$ .

За результатами опитування встановлено, що мінімальний вплив має фактор  $x_{10}$  – вібрація, який характеризується показником  $\omega_{10}=0,04$ .

Важливими прийнятно фактори ( $x_1$ ;  $x_2$ ;  $x_3$ ;  $x_4$ ). Представлені результати слід рахувати достовірними оскільки вони підтверджені відповідними значеннями коефіцієнта варіації  $V_i$ .

За всіма факторами отримана задовільна узгодженість експертів, а за значимими факторами – добра.

## Висновки

1. В результаті проведених досліджень відмічено недостатній моніторинг матеріально-технічного забезпечення та фактичного рівня надійності машин та обладнання АПК.

2. За результатами експертної оцінки встановлено, що максимальний вплив на довговічність ножів засобів для приготування і роздавання кормів мають наступні фактори: матеріал ножів; властивості рослинної маси, що подрібнюється; стаж роботи обслуговуючого персоналу; забрудненість складових кормів сторонніми включеннями.

3. Потребують подальшого розвитку заходи, які направлені на забезпечення надійності машин та обладнання як соціотехнічних систем. Перспективним є перехід від продажу окремих продуктів, тобто техніки або ж окремих виробів, до реалізації технічних рішень, які включають додатково сервісне

обслуговування, постачання запасних частин, навчання операторів.

4. Результати роботи в подальшому можуть бути корисними для уточнення та удосконалення існуючих методик експертної оцінки надійності сільськогосподарських машин та основних складових як на стадіях проектування і виготовлення, так і в умовах реальної експлуатації.

### Список літератури

1. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 3. 271. P. 165-174.
2. Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.
3. Khmelovskiy V. Process support preparation and distribution of feed for cattle on family farms. *Machinery & Energetics*. 2018, Vol. 9, No. 3, 224-232.
4. Novitskiy A., Karabinosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106-121.
5. Novitskiy Andrey. Professional Reliability of Personnel in System of Development of Innovative Processes. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2, P. 93-102.
6. Rebenko V., Khmelovskiy V. Study of elements of biotechnical system in production of livestock products. *Machinery & Energetics*. 2018, Vol. 9, No. 4, P. 150-165.
7. Rogovskii I. L., Grubrin O. M. Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK*. Kyiv, Ukraine. Vol. 298, 2018, pp. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.
8. Andriy Novitskiy. Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 19. No 3. P. 123-128.
9. Андрей Новицкий, Александр Банный. Логикопровероятностное моделирование надежности сложной сельскохозяйственной техники. *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin, 2016. Vol. 14, №3. P. 187-196.
10. Адамчук В. В., Мироненко В. Г., Косик П. О. Перспективы развития механизированного растениеводства. Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС. Восьма міжнародна науково-практична конференція. Тези доповідей (Чернігів-Жукин, 24-28 червня 2013 р.). Чернігів, Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. С. 240-243.
11. Аулін В. В., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Мартиненко О. Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. *Вісник Харківського нац. техн. університету сільського господарства. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві*. Харків. 2015. Вип. 158. С. 252-262.
12. Бойко А. І., Савченко В. М., Крот В. В. Проблеми забезпечення надійності технологічного обладнання при вирощуванні продукції захищеного ґрунту в АПК України. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків, 2016. Вип. 6. С. 75-80.
13. Большаков В. Н., Новицкий 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*. К., 2014. Вип. 196, ч. 2. С. 179-187.
14. Концепція Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 р.: проект / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://minagro.gov.ua/apk?nid=16822>.
15. Ловейкін В. С., Хмельовський В. С., Гудова А. В. Підвищення ефективності роботи мобільних змішувачів-роздавачів кормів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація і автоматизація виробничих процесів*. Суми. 2016. Вип. 10/2 (30). С. 107-111.
16. Ми продаємо не техніку, а технічні рішення. Події в Україні. Журнал «Агроексперт». С. 26-27.
17. Новицкий А. В., Новицкий Ю. А., Остапенко А. И. Формирование профессионально важных качеств слесарей-ремонтников при ТО и ремонте мобильных энергетических средств. *Сборник научных трудов «SWorld»*. 2016 р. Том 2, выпуск №1 (42), С. 19-25.
18. Новицкий А. В., Тарасенко С. Е., Харьковский И. С. Мониторинг показателей качества работы персонала при обеспечении надежности сельскохозяйственной техники. *Сборник научных трудов «SWorld»*. Том 2, выпуск №1 (42), 2016 р. С. 69-72.
19. Новицкий А. В., Соломка В. О., Соломка О. В. Моніторинг забезпечення сільськогосподарських підприємств технікою для кормо виробництва. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. К., 2014. Вип. 196, ч. 1. С. 376-382.
20. Новицкий А. В. Інноваційність надійного функціонування операторів складних технічних систем «людина-машина» в рослинництві. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*, 2018. Випуск 282, С. 236-244.
21. Новицкий А. В. Моніторинг надійності людини-оператора при дослідженні складних технічних систем в сільському господарстві. *Збірник*

наукових праць ЖНАУ, з нагоди ХУ Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки». Житомир, ЖНАУ, №2 (45), Т. 4, Ч. 2. 2014. С. 110-120.

22. Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування складних технічних систем у тваринництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2016. Вип. 254, ч. 3. С. 334-338.

23. Новицький А. В. Стан та перспективи забезпечення молочного скотарства засобами для приготування і роздавання кормів (на прикладі Київської області). Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2014. Вип. 196, ч. 1. С. 296-302.

24. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Класифікація робочих органів типу «ніж» засобів для приготування і роздавання кормів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. К., 2017. Вип. 262. С. 287-296.

25. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2017. Вип. 264. С. 293-303.

26. Новицький А. В., Ружило З. В. Моніторинг забезпечення молочного скотарства машинами та обладнанням. Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». Харків, 2014, вип. 1 С. 56-63.

27. Новицький А. В., Засулько А. А., Хмельовська С. З. Оцінка та підвищення рівня надійності ножів засобів для приготування і роздавання кормів. Збірник тез доповідей VII-ї Міжнародної наукової конференції «Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК» в рамках роботи XXXI Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2019» (04-07 червня 2019 року) / НУБіПУ. Київ. 2019. С. 82-83.

28. Сільське господарство України. Статистичний збірник. 2017 рік. К., 2018. 245 с.

29. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем. Москва: «Дрофа». 2008. 240 с.

Vol. 18, 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

3. Khmelovskiy V. (2018). Process support preparation and distribution of feed for cattle on family farms. *Machinery & Energetics*. Vol. 9, No. 3, 224-232.

4. Novitskiy A., Karabinhosh S. (2018). Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. Vol. 9. No. 2. 241. 106-121.

5. Novitskiy Andrey. (2018). Professional Reliability of Personnel in System of Development of Innovative Processes. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow. Vol. 18. No 2, 93-102.

6. Rebenko V., Khmelovskiy V. (2018). Study of elements of biotechnical system in production of livestock products. *Machinery & Energetics*. Vol. 9, No. 4, 150-165.

7. Rogovskii I. L., Grubrin O. M. (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine*. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. Vol. 298, 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04. 149-156.

8. Andriy Novitskiy. (2017). Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 19. No 3. R. 123-128.

9. Andrei Novytskyi, Aleksandr Banni. (2016). Lohyko-veroiatnostnoye modelyrovanye nadezhnosti slozhnoi selskokhoziaistvennoi tekhniki. *Motrol, motoryzaciya i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin, Vol. 14, №3. 187-196.

10. Adamchuk V. V., Myronenko V. H., Kosyk P. O. (2013). Perspektyvy rozvytku mekhanizovanoho roslynnytstva. *Matematychno ta imitatsiine modelyuvannya system. MODS. Vosma mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia. Tezy dopovidei* (Chernihiv-Zhukyn, 24-28 chervnia 2013r.). Chernihiv, Chernih. derzh. tekhnol. un-t, 240-243.

11. Aulin V. V., Lysenko S. V., Holub D. V., Hrynkiv A. V., Martynenko O. D. (2015). Teoretyko-fizychnyi pidkhid do diahnostychnoi informatsii pro tekhnichnyi stan ahrehativ mobilnoi silskohospodarskoi tekhniki. *Visnyk Kharkivskoho nats. tekhn. universytetu silsk. hospodarstva. Resursozberihaiuchi tekhnolohii, materialy ta obladnannia u remontnomu vyrobnytstvi*. Kharkiv. Vyp. 158. 252-262.

12. Boiko A. I., Savchenko V. M., Krot V. V. (2016). Problemy zabezpechennia nadiinosti tekhnolohichnoho obladnannia pry vyroshchuvanni produktsii zakhyshchenoho gruntu v APK Ukrainy. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv*. Kharkiv, Vyp. 6. 75-80.

13. Bolshakov V. N., Novytskyi A. V., Tarasenko S. Ye. (2014). Pravove zabezpechennia provedennia monitorynhu nadiinosti silskohospodarskoi tekhniki. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii:*

## References

1. Boyko A., Novitskiy A. (2018). Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. Vol. 9. No. 3. 271. 165-174.

2. Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering.

Tekhnika ta enerhetyka APK. K., Vyp. 196, ch. 2. 179-187.

14. Kontseptsiiia Derzhavnoi tsilovoi prohramy rozvytku ahrarnoho sektoru ekonomiky na period do 2020 r.: proekt / [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://minagro.gov.ua/apk?nid=16822>.

15. Loveikin V. S., Khmelovskiy V. S., Hudova A. V. (2016). Pidvyshchennia efektyvnosti roboty mobilnykh zmishuvachiv-rozdavachiv kormiv. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: mekhanizatsiia i avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv. Sumy. Vyp. 10/2 (30). 107-111.

16. My prodaiemo ne tekhniku, a tekhnichni rishennia. Podii v Ukraini. Zhurnal «Ahroekspert». 26-27.

17. Novytskyi A. V., Novytskyi Yu. A., Ostapenko A. Y. (2016). Formyrovanyie professyonalno vaznykh kachestv slesarei-remontnykov pry TO y remonte mobylnykh enerhetycheskykh sredstv. Sbornyk nauchnykh trudov «SWorld». Tom 2, vypusk №1 (42), 19-25.

18. Novytskyi A. V., Tarasenko S. E., Kharkovskiy Y. S. (2016). Monitorynh pokazatelei kachestva raboty personala pry obespecheny nadezhnomy selskokhoziaistvennoi tekhniky. Sbornyk nauchnykh trudov «SWorld». Tom 2, vypusk №1 (42), 69-72.

19. Novytskyi A. V., Solomka V. O., Solomka O. V. (2014). Monitorynh zabezpechennia silskohospodarskykh pidpriemstv tekhnikoju dlia kormo vyrobnytstva. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Tekhnika ta enerhetyka APK. K., Vyp. 196, ch. 1. 376-382.

20. Novytskyi A. V. (2018). Innovatsiini nadiinoho funktsionuvannia operatoriv skladnykh tekhnichnykh system «liudyna-mashyna» v roslinnytstvi. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: tekhnika ta enerhetyka APK. Vypusk 282, 236-244.

21. Novytskyi A. V. (2014). Monitorynh nadiinosti liudyny-operatora pry doslidzhenni skladnykh tekhnichnykh system v silskomu hospodarstvi Zbirnyk naukovykh prats ZhNAU, z nahody KhU Mizhnarodnoi naukovo konferentsii «Suchasni problemy zemlerobskoi mekhaniky» Zhytomyr, ZhNAU, №2 (45), T. 4, Ch. 2. 110-120.

22. Novytskyi A. V. (2016). Ohliad teoretychnykh doslidzen nadiinoho funktsionuvannia skladnykh tekhnichnykh system u tvarynnytstvi. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: tekhnika ta enerhetyka APK. K., Vyp. 254, ch. 3. 334-338.

23. Novytskyi A. V. (2014). Stan ta perspektyvy zabezpechennia molochnoho skotarstva zasobamy dlia pryhotuvannia i rozdavannia kormiv (na prykladi Kyivskoi oblasti). Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Tekhnika ta enerhetyka APK. K., Vyp. 196, ch. 1. 296-302.

24. Novytskyi A. V., Novytskyi Yu. A. (2017). Klyasifikatsiia robochykh orhaniv typu «nizh» zasobiv dlia pryhotuvannia i rozdavannia kormiv. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Tekhnika ta enerhetyka APK. K., Vyp. 262 (2017). 287-296.

25. Novytskyi A. V., Novytskyi Yu. A. (2017). Tekhnichna otsinka spozhyvchykh yakosti silskohospodarskoi tekhniky. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Tekhnika ta enerhetyka APK. K., Vyp. 264. 293-303.

26. Novytskyi A. V., Ruzhylo Z. V. (2014). Monitorynh zabezpechennia molochnoho skotarstva mashynamy ta obladnanniam. Naukovyi Zhurnal «Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv». Kharkiv, vyp. 1. 56-63.

27. Novytskyi A. V., Zasunko A. A., Khmelovska S. Z. (2019). Otsinka ta pidvyshchennia rivnia nadiinosti nozhiv zasobiv dlia pryhotuvannia i rozdavannia kormiv. Zbirnyk tez dopovidei VII-yi Mizhnarodnoi naukovo konferentsii «Innovatsiine zabezpechennia vyrobnytstva orhanichnoi produktsii v APK» v ramkakh roboty XXXI Mizhnarodnoi ahropromyslovoi vystavky «AHRO 2019» (04-07 chervnia 2019 roku) / NUBiPU. Kyiv. 82-83.

28. Silske hospodarstvo Ukrainy. (2017). Statystychnyi zbirnyk. K., 245.

29. Ushakov Y. A. (2008). Kurs teoryi nadezhnomy system. Moskva: «Drofa». 240.

# МОНІТОРИНГ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І НАДЕЖНОСТІ ТЕХНІКИ АПК В СИСТЕМІ РОЗВИТТЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

*А. В. Новицький*

**Аннотация.** В статье представлены исследования с мониторинга материально-технического обеспечения и фактического уровня надежности техники агропромышленного комплекса в системе развития инновационных процессов. Проанализирована обеспеченность аграрных предприятий сельскохозяйственной техникой в разрезе средств для приготовления и раздачи кормов. Установлен недостаточный уровень материально-технического обеспечения аграрных предприятий различных форм собственности машинами и оборудованием, отмечен высокий уровень их морального и физического старения.

Актуальным направлением теоретических и экспериментальных исследований является изучение сельскохозяйственных машин как сложных социотехнических систем, с учетом влияния человеческого фактора на анализ и синтез, оценку и обеспечение их надежности. В статье предложено учитывать опыт использования средств для приготовления и раздачи кормов, условия их эксплуатации, изучение научно-технической литературы, проведение опроса операторов машин и работников сервисной службы. В качестве объекта и предмета исследований выбрана оценка долговечности ножей механизма измельчения-смешивания, использован метод экспертных оценок, основанный на результатах опроса квалифицированных экспертов. Подготовлены опросные листы, которые предусматривают проведение опроса экспертов по десяти обоснованным факторам.

Установлено, что максимальное влияние на долговечность ножей средств для приготовления и раздачи кормов имеют следующие факторы: материал ножей; свойства растительной массы, что измельчается; стаж работы обслуживающего персонала; загрязненность составляющих кормов посторонними включениями. По всем факторам получена удовлетворительная, а по основным факторам отмечена хорошая согласованность экспертов. Перспективным для обеспечения надежности является переход от продажи отдельных продуктов, то есть техники или отдельных изделий, к реализации технических решений, которые включают дополнительное сервисное обслуживание, поставку запасных частей, обучение операторов.

**Ключевые слова:** техника, машина, надежность, система, долговечность, нож, опросный лист.

additional maintenance, spare parts supply and operator training is promising to ensure reliability.

**Key words:** technique, machine, reliability, system, durability, knife, questionnaire.

**А. В. Новицкий** ORCID 0000-0001-7789-8531.

#### MONITORING OF MATERIAL AND TECHNICAL SUPPORT AND RELIABILITY OF APPLIANCE TECHNIQUE IN DEVELOPMENT SYSTEM OF INNOVATION PROCESSES

*A. V. Novitskiy*

**Abstract.** In the article researches from monitoring of material and technical support and actual level of reliability of technique of agroindustrial complex in system of development of innovative processes are presented. Availability of agricultural enterprises with agricultural machinery in the context of means for preparation and distribution of fodder is analyzed. The insufficient level of material and technical provision of agrarian enterprises of various forms of ownership with machinery and equipment is established, the high level of their moral and physical aging is noted.

The current direction of theoretical and experimental research is the study of agricultural machinery as a complex social and technical systems, taking into account the influence of the human factor on the analysis and synthesis, evaluation and ensuring their reliability. In the article it is offered to take into account the experience of using the means for preparation and distribution of fodder, conditions of their operation, study of scientific and technical literature, carrying out the survey of machine operators and service personnel. As an object and subject of researches the estimation of durability of knives of the mechanism of crushing-mixing is chosen, the method of expert estimations based on results of interrogation of the qualified experts is used. Questionnaires have been prepared, which provide for a survey of experts on ten reasonable factors.

It is established that the following factors have the maximum impact on the durability of knives for the preparation and distribution of feed: the material of knives, the properties of the plant mass, which is shredded, the length of service of the service personnel, and the contamination of the components of feed by foreign inclusions. Satisfactory results were obtained for all factors, and good coordination of experts was noted for the main factors. The transition from the sale of individual products, i.e. machinery or individual products, to the implementation of technical solutions that include

УДК 614.82: 620.191

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТНОГО РИЗИКУ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ З ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ ДЕТАЛЕЙ ТА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ

О. В. Войналович<sup>1</sup>, М. М. Мотрич<sup>1</sup>, В. О. Тімочко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

<sup>2</sup>Львівський національний аграрний університет, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: [voynalov@bigmir.net](mailto:voynalov@bigmir.net)*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 21, рис. 4, табл. 0.*

**Анотація.** Показано, що для обґрунтування продовження термінів експлуатації машини поза встановлений розробниками ресурс необхідно орієнтуватися на допустимі ризики щодо настання аварійних ситуацій, які можуть призвести до нещасних випадків. Адже нині для мобільної сільськогосподарської техніки, експлуатація якої належить до робіт підвищеної небезпеки, поняття допустимого (прийнятного) ризику не застосовують, що не дозволяє оцінити небезпеку перебування на полях, фермах і дорогах машин без технічних засобів безпеки, з вичерпанням встановленого ресурсу.

Мета досліджень – обґрунтувати допустимий ризик експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки, у масиві деталей та елементів конструкцій якої накопичилися дефекти (пошкодження).

У даній роботі проаналізовано кінетику накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей окремих вузлів (систем) тракторів. Як об'єкт досліджено було вибрано трактори МТЗ-80(82), як одні з найбільш поширених в Україні. Для виявлення тріщин використано розроблений вихорострумовий дефектоскоп, чутливість якого дозволяла знаходити тріщини довжиною кілька міліметрів та більші без підготовки поверхні контрольованих деталей.

Показано, що кінетичні залежності накопичення експлуатаційних дефектів у деталях вузлів тракторів у проаналізованому діапазоні тривалості експлуатації є монотонно збільшуваними, які можна описати експоненційними функціями з достатньо високою достовірністю. Відмічено, що отримані залежності подібні до кінетичних залежностей накопичення статичного і динамічного (втомного) пошкодження, отриманих в результаті лабораторних випробувань зразків конструкційних матеріалів, що дозволяє використати підходи щодо критеріїв граничного стану лабораторних зразків внаслідок силового навантажування для встановлення граничних термінів експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки.

Разом з тим кінетика інтенсивності зародження експлуатаційних тріщин у масиві деталей тракторів не є монотонною і має максимум у діапазоні близько 11-

13 років експлуатації. Даний термін експлуатації може бути використаний як критерій для припинення експлуатації трактора, проведення дефектоскопії деталей та заміни дефектних деталей. За такої тривалості експлуатації трактора існує найбільша ймовірність раптового зруйнування вузлів трактора та створення аварійних ситуацій.

**Ключові слова:** діагностування технічного стану, експлуатаційні дефекти, ризик експлуатації, мобільна сільськогосподарська техніка, нещасні випадки.

### Постановка проблеми

Згідно з чинними нормативно-правовими актами з охорони та гігієни праці [1] роботодавець повинен відстежувати та оцінювати технічний стан виробничого обладнання (машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки), забезпечуючи їх безпечну експлуатацію. Зокрема, необхідно дотримуватися призначеного терміну експлуатації (ресурсу) машин (механізмів) підвищеної небезпеки, у разі досягнення якого їх виводять з експлуатації, проводять експертне обстеження для ухвалення рішення щодо встановлення нового строку експлуатації з проведенням або без проведення ремонту.

Важливим є не лише встановлення ступеню працездатності машини (механізму), але й визначення величини ризику її експлуатації для оператора чи інших працівників, яка має не перевищувати прийнятний рівень. Нині прийнятні рівні ризику встановлено загалом для галузей та підгалузей економіки на основі статистичних даних про виробничий травматизм, а також для великих об'єктів підвищеної небезпеки атомної енергетики, хімічної і металургійної промисловості [2, 3]. Для мобільної сільськогосподарської техніки, експлуатація якої також належить до робіт підвищеної небезпеки, поняття допустимого (прийнятного) ризику не застосовують, що не дозволяє оцінити небезпеку перебування на полях, фермах і дорогах машин без технічних засобів безпеки, з вичерпанням встановленого ресурсу.

### Аналіз останніх досліджень

Діагностування технічного стану машин (механізмів) та прогнозування безаварійності їх експлуатації тісно пов'язані між собою [4]. Встановлюючи граничні терміни експлуатації машин потрібно опиратися не лише на міцнісні та економічні показники [5], а й враховувати базові положення концепції ризику, що дозволить обґрунтувати ресурс безпечної експлуатації [6]. Поряд з термінами «міцність», «ресурс», «надійність» розробники техніки і експлуатаційники повинні оцінювати «безпеку», «ризик» та «захищеність» працівників. І це має стосуватися не лише важливих і критично важливих виробничих об'єктів, а й машин тривалої експлуатації.

Для розрахунку показників ризику і безпеки варто застосовувати результати досліджень дефектності матеріалів та елементів конструкцій [7], адже зі збільшенням тривалості експлуатації машини ризику аварійних ситуацій через накопичення експлуатаційних дефектів неперервно зростають.

Аналіз науково-технічної літератури [8-10] показує, що якщо для високоризикових інженерних об'єктів (атомні станції, турбоагрегати, літальні апарати, трубопроводи тощо) реальна ймовірність аварій перевищує запроектовану, то мобільна сільськогосподарська техніка часто перебуває в експлуатації, навіть якщо реальне напрацювання мото-годин перевищує ресурс машин у кілька разів [11, 12].

Для діагностування технічного стану машин під час регламентних робіт нині використовують традиційні та нові методи і засоби – оптичні, фізичні, механічні тощо [13, 14]. Практично відсутні універсальні методи, що дозволяють виявляти кілька параметрів дефектів, а найбільш поширені методи – зовнішній огляд та магнітопорошкова дефектоскопія – дозволяють виявляти лише великі дефекти, коли ризик пошкодження вже високий [15].

### Мета досліджень

Обґрунтувати допустимий ризик експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки, у масиві деталей та елементів конструкцій якої накопичилися дефекти (пошкодження).

### Результати досліджень

Згідно з Технічним регламентом безпеки машин, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 30 січня 2013 р. № 62, у деталях машин потрібно відстежувати відсутність механічних пошкоджень та дефектів, що впливають на безпеку виконання робіт, зокрема безпеку дорожнього руху. Технічно справний стан трактора (машини) регламентують «Вимоги до технічного стану тракторів, самохідних шасі, самохідних сільськогосподарських, дорожньо-будівельних і меліоративних машин, сільськогосподарської техніки, інших механізмів», затверджені наказом Міністерства аграрної політики України від 06.05.2009 р. № 316. Багато у чому справність маши-

ни визначають експлуатаційні тріщини (дефекти), які зароджуються і поширюються у деталях і елементах конструкцій внаслідок корозійно-силового навантаження.

У даній роботі було проаналізовано кінетику накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей окремих вузлів (систем) трактора. Як об'єкт досліджено було вибрано трактори МТЗ-80(82), як одні з найбільш поширених в Україні.

Для виявлення тріщин було використано розроблений вихорострумовий дефектоскоп, чутливість якого дозволяла знаходити тріщини довжиною кілька міліметрів та більші без очищення і підготовки поверхні контрольованих деталей. Це дало змогу дослідити наявність дефектів у понад 1200 деталей 50 тракторів різних років випуску. Дефектоскопічний контроль проводили під час капітальних ремонтів тракторів із розбиранням окремих вузлів.

На використаному в даній роботі дефектоскопі було улаштовано ступеневий перемикач чутливості, щоб під час контролю змінювати мінімальний розмір знайдених тріщин у діапазонах відповідно від 3, 5 і 7 мм довжиною (умовно названих малого, середнього і великого розміру залежно від перерізу деталі у місці контролю). Внаслідок такого методичного підходу було побудовано як кінетичні залежності накопичення експлуатаційних дефектів у деталях вузлів із зростанням тривалості експлуатації тракторів [16, 17], так і кінетичні залежності інтенсивності зародження малих тріщин у масиві контрольованих деталей.

На рис. 1 представлено кінетичні залежності накопичення експлуатаційних дефектів у деталях рульового керування та навісного пристрою тракторів МТЗ-80(82). Як ординату графіків вибрано відносну кількість виявлених дефектів  $n$  у загальній кількості деталей трактора  $N$ , які пройшли дефектоскопічний контроль:  $P = n/N$ . Вздовж осі абсцис відкладено відносну тривалість експлуатації тракторів  $D$ , розраховану щодо базової  $N_{баз}$ , яку в роботі було призначено 17 років, що більше ніж у 2,5 рази перевищує встановлений виробником ресурс даної марки тракторів:  $D = N_{екс}/N_{баз}$ .

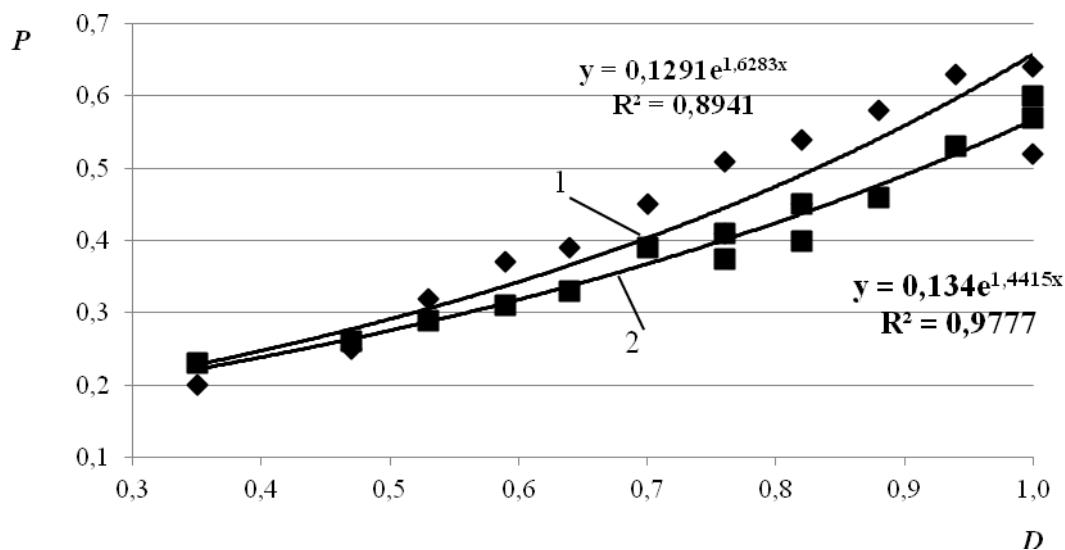
Представлені діаграми у проаналізованому діапазоні тривалості експлуатації є монотонно збільшуваними, які доцільно описувати експоненційними функціями з достатньо високою достовірністю апроксимації  $R^2$ .

Можна відмітити, що отримані кінетичні залежності експлуатаційних дефектів у масиві деталей тракторів подібні до кінетичних залежностей накопичення статичного і динамічного (втомного) пошкодження, отриманих в результаті лабораторних випробувань зразків конструкційних матеріалів [18, 19]. Основною відмінністю є те, що залежності накопичення пошкодження у лабораторних зразках відповідають фізичним закономірностям розвитку процесу накопичення у матеріалі руйнівної енергії у вигляді мікропластичних деформацій, що розташовані розсіяно у структурі конструкційного матеріалу. Але формальна аналогія, наприклад щодо розсіяного розташування деталей з тріщинами у масиві деталей вузлів трактора, дозволяє використати підходи щодо крите-

ривів граничного стану лабораторних зразків внаслідок силового навантажування для встановлення граничних термінів експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки.

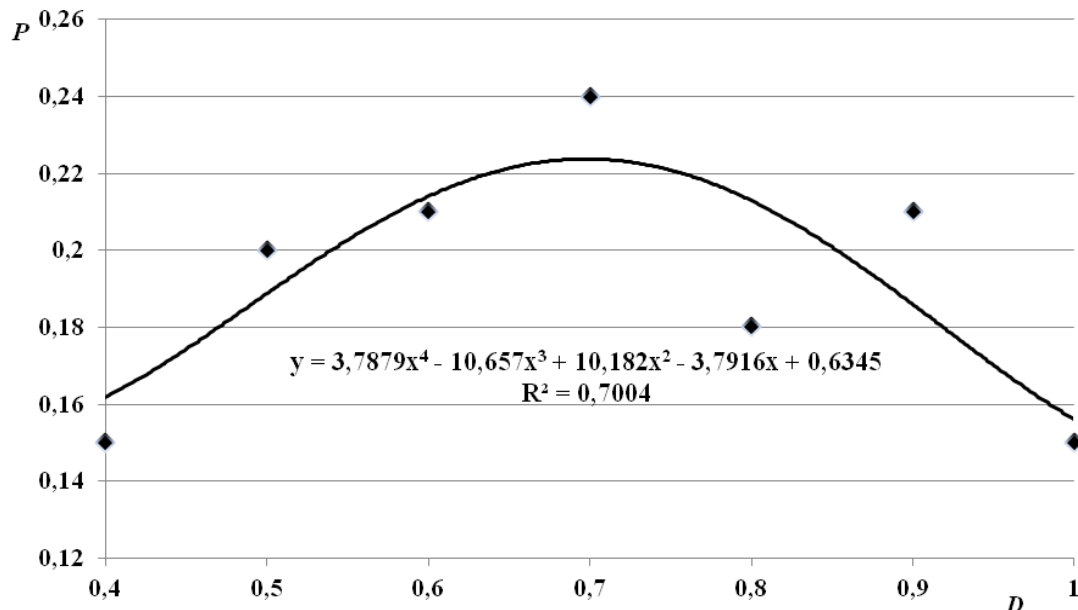
Одним з таких підходів для оцінення граничного стану конструкційного матеріалу у механіці руйнування є застосування кінетичної характеристики пошкодження у координатах: параметр Херста – довговічність зразка. Показник Херста  $H$  розглядають як характерний параметр накопичення здеформованості поверхні, що є кількісною оцінкою зв'язку рельєфу здеформованої поверхні з інтенсивністю силового навантажування. Дослідженнями встановлено, що граничне значення параметра Херста  $H_{гран}$  для кінетичних залежностей накопичення статичного і динамічного (втомного) пошкодження становить близько 0,8.

У даній роботі для обґрунтування граничних значень ризику використання (граничних термінів експлуатації) мобільної сільськогосподарської техніки було отримано кінетичні залежності інтенсивності накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей тракторів МТЗ-80(82). Для цього методом ступінчастого перемикавання чутливості дефектоскопа під час контролю окремих деталей певного поперечного перерізу було виявлено кількість малих тріщин, які за припущенням сформувалися протягом одного року експлуатації трактора. Кінетичні залежності інтенсивності накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей тракторів МТЗ-80(82) представлено на рис. 2. Лінію тренду описано поліномом 4 ступеню з достовірністю апроксимації  $R^2 = 0,7$ .



**Рис. 1.** Кінетичні залежності накопичення експлуатаційних дефектів у деталях рульового керування (крива 1) та навісного пристрою (крива 2) тракторів МТЗ-80(82).

**Fig. 1.** The kinetic dependence of the accumulation of operating defects in power steering components (curve 1) and attachment device (curve 2) tractors MTZ-80(82).



**Рис. 2.** Кінетичні залежності інтенсивності накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей тракторів МТЗ-80(82).

**Fig. 2.** The kinetic dependence of intensity of accumulation of operational defects in the array of parts of tractors MTZ-80(82).

Графік на рис. 2 показує, що кінетика інтенсивності зародження експлуатаційних тріщин у масиві деталей тракторів характеризується максимумом у діапазоні 0,6-0,7 відносної тривалості експлуатації, що становить 11-13 років. Такий показник можна вибрати критерієм щодо припинення експлуатації трактора для проведення дефектоскопії деталей і за-

міни деталей з виявленими дефектами. Максимум графіка відповідає найбільшій ймовірності розсіяного пошкодження у масиві деталей трактора, а отже максимальному ризику раптового зруйнування вузлів трактора, що може призвести до аварійних ситуацій (нещасних випадків) на механізованих (транспортних) роботах.

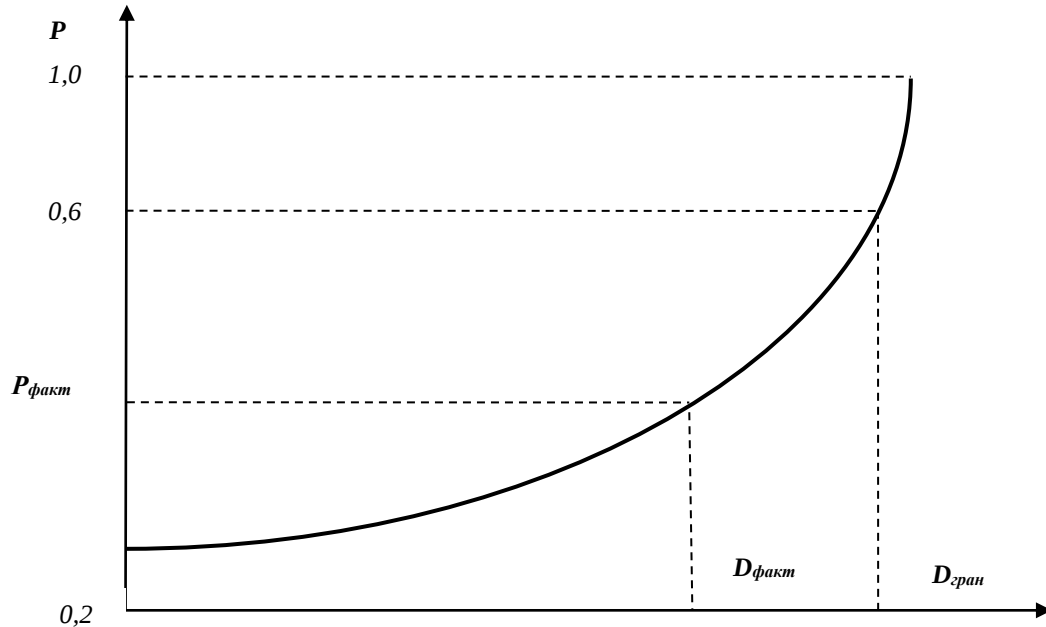


Рис. 3. Схема методу оцінення залишкового ресурсу тракторів після їх тривалої експлуатації.

Fig. 3. Scheme of the method of estimating the residual life of tractors after their continuous operation.

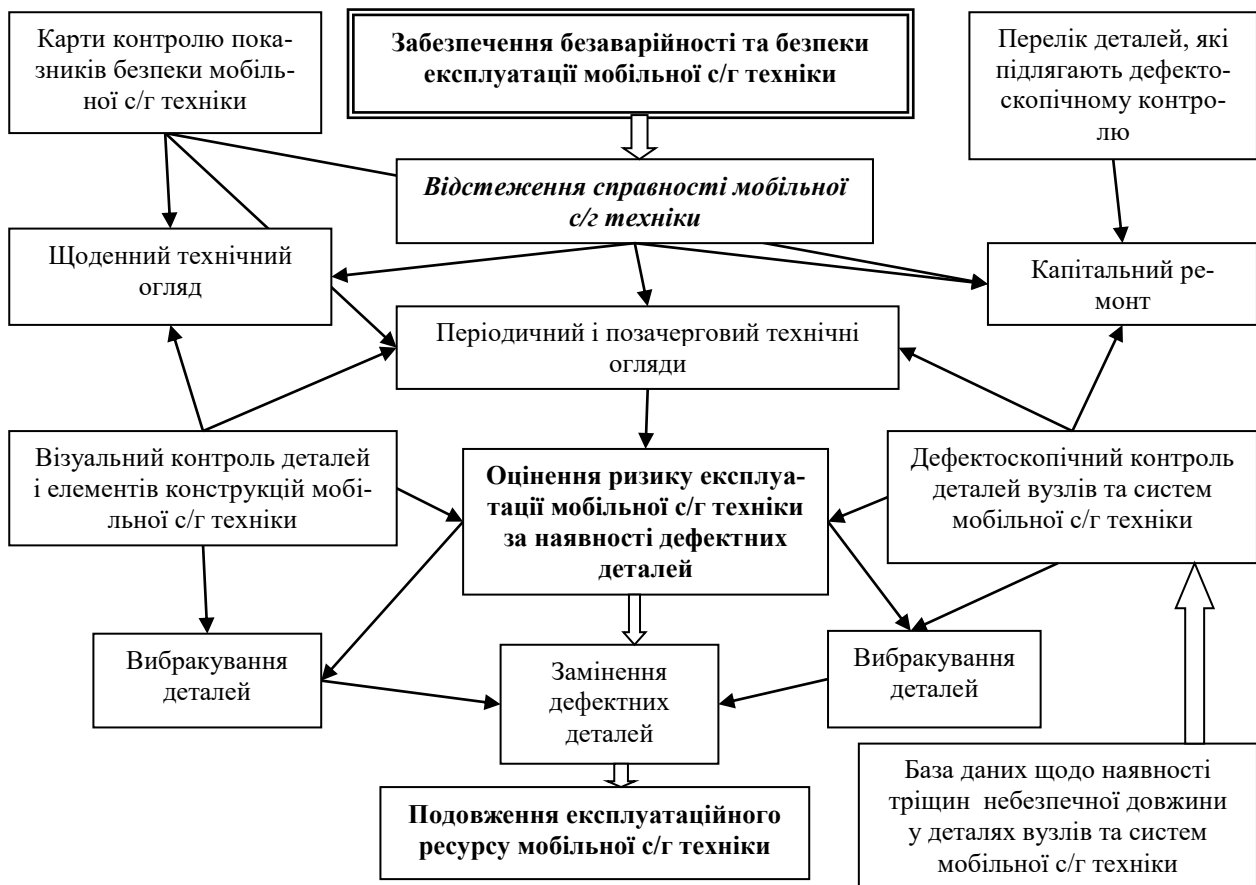


Рис. 4. Алгоритм оцінення справності мобільної сільськогосподарської техніки.

Fig. 4. Algorithm health evaluation for mobile agricultural machinery.

На рис. 3 представлено схему для ілюстрації методу оцінення залишкового ресурсу ( $D_{\text{гран}} - D_{\text{факт}}$ ) трактора після певної тривалості  $D_{\text{факт}}$  експлуатації на основі кінетичної діаграми накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей тракторів МТЗ-80(82). Для оцінення фактичної тривалості експлуатації трактора  $D_{\text{факт}}$  проводять дефектоскопічний контроль певної кількості (масиву) деталей трактора, визначають їх відносну кількість  $P_{\text{факт}}$  у загальній сукупності досліджених деталей, провівши горизонталь до графіка накопичення експлуатаційних тріщин, як це показано на рис. 3.

Для опрацювання (зниження) виробничих ризиків використовують концепцію ризику ALARM [20, 21], що передбачає не лише визначення ризиків, а й комплекс заходів для їх зниження до допустимого рівня. Одним з них є запровадження дефектоскопічного контролю під час оглядів та експертного обстеження машин та механізмів. Алгоритм виявлення наявності експлуатаційних дефектів у мобільній сільськогосподарській техніці представлено на рис. 4.

### Висновки

1. Показано, що кінетичні залежності накопичення експлуатаційних дефектів у деталях вузлів тракторів у проаналізованому діапазоні тривалості експлуатації є монотонно збільшуваними, які можна описати експоненційними функціями з достатньо високою достовірністю.

2. Кінетика інтенсивності зародження експлуатаційних тріщин у масиві деталей тракторів характеризується максимумом у діапазоні 0,6-0,7 відносної тривалості експлуатації, що становить 11-13 років. Цей максимум відповідає найбільшій ймовірності розсіяного пошкодження у масиві деталей трактора, а отже максимальному ризику раптового зруйнування вузлів трактора, що може призвести до аварійних ситуацій (нещасних випадків) на механізованих (транспортних) роботах. Його можна вибрати критерієм щодо припинення експлуатації трактора для дефектоскопії деталей і заміни деталей з виявленими дефектами.

### Список літератури

1. Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками. Затверджені наказом Міністерства соціальної політики України від 28.12.2017 р. № 2072.
2. Белодеденко С. В. Развитие методов расчета и исследований прочности металлургического оборудования. Металлургическая и горнорудная промышленность. 2009. № 4. С. 94-98.
3. Бегун В. В. Задача определения текущего риска объекта повышенной опасности. Математичні машини і системи. 2011. № 1. С. 120-126.
4. Махутов Н. А., Петров В. П., Ахметханов Р. С., Дубинин Е. Ф., Куксова В. И. Некоторые вопросы развития систем предупреждения диа-

гностики. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2010. № 4. С. 22-48.

5. Гаденин М. М. Многопараметрический анализ условий безопасной эксплуатации и защищенности машин и конструкций по критериям прочности, ресурса и живучести. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. № 6. С. 50-56.

6. Махутов Н. А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука. 2017. 724 с.

7. Питухин А. В., Скобцов И. Г., Хвоин Д. А. Исследование влияния технологических дефектов на прочность защитного каркаса кабины колесного трактора. Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2010. № 1. С. 89-92.

8. Цыгичко В. Н., Черешкин Д. С. Безопасность критически важных объектов транспортного комплекса. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing. 2014. 224 с.

9. Левашов С. П., Шкрабак В. С. Профессиональный риск: методология мониторинга и анализа. Курган. 2015. 308 с.

10. Бегун В. В. Впровадження інформаційних технологій у сферу безпеки. Науково-технічна інформація. 2016. № 1. С. 40-46.

11. Скобцов И. Г. Оценка несущей способности устройства защиты оператора лесопромышленного трактора с позиций механики разрушения. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2015. № 2-1. С. 1-10.

12. Рогач Ю. П. Особливості визначення індивідуального професійного ризику при роботі операторів мобільної техніки. Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. пр. Дніпропетровськ. 2015. Вип. 125. С. 262-268.

13. Bannikov M. V., Naimark O. B., Oborin V. A. Experimental investigation of crack initiation and propagation in high- and gigacycle fatigue in titanium alloys by study of morphology of fracture. Frattura ed Integrità Strutturale. 2016. Vol. 10. Iss. 35. P. 50-56.

14. Сергеев Р. Н., Харчикова Ю. В. Мобильный цифровой спекл-интерферометр с непрерывным лазером для регистрации деформационных полей перемещений и дефектоскопии конструкционных материалов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. № 4. С. 216-220.

15. Войналович О. В., Гнатюк О. А., Мотрич М. М. Засоби виявлення експлуатаційних дефектів у деталях сільськогосподарських агрегатів для запобігання аваріям та нещасним випадкам. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 262. С. 45-56.

16. Georgiy Pisarenko, Oleksandr Voinalovych, Ivan Rogovskii, Myhailo Motrich. Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development", Jelgava, Latvia, 22-24.05.2019. P. 199-205.

17. Полянський О. С., Войналович О. В., Мотрич М. М. Оцінення небезпеки експлуатації сільськогосподарських агрегатів за даними дефектоскопії деталей. Вісник Харківського національного техніч-

ного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2018. Випуск 190. С. 185-192.

18. *Писаренко Г. Г., Войналович О. В., Майло А. М.* Закономірності накопичення нелокалізованого пошкодження у поверхневих шарах конструкційних матеріалів. Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2018. Вип. 282. С. 208-218.

19. *Pisarenko G. S., Voinalovich O. V., Mailo A. M.* Stochastic regularities in the non-contact determination of local strains in the surface layer of steel 45 under high-cycle loading. Матеріали XIX Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта» (19-22 червня 2018 р.). К.: КПІ. 2018. С. 11-13.

20. *Lysiuk M. O.* Management of risk safety of labor on different levels. Проблеми охорони праці в Україні: Збірник наукових праць. Київ: ДУ «ННДІПБОП». 2018. Вип. 34. С. 95-105.

21. *Донець О. М., Савельєва Т. В., Урецька Ю. І.* Використання міжнародних стандартів в управлінні ризиками. Збірник наукових праць: Управління розвитком складних систем. Київ: КНУБА. 2011. Вип. 6. С. 36-42.

## References

1. Safety and health requirements when using production equipment by employees. (2017). Approved by the order of the Ministry of Social Policy of Ukraine from 28.12.2017. № 2072.

2. *Belodedenko S. V.* (2009). Development of methods for calculating and researching the strength of metallurgical equipment. Metallurgical and mining industry. № 4. 94-98.

3. *Begun V. V.* (2011). The task of determining the current risk of an object of increased danger. Mathematical machines and systems. № 1. 120-126.

4. *Mahutov N. A., Petrov V. P., Ahmethanov R. S., Dubinin E. F., Kuksova V. I.* (2010). Some issues of the development of proactive diagnostic systems. Security issues and emergency situations. № 4. 22-48.

5. *Gadenin M. M.* (2012). Multiparameter analysis of the conditions of safe operation and security of machines and structures according to the criteria of strength, resource and survivability. Security issues and emergency situations. № 6. 50-56.

6. *Mahutov N. A.* (2017). Safety and risks: system research and development. Novosibirsk: Science. 724.

7. *Pituhin A. V., Skobtsov I. G., Hvoyn D. A.* (2010). Investigation of the influence of technological defects on the strength of the protective frame of the cab of a wheeled tractor. Vestnik MGUL - Lesnoy Vestnik. № 1. 89-92.

8. *Tsygichko V. N., Chereshkin D. S.* (2014). Safety of critical transportation facilities. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing. 224.

9. *Levashov S. P., Shkrabak V. S.* (2015). Occupational risk: monitoring and analysis methodology. Kurgan. 308.

10. *Begun V. V.* (2016). Implementation of information technologies in the sphere of security. Scientific and technical information. № 1. 40-46.

11. *Skobtsov I. G.* (2015). Evaluation of the bearing capacity of the protection device of the operator of the forestry tractor from the standpoint of the mechanics of destruction. Don Scientific Engineering Journal of Engineering. № 2-1. 1-10.

12. *Rohach Yu. P.* (2015). Features of determination of individual professional risk at work of operators of mobile equipment. Geotechnical Mechanics: An Inter-agency Collection of Scientific Papers. Dnipropetrovsk. Вип. 125. 262-268.

13. *Bannikov M. V., Naimark O. B., Oborin V. A.* (2016). Experimental investigation of crack initiation and propagation in high- and gigacycle fatigue in titanium alloys by study of morphology of fracture. Frattura ed Integrità Strutturale. Vol. 10. Iss. 35. 50-56.

14. *Sergeev R. N., Harchikova Yu. V.* (2012). Mobile digital speckle interferometer with a continuous laser for recording the deformation fields of displacements and flaw detection of structural materials. Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. № 4. 216-220.

15. *Voinalovich O. V., Hnatiuk O. A., Motrich M. M.* (2017). Means of detection of operational defects in details of agricultural units for prevention of accidents. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: APC Engineering and Energy. Vol. 262. 45-56.

16. *Georgiy Pisarenko, Oleksandr Voinalovych, Ivan Rogovskii, Myhailo Motrich.* (2019). Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development", Jelgava, Latvia, 22-24.05.2019. 199-205.

17. *Polyansky A. S., Voinalovich O. V., Motrich M. M.* (2018). Estimation of the danger of operation of agricultural units according to the details of flaw detection. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko. Vol. 190. 185-192.

18. *Pisarenko G. G., Voinalovich O. V., Mailo A. M.* (2018). Patterns of accumulation of non-localized damage in the surface layers of structural materials. Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: APC Engineering and Energy. Vol. 282. 208-218.

19. *Pisarenko G. G., Voinalovich O. V., Mailo A. M.* (2018). Stochastic regularities in the non-contact determination of local strains in the surface layer of steel 45 under high-cycle loading. Proceedings of the XIXth International Scientific and Technical Conference "Progressive Engineering, Technology and Engineering Education" (June 19-22, 2018). K.: KPI. 11-13.

20. *Lysiuk M. O.* (2018). Management of risk safety of labor on different levels. Labor Protection Problems in Ukraine: Collection of Scientific Papers. K: State Institution «NRIISLP». Vol. 34. 95-105.

21. *Donets O. M., Saveliyeva T. V., Uretska Yu. I.* (2011). Use of international standards in risk management. Proceedings: Management of the development of complex systems. K.: KNUCEA. Vol. 6. 36-42.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИЕМЛЕМОГО РИСКА  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ  
С ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ  
ДЕТАЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

*А. В. Войналович, М. М. Мотрич, В. О. Тимочко*

**Аннотация.** Показано, что для обоснования продления сроков эксплуатации машины за установленным изготовителями ресурсом необходимо ориентироваться на допустимые риски аварийных ситуаций, которые могут привести к несчастным случаям. В данное время для мобильной сельскохозяйственной техники, эксплуатация которой относится к работам повышенной опасности, понятие допустимого (приемлемого) риска не применяют, что не позволяет оценить опасность пребывания на полях, фермах и дорогах машин без технических средств безопасности, с исчерпанием установленного ресурса.

Цель исследований - обосновать допустимый риск эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники, в массиве деталей и элементов конструкций которой накопились дефекты (повреждения).

В данной работе проанализирована кинетика накопления эксплуатационных дефектов в массиве деталей отдельных узлов (систем) тракторов. В качестве объекта исследований выбран трактор МТЗ-80(82), как один из наиболее распространенных в Украине. Для выявления трещин был использован разработанный вихретоковый дефектоскоп, чувствительность которого позволяла находить трещины длиной несколько миллиметров и больше без подготовки поверхности контролируемых деталей.

Показано, что кинетические зависимости накопления эксплуатационных дефектов в деталях узлов тракторов в проанализированном диапазоне продолжительности эксплуатации являются монотонно увеличивающимися, которые можно описать экспоненциальными функциями с достаточно высокой достоверностью.

Отмечено, что полученные зависимости подобны кинетическим зависимостям накопления статического и динамического (усталостного) повреждения, полученным в результате лабораторных испытаний образцов конструкционных материалов, что позволяет использовать подходы для определения критериев предельного состояния лабораторных образцов для установления предельных сроков эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники.

Вместе с тем кинетика интенсивности зарождения эксплуатационных трещин в массиве деталей тракторов не является монотонной и имеет максимум в диапазоне около 11-13 лет эксплуатации. Данный срок эксплуатации может быть использован в качестве критерия для прекращения эксплуатации трактора, проведения дефектоскопии деталей и замены дефектных деталей. При такой продолжительности эксплуатации трактора существует наибольшая вероятность внезапного разрушения узлов трактора и создания аварийных ситуаций.

**Ключевые слова:** диагностика технического состояния, эксплуатационные дефекты, риск эксплуатации, мобильная сельскохозяйственная техника, несчастные случаи.

SUBSTANTIATION OF THE ACCEPTABLE RISK  
OF USE OF MOBILE AGRICULTURAL MACHINERY  
WITH OPERATIONAL DAMAGE TO DETAILS AND  
STRUCTURAL ELEMENTS

*O. V. Voinalovych, M. M. Motrich, V. O. Timochko*

**Abstract.** It is shown that in order to justify the extension of the life of the machine beyond the resource set by the manufacturers, it is necessary to focus on the acceptable (permissible) risks of emergency situations that can lead to accidents. At present, for mobile agricultural equipment, the operation of which relates to work of increased danger, the concept of acceptable risk is not used, it does not allow assessing the danger of staying on fields, farms and roads of machinery without technical safety equipment, with the exhaustion of the established resource.

The purpose of the research is to justify the permissible risk of the operation of mobile agricultural machinery, in the array of parts and structural elements of which defects (damage) have accumulated.

In this work, the kinetics of accumulation of operational defects in the array of parts of individual nodes (systems) of tractors is analyzed. The tractor MTZ-80(82) was chosen as the object of research, as one of the most common in Ukraine. To identify cracks, the developed eddy current flaw detector was used, the sensitivity of which made it possible to find cracks several millimeters in length and more without preparing the surface of the parts to be inspected.

It is shown that the kinetic dependences of the accumulation of operational defects in the details of tractor units in the analyzed range of operating durations are monotonically increasing, which can be described by exponential functions with a fairly high reliability.

It was noted that the obtained dependences are similar to the kinetic dependences of the accumulation of static and dynamic (fatigue) damage obtained as a result of laboratory tests of samples of structural materials, which allows us to use approaches to determine the criteria for the limiting state of laboratory samples to establish the maximum life of mobile agricultural equipment.

At the same time, the kinetics of the intensity of the initiation of operational cracks in the array of tractor parts is not monotonic and has a maximum in the range of about 11-13 years of operation. This period of operation can be used as a criterion for stopping the operation of the tractor, performing flaw detection of parts and replacing defective parts. With such a duration of operation of the tractor, there is the greatest likelihood of sudden destruction of tractor units and the creation of emergency situations.

**Key words:** diagnostics of technical condition, operational defects, operational risk, mobile agricultural machinery, accidents

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

**М. М. Мотрич** ORCID 0000-0002-2012-0427.

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



UDC 658

## SYSTEM OF EVALUATION OF PERFORMANCE INDICATORS OF SUPPLY CHAINS

O. M. Zagursky

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

*Corresponding authors:* [zagurskiy\\_oleg@ukr.net](mailto:zagurskiy_oleg@ukr.net).

*Article history:* Received: March 2019. Received in the revised form: April 2019. Accepted: August 2019.  
*Bibl. 12, fig. 3, tabl. 1.*

**Abstract.** The article analyzes the existing systems of measuring the efficiency of supply chains and proposes a new approach based on a combination of methods for measuring the company's total cost and a balanced system of indicators. The integrated approach proposed in this paper summarizes the indicators of assessing the efficiency of supply chain operation in a complex system that meets the long-term business development strategies of the needs of customers and the needs of society. In it performance indicators first, take into account the impact of all business processes on operating costs, working capital and long-term assets of the supply chain, and secondly, the development of relations with customers, the effectiveness of personnel management and the level of information systems development.

To implement an integrated approach to developing key performance indicators, the system combines financial and non-financial, qualitative and quantitative indicators that reflect the state and prospects of the company in a comprehensive and balanced way.

**Key words:** cost, efficiency, supply chain, customer, system of indicators, value of the company.

### Introduction

The modern type of economy has a high degree of dynamism. It is associated with diverse manifestations, and crises. In this situation, one of the tools that can achieve competitive advantages is the integration interaction of business structures connected by material, information and financial flows in a single integrated management system - supply chain (Supply Chain Management).

### Formulation of problem

It requires new innovative approaches to the formation of a system for assessing the effectiveness of its functioning, which is based not on empirical data, but on quantitative calculations. This approach permits are still at the planning stage in the supply chain to evaluate B key indicators of interest to its design and identify the best ways to improve and enhance the competitive advantage of the company. According to experts a question about the formation of the analytical basis for new approaches and

methods to assess the economic efficiency of supply chain.

### Analysis of recent research results

Today there are many approaches to defining indicators to measure the efficiency of supply chain, so B. Bimon leads categorization of indicators for: resources, results and flexibility [8, p. 275-292] A. Gunaksaren, C. Patel, R. McGofee offer system performance, classified by types of processes in supply chains [1, p. 336-339]. J. Key Berle identifies three categories of supply chain evaluation: time, quality, costs [1, p. 225-230]. V. Houseman offers the distribution of indicators by types of streams [12, p. 9- 10]. Chan and Qi subdivide performance indicators into groups: quantitative (costs, time of execution of orders, use of production capacities and resources) and qualitative (consumer satisfaction, degree of flexibility, integration of information and material flows, efficiency of risk management and work of suppliers) [10, p. 209-213]. N. I. Chukraj and I. B. Mlinko, structuring the most traditional factors, form a rational system for assessing the functioning of the supply chain, which covers both general and partial indicators [7, p. 29-30].

At the same time, the study of literary sources to assess the efficiency of supply chains showed that most of the proposed for measuring system of indicators is not consistent with the overall financial success of the enterprise. What induces to improvement of existing methods of estimation and construction of new innovative approaches to measuring the efficiency of the supply chain operation.

### Purpose of research

The aim of the work is to is an analysis of the existing systems of measuring the efficiency of the supply chain and developing them on the basis of a new approach that generalize performance evaluation of the effectiveness of the functioning of the supply chain in the complex system that the long-term business development strategy, customer needs and demands of society.

### Results of research

Theoretical basis of the analysis of the system of performance indicators of the supply chain operation is based on the synthesis of system and functional approaches. In the process of research, general scientific methods were used, in particular: scientific abstraction, deduction, analogy, generalization and comparison.

And cutting down the measurement system to assess the efficiency of the supply chain provide for the use of many qualitative and quantitative indicators, which in turn require the use of difficult of available information, which in most cases leads to a distorted general analysis of the effectiveness and low reliability of the results. Therefore, from our point of view, the essence of assessing the effectiveness of the supply chain operation, above all, should be to compare the results of activities and spent on their achievement of resources.

In this section, in terms of scientific and methodological framework, promising direction in assessing the effectiveness of supply chain model is a measure of the total value of which allow including track the impact of transport operations on the financial performance of the company. The most popular of these are:

1. Strategic profit model (Dupont model)
2. Shared value (EVA cost management)
3. The monetary value of CVA (Cash Value Added)

The model Dupont rate of return on assets ROA (return on assets - a key component models) decomposed into components: Quality and Transformation assets  $K_t$ , profitability of sales and  $R_Q$ , and they in turn spread to other financial indicators.

$$ROE = K_{\phi_3} \times ROA \left( \frac{R_Q \left( \frac{NOPAT (EBIT - \text{Interests} - \text{Taxes})}{V} \right)}{K_t \left( \frac{V}{A(NA + OA)} \right)} \right)$$

where:  $NOPAT$  - net profit;

$EBIT$  - profit before taxes and loans;

$Interests$  - interest on borrowing costs;

$Taxes$  - tax liabilities;

$V$  - net revenues from sales;

$NA$  - non - negotiable assets of the enterprise;

$OA$  - current assets of the enterprise.

The ROA indicator shows how effectively an asset is used to achieve a certain level of sales. Thus, ROA relates the profitability and value of assets, thus providing the best consolidated performance of the company.

Shareholder value chain EVA, can be defined as a set of values of entities that are part of it. According to EVA [4], the value of a company is its book value, increased by the present value of future EVA. Obviously, the largest increase in the value of any company is primarily due to its investment activity, which can be realized both at its own expense and at the expense of borrowed sources. The main idea that justifies the feasibility of using economic value added is that investors (in the name of which owners can act) companies should receive a return rate for their risk. In other words, the company's capital must earn, at least, the same return rate as similar investment risks in the capital markets. There are two basic options for calculating the EVA:

$$1) EVA = NOPAT - WACC \times \text{Capital employed}$$

where:  $WACC$  - weighted average cost of capital;

$\text{Capital employed}$  - investment capital.

or:

$$2) EVA = (ROI - WACC) \times \text{Capital employed}$$

where:  $ROI$  - rate of return on invested capital

The EVA score can be increased: at the expense of increase of the income from the sale and reduction of the cost (saving and optimization of current expenses (reduction of unprofitable productions, etc. etc.)); at the expense of optimization of expenses on a capital.

Indicator cash value added ( $p$  VA). The idea of money to this value is as follows: from the net cash flow should be deducted costs associated with the value of attracted capital. Cash Value Added VA - This is a modified EVA, in which the net operating cash flow is used instead of profit. It follows from this that the value added avoids the problem of accounting for accounting costs associated with depreciation, which rarely corresponds to the actual scheme for obtaining benefits from long-term assets.

$CVA = \text{Gross Cash Flow} - \text{Economic Depreciation} - \text{Capital Charge}$  [10]

where:  $\text{Gross Cash Flow}$  - gross cash flow;

$\text{Economic Depreciation}$  is the economic depreciation calculated according to the formula  $[WACC / (1 + WACC)^n - 1]$ ;

$\text{Capital Charge}$  - accruals for fixed assets (dividends)

The indicator of monetary value added according to its name and as a consequence of continuity of the EVA indicator is based not on accounting but on economic indicators. In particular, the CVA used economic equity, which will ignore the accounting principle of "successful efforts" and include investments in intangible assets, including "NDDKR", advertising, and more.

The analyzed models are clearly consistent with the overall financial success of the enterprise and show the effectiveness of the use of resources and financial results from activities. Their use is in line with the goal of maximizing profits in the short run, which is fully consistent with the current goals of domestic business.

However, this approach is in the long run is not effective, because the main driver of enterprise development, according to the experience of advanced foreign and companies, are clients. And in most cases, they do not get any direct benefit from reducing you spending within the supply chain, as the price of the product at the same time rarely decreases. Therefore, the evaluation of efficiency of the supply chain on the basis of the total cost is wrong. Despite of the fact that the level of direct costs affects overall profitability, this is just one of many other factors that need to be taken into account. There are indicators that characterize the development of customer relations, personnel management, product quality, the efficiency of internal business processes, the implementation and development of information systems, that is, those aspects of activity that it is not always possible to give a value assessment, however, they, like no other, meet the strategic goals of the company with business development.

The attempt to link the strategic goals of the organization with the operational level of management in

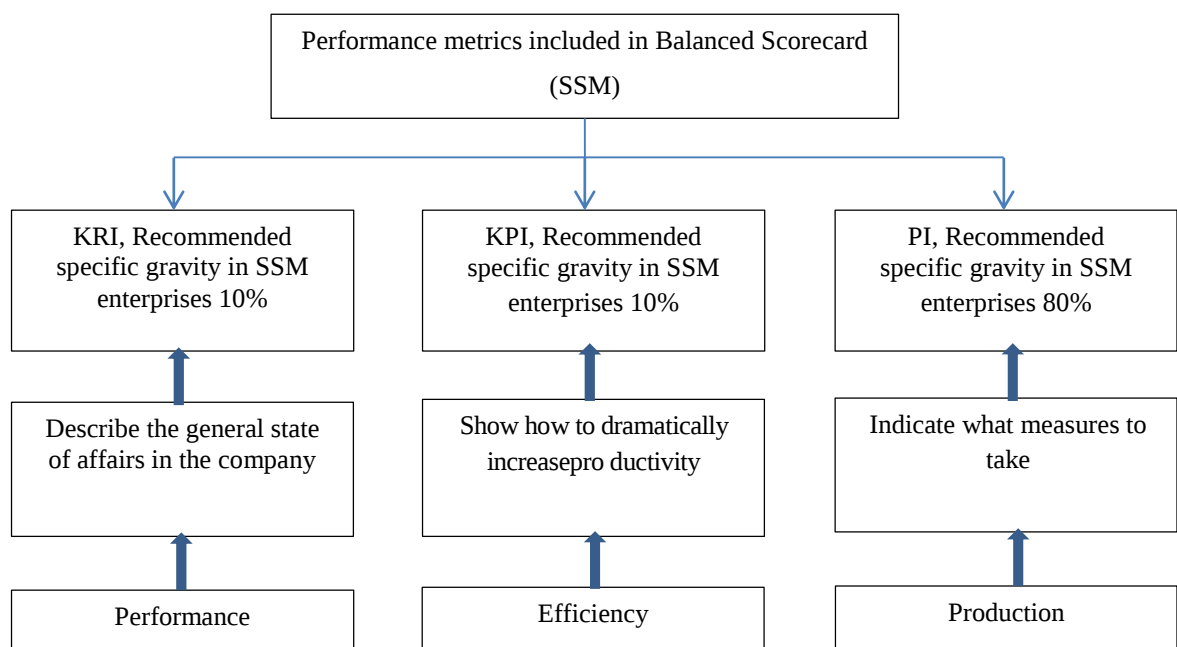
financial and non-financial indicators was the development by R. Kaplan and D. Norton of balanced scorecard (balanced scorecard) [2], which is by far the most popular and recognized worldwide management concept economic efficiency. Balanced Scorecard (SSM) is a system of strategic management of a company based on measurement and evaluation of its effectiveness by recruiting optimally (or rationally) selected indicators that reflect these aspects of the organization's activities (financial and non-financial).

What exactly "balances" in the SSM? First, targeting short-term goals and indicators that reflect them are balanced with the long-term goals of the company. Secondly, external evaluations of the company (in the financial and client constituents) are balanced with internal (in the components of internal business processes and innovations and training). Third, the leading indicators that reflect the desired results and the factors affecting their achievement eye u t b be delayed along with indicators that already occurred. Finally, there are both objective (eg financial) and subjective (eg, image) assessments in the system.

The SSM provides interaction between the employees of the company at all levels of enterprise management and gives an idea of how the decision-making process can be improved and come closer to the goals set. By participating in identifying key indicators and implementing a strategy, employees have the opportunity to increase their own qualifications and improve the efficiency of the enterprise as a whole. Due to the involvement of staff in the process of implementing strategic decisions, the company becomes a flexible

structure, where each employee equally understands the goals set. Such an enterprise is able to quickly respond to dangerous trends and make appropriate management decisions. H. Boulenger and M. Kuhner were using models SSM, to assess the effectiveness of the supply chain, offer to group indicators by four projections: 1) The financial aspect (the level of costs and stocks, return on investment, the financial cycle), 2) aspect of the client (the level of customer satisfaction, timely supply, time of execution of the order, level of service), 3) the internal economic aspect (accuracy of the execution of the order), 4) aspect of innovation (the proportion of sales of a new product) [9, p. 3535-3540]. The biggest development of the concept of applying MSP received in the D. Part of the era [5], in which the key indicators of activity (Key Performance Indicators - KPI).

KPI - quantitative or qualitative indicators, that allow to measure the degree of goal achievement that company is facing, a structural unit, a group of positions or post. With the introduction of KPI it is possible to create an individual benchmark for employees. KPI include - key performance indicators (KPI), production figures (PF) and key performance indicators (KPIs). Number of KPI and their ratio in the total structure of SSM determined directly by management companies. However, good recommendation is a rule of "10/80/10", which means that SSM with her assessment of the organization should be included around 10 key performance indicators to 80 production indicators and 10 key performance indicators. In very rarely cases, more than the estimated parameters are required - usually they are even less.



**Fig. 1.** Indexes efficiency Lanka hectare supply.

Source: Parmenter D. Key Performance Indicators. Development, implementation and application of decisive indicators: monograph [Per. from english A. Platonov]. Moscow. ZAO "Olympus - Business", 2008. 288.

A similar approach to measuring the performance of supply chains is presented in the Gower publication [6] (with the exception of performance indicators), where performance and productivity indicators are entered into

quadrants in the context of existing and future key indicators. The general characteristic of these parameters is that they reflect the results of many activities and give a clear view of the correctness of the direction of movement

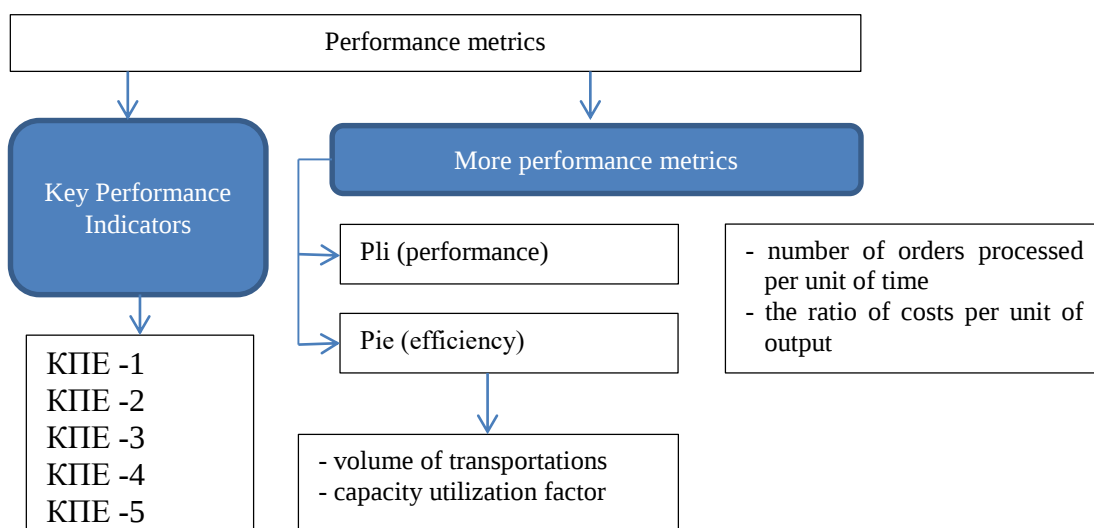
of companies supply chain participants. However, they do not say anything about how to improve these results. So, this kind of indicators is very convenient for board members (i.e. etc. For people who are not involved in the daily management of the companies that make up the supply chain).

Logical continuation of the widespread use of the concept of key performance indicators (KPIs) are outside the SSM. They allow you to link the implementation of the plan with the main results of the management of the chains and post the result and determine the necessary corrective action. KPIs should be measured once a week, every day, and in some cases, every hour. In this way, they are current indicators either indicators of future periods, which show that it is necessary to do this directly today to increase the efficiency of the supply chain.

Within the KPI administration, it is proposed to refuse to use only financial indicators to assess the company's performance and focus on non-financial indicators that assess the level of customer satisfaction, the efficiency of internal administrative and technological processes, and the potential of service personnel - these indicators, in turn, provide financial success of the

company. It takes into account those indicators, the connection between which is difficult to describe by formalized methods. Non-financial indicators are by and large outperforming, since they allow timely decisions to be taken to prevent certain situations and adequately assess the processes taking place in the company, as well as provide long-term managerial impacts. At the same time, financial indicators are recognized as effective criteria for success. Financial efficiency is measured by short-term indicators, which, as a rule, leads to short-term managerial influences.

One of the options of the system of indicators, which allows in general to assess the efficiency and effectiveness of the supply chain operation are: general logistics costs (KPE-1); quality of logistic service (KPE-2); duration of logistic cycles (KPE-3); performance (KPE-4); Return on Investment in Logistics Infrastructure (KPE-5) [3]. These indicators are key and complex. In addition to the key, additional indicators are allocated: performance (effectiveness) and efficiency, Pl<sub>i</sub> and Pie, respectively. The general classification of indicators can be presented in the form of a scheme (Figure 2).



**Fig. 2.** Performance indicators in the supply chain.

Source: prepared by the author

In world practice, key performance indicators of the KPI are an integral part of not only assessing certain technological and business processes, but also management systems.

However, due to the current development of global economic processes, special attention should be paid to the introduction of new indicators, involving experts in the process of analysis. They can be executives, as well as the most trained specialists of financial and commercial structures of enterprises, analysts of specialized consulting companies, etc.

Taking into account the experience in the field of forward studies, we consider the methods of assessing the efficiency of supply chains based on the use of RPM most rational and reflecting all aspects of the organization's activities. However, new approaches to building a system of performance indicators for supply chains should be designed in such a way that they firstly take into account

the impact of all business processes on operating costs, working capital and long-term assets of the supply chain, and secondly, the development of relations with customers, the effectiveness of personnel management, the quality of internal business processes and the level of implementation and development of information systems of the organization. Under this logic, we propose the use of five key areas (finance, customer relations, internal business processes, relationships with the environment, training and development).

The first direction (Finance) provides an understanding of the financial position and financial stability of the Company and shareholders and investors (both actual and potential); the second (customer relationship) - reflects the point of view of customers, that is, gives an idea of the ratio of consumers to the company's products; third (internal business processes) - displays information about the quality of internal business

processes and the level of implementation and development of information systems in the company; fourth (relations with the external environment) - characterizes the level of external socially responsible relations of the company, within which the process of

creating values for the enterprise itself and consumers, the state, business partners; fifth (training and development) - helps to disassemble be the work of staff in the middle of and understand what opportunities exist for growth and development.



**Fig. 3.** Directions with Balanced Scorecard.

Source: prepared by the author

The identified directions are linked by a strategic cause-and-effect chain. Causal links that bind all of these blocks, show the logic inherent in the company's business, which should lead to success.

The set of key indicators of efficiency within defined directions depends on the level of development of

management of a particular company. To implement a systemic approach to developing key performance indicators, it is proposed to combine both financial and non-financial, qualitative and quantitative indicators (Table 1).

**Table 1.** Indicators for assessing the efficiency of the supply chain.

| Direction                   | Indicator                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Finances                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- return on assets (ROA)</li> <li>- return on equity (RO E)</li> <li>- monetary value added (VA)</li> <li>- asset turnover</li> <li>- marginal income from the use of assets</li> </ul>                                                                                    |
| relations with clients      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- share of lost customers</li> <li>- customer satisfaction level</li> <li>- the level of product value for the customer</li> <li>- availability of company product information for the customer</li> </ul>                                                                 |
| internal business processes | <ul style="list-style-type: none"> <li>- time of order execution</li> <li>- flexibility of product configuration change</li> <li>- delivery flexibility</li> <li>- flexibility in providing the required volumes of the order</li> <li>- the processing speed of receipt of the order</li> </ul>                  |
| social responsibility       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- the effectiveness of environmental protection</li> <li>- rational consumption and use of natural resources in</li> <li>- level of energy consumption of products</li> <li>- level of safety of production and production</li> <li>- level socio th investment</li> </ul> |
| training and development    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- staff costs</li> <li>- level of staff turnover</li> <li>- the cost of information</li> <li>- the level of ineffective use of information</li> </ul>                                                                                                                      |

Source: prepared by the author

Such a system of key indicators of the efficiency of the supply chain will provide support for decision-making by specialists at the stage of their design and operation. What will allow managers to create a coherent picture of how their company should develop, help them prioritize and anticipate the consequences of their decisions in terms of achieving strategic goals. Thus, the company's management becomes strategically and socially oriented, which is extremely relevant and popular today.

It should be noted that a certain number of indicators is quite sufficient for a comprehensive assessment of the efficiency of the supply chain operation, but if necessary, the clarification of certain criteria may be extended.

### Conclusions

1. Developed through a combination of methods the total value of the company and the system of balanced indicators approach generalizes system of indicators to measure the efficiency of the supply chain and serves as a tool to determine its level. Proposed system is developed as a way to show nicks efficiency of the supply chain firstly take into account the impact of all executables it business processes operating expenses, working capital and the asset supply chain and secondly, the development of relations with customers, the effectiveness of personnel management, the quality of internal business processes and the implementation and development of information systems. To implement a systematic approach to the development of key performance indicators in the system combined financial and non-financial, qualitative and quantitative indicators.

2. Further researches in the context of this problem should be aimed at data accumulation and analysis of the efficiency of the functioning of supply chains of Ukrainian enterprises.

### References

1. Gunasekaran A., Patel' S., MakGofi R. E. (2004). Supply Chain Performance Scope. *Mezhdunarodnyj zhurnal jekonomiki proizvodstva*. Vol. 3, 333-347. [in Russian].
2. Kaplan R., Norton D. (2003). Balanced scorecard. From strategy to action. ZAO «Olimp-Biznes», Moskva [in Russian].
3. Kouplend T., Koller T. (2005). Value of companies – evaluation and management. ZAO «Olimp-Biznes», Moskva [in Russian].
4. Parmenter D. (2015). Key performance indicators. Development, implementation and application of decisive indicators. ZAO «Olimp-Biznes», Moskva [in Russian]
5. Gatorny Dzh. (2008). Supply Chain Management: A Directory of Publishers Gower; 5rd ed. INFRA–M, Moskva [in Russian].
6. Chukhraj N. I., Mlynko I. B. (2013). Evaluating the effectiveness and efficiency of marketing an industrial enterprise in the supply chain. *Marketynh i menedzhment innovatsij*. Vol. 3, 24-34. [in Ukrainian].

7. Beamon B. M. (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Production Management*. 275-292.

8. Bullinger, H. J., Kuhner M. (2002). Analysing supply chain performance using a balanced measurement method. *International Journal of Production Research*. Vol. 40. 3533-3543.

9. Chan, F. T. S., Qi, H. J. (2003). An innovative performance measurement method for supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 3. 209-223.

10. Fernandez P. (2002). Three Residual Income Valuation Methods And Discounted Cash Flow Valuation. Madrid IESE Business School, [Online], available at: [http://pruss.narod.ru/ThreeIncome\\_OneDCF.pdf](http://pruss.narod.ru/ThreeIncome_OneDCF.pdf)

11. Hausman W. (2019). Financial Flows & Supply Chain Efficiency/Visa Commercial Solutions [Online], available at: [http://www.visa-asia.com/ap/sea/commercial/corporates/includes/uploads/Supply\\_Chain\\_Management\\_Visa.pdf](http://www.visa-asia.com/ap/sea/commercial/corporates/includes/uploads/Supply_Chain_Management_Visa.pdf).

12. Keebler, J. S., Manrodt K. B., Durtsche D. A., Ledyard D. M. (1999). Keeping Score: Measuring the Business Value of Logistics in the Supply Chain. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management.

### Список літератури

1. Gunasekaran A., Patel' S., MakGofi R. E. Supply Chain Performance Scope. *Mezhdunarodnyj zhurnal jekonomiki proizvodstva*. 2004. Vol. 3. P. 333-347. [in Russian].
2. Kaplan R., Norton D. Balanced scorecard. From strategy to action. ZAO «Olimp-Biznes», Moskva. 2003. [in Russian].
3. Kouplend T., Koller T. Value of companies – evaluation and management. 2005. ZAO «Olimp-Biznes», Moskva [in Russian].
4. Parmenter D. Key performance indicators. Development, implementation and application of decisive indicators. 2015. ZAO «Olimp-Biznes», Moskva [in Russian]
5. Gatorny Dzh. Supply Chain Management: A Directory of Publishers Gower; 2008. 5rd ed. INFRA–M, Moskva [in Russian].
6. Chukhraj N. I., Mlynko I. B. Evaluating the effectiveness and efficiency of marketing an industrial enterprise in the supply chain. *Marketynh i menedzhment innovatsij*. 2013. Vol. 3, P. 24-34. [in Ukrainian].
7. Beamon B. M. Measuring supply chain performance. *International Journal of Production Management*. 1999. P. 275-292.
8. Bullinger, H. J., Kuhner M. Analysing supply chain performance using a balanced measurement method. *International Journal of Production Research*. 2002. Vol. 40. P. 3533-3543.
9. Chan, F. T. S., Qi, H. J. An innovative performance measurement method for supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2003. Vol. 3. P. 209-223.
10. Fernandez P. Three Residual Income Valuation Methods And Discounted Cash Flow Valuation. 2002.

Madrid IESE Business School, [Online], available at: [http://pruss.narod.ru/ThreeIncome\\_OneDCF.pdf](http://pruss.narod.ru/ThreeIncome_OneDCF.pdf)

11. Hausman W. Financial Flows & Supply Chain Efficiency/Visa Commercial Solutions [Online], available at: [http://www.visa-asia.com/ap/sea/commercial/corporates/includes/uploads/Supply\\_Chain\\_Management\\_Visa.pdf](http://www.visa-asia.com/ap/sea/commercial/corporates/includes/uploads/Supply_Chain_Management_Visa.pdf). 2019.

12. Keebler, J. S., Manrodt K. B., Durtsche D. A., Ledyard D. M. Keeping Score: Measuring the Business Value of Logistics in the Supply Chain. 1999. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management.

эффективность управления персоналом и уровень развития информационных систем.

Для реализации интегрированного подхода к разработке ключевых показателей эффективности в системе скомбинированы финансовые и нефинансовые, качественные и количественные показатели, которые комплексно и сбалансировано отражающих состояние и перспективы развития компании.

**Ключевые слова:** стоимость, эффективность, цепь поставок, клиент, система показателей, ценность компании.

#### СИСТЕМА ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ

*О. М. Загурський*

**Анотація.** Транспортні організації виступають на товарних В статті проведено аналіз існуючих систем вимірювання ефективності ланцюгів постачання та запропоновано новий підхід, що оснований на поєднанні методів вимірювання загальної вартості компанії та збалансованої системи показників.

Запропонований інтегрований підхід узагальнює показники оцінки ефективності функціонування ланцюгів постачання у комплексну систему, яка відповідає довгостроковим стратегіям розвитку бізнесу, потребам клієнтів і запитам суспільства. В ньому показники ефективності по-перше, враховують вплив усіх бізнес-процесів на операційні витрати, оборотний капітал і довгострокові активи ланцюга постачання і по-друге характеризують розвиток відносин з клієнтами, ефективність управління персоналом та рівень розвитку інформаційних систем.

Для реалізації інтегрованого підходу до розробки ключових показників ефективності в системі скомбіновано фінансові та нефінансові, якісні та кількісні показники, які комплексно і збалансовано відображають стан та перспективи розвитку компанії.

**Ключові слова:** вартість, ефективність, ланцюг постачання, клієнт, система показників, цінність компанії.

#### СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

*О. Н. Загурский*

**Аннотация.** В статье проведен анализ существующих систем измерения эффективности цепей поставок и предложен новый подход, основанный на сочетании методов измерения общей стоимости компании и сбалансированной системы показателей.

Предложенный интегрированный подход обобщает показатели оценки эффективности функционирования цепей поставок в комплексную систему, которая отвечает долгосрочным стратегиям развития бизнеса, потребностям клиентов и запросам общества. В нем показатели эффективности, во-первых, учитывают влияние всех бизнес-процессов на операционные расходы, оборотный капитал и долгосрочные активы цепи поставок и во-вторых характеризуют развитие отношений с клиентами,

**О. М. Zagursky** ORCID 0000-0002-5407-8466.



UDC 331.1: 378.091.39

## BUSINESS GAMES OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH AS TOOL MODELING THE PROCESS OF FUTURE STUDENTS PROFESSIONAL ACTIVITIES

S. M. Holopura

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

Correspondence of the authors: [svgolopura@ukr.net](mailto:svgolopura@ukr.net).

*Article history: Received: March 2019. Received in the revised form: April 2019. Accepted: August 2019.*

*Bibl. 17, fig. 1, tabl. 0.*

**Abstract.** The organization of the educational process of students of higher educational institutions in the discipline "Occupational safety" has certain features, due to the need for students to form a work-safety outlook. In addition to the traditional forms, training in the field of vocational disciplines should include active learning tools, in particular, business games that allow students to simulate the process of future professional activity of students in order to acquire their professional skills in the classroom training.

The purpose of the research is to develop and substantiate the methodology of conducting a business game "The procedure of investigation and accounting of accidents, occupational diseases and accidents at work", which will allow students to act independently in the simulated situation, to solve specifically formulated tasks and problems, to develop ways solution.

In this work, a step-by-step algorithm for accident investigation at work is developed, which will allow students to supplement and consolidate the knowledge acquired during the study of the theoretical course, to develop skills in working with normative-legal acts on occupational safety and with reference literature. At the same time, students adapt to the necessity of making some efforts in understanding the provisions of labor protection documents written in dry business language without explanation.

It is noted that the acquired knowledge should ensure the acquisition of skills for making informed decisions on the development of an accident plan, completing the N-1 investigation act and the ability to independently solve occupational safety issues, activate students' creativity and enhance job security.

**Key words:** bussiness game, occupational safety, industrial situation, accident, investigation algorithm, optimal solutions.

### Introduction

In the modern society, the main task of higher education is to train highly qualified specialists, individuals capable of self-development and self-realization in life. In higher education, business game is widely used as an important didactic method, which intensifies the learning

process and closely links it with practical activity. The business game is based on the simulation model [1-5], which is realized due to the actions of the game participants. At seminars with the practical use of game technology is deepening and consolidation of students' knowledge, the ability to apply them in practice, to make collective decisions, to align their interests with the interests of the team in achieving common goals. Business play enables students not to be afraid of mistakes and to activate their own creative potential [6].

### Formulation of problem

The inconsistency of the communication skills of future professionals, their ability to effectively solve problems in various fields of professional activity, with due regard to the requirements of occupational safety and health, and the role in this process of business games have determined the direction of our research. Note that the business game is aimed at developing the ability to analyze specific practical situations and solve professional problems, during the game develops creative thinking, as well as honing the ability to communicate with colleagues and increase students' motivation to learn safety standards.

### Analysis of recent research results

The basis of the use of any methodology in the study of occupational safety disciplines is a comprehensive methodological support of the educational process. Each teacher works on creation of it: planning, development and creation of the optimal system (complex) of educational-methodical documentation, teaching aids necessary for ensuring a complete and qualitative process of teaching of students of professions within the content and time determined in accordance with the curricula and programs [7].

One of the promising methods of training experienced professionals capable of making decisions to solve complex production issues is the development and conduct of business games [8]. The development of game forms and methods of using the game in the professional

training of the future specialist were held by: L. Vygotsky, A. Verbitsky, B. Likhachev, T. Khlebnikova, G. Selevko, E. Khrutsky and others. In the works of L. Vygotsky, V. Platov argues that the business game is a pedagogical tool and an active form of learning, which shapes educational activities and develops professional skills [9]. G. Abramova, V. Stepanovich, emphasize that business play is an important condition for stimulating interest in knowledge [10, 5], a method of active learning that contributes to the achievement of specific tasks, structuring the system of business relationships of participants. Its structural elements are the design of reality, the conflict of the situation, the activity of the participants, the appropriate psychological climate, interpersonal and inter-group communication, the solution of problems formulated at the beginning of the game, which as a result creates conditions for improving the effectiveness of the learning process [11]. In particular, L.M. Sekacheva [12] believes that, when preparing future specialists, teachers should strive not only to equip students with scientific knowledge, but also to promote the development of practical efficiency and entrepreneurialism in them, to develop the skills of active thinking. Therefore, in his opinion, it is important to conduct educational business games with students that to some extent imitate professional situations.

The study of the essential characteristics of a business game based on the analysis of numerous publications [1-12] can be argued about the advantages of this form (method) of training. Business game activates participants, their mental and cognitive activity, develops skills of independent research and evaluation of information, as well as the ability to find new sources of obtaining the necessary information to achieve the goal. It motivates participants to make optimal decisions in their professional activities, including in the conditions of uncertainty, develops the ability to simulate a problematic situation, identify the cause and effect relationship between events and phenomena, forms analytical thinking, the ability to clearly and convincingly present their point of view, increases qualification of specialist. A business game reduces the number of mistakes made in practice, in professional activity as a result of the acquired knowledge and acquired skills [13].

Equally important is the task of communicative nature, because the learning process takes place in the context of communication between the teacher and the student. In particular, Y.V. Lebedev describes the use of an innovative approach in higher education as a process of improving pedagogical technologies, a set of methods, techniques and teaching aids [14]. The widespread "classic" chalk-and-talk training method is not effective enough nowadays because it is usually passive. Therefore, the scientist proposes to apply interactive methods of teaching students in higher education institutions, which help to create more comfortable learning conditions, under which the student feels his / her intellectual development and success, which makes the learning process effective.

The education system requires reforming and adapting to current requirements and international standards [15]. Among the available teaching methods that contribute to the ability to ensure the acquisition of these quali-

ties by professionals is a business game, provided the use of traditional and innovative technologies that motivate the student to be an active subject of education and raise personal interest in the results of the acquired knowledge and acquired skills.

### Purpose of research

To develop and substantiate the method of conducting a business game "Procedure for investigation and accounting of accidents, occupational diseases and accidents at work", which will allow students to act independently for a time under the simulated situation, to solve specifically formulated tasks and problems, to develop ways of solving them.

### Results of research

Higher education institutions are a leading element in the formation of a complex of knowledge and skills in the field of occupational safety, since it is the level of education and awareness that largely determines the level of personal safety culture. It should be noted that the teaching of the discipline of "Occupational safety" has certain features, the main component is a large number of regulations governing labor law, sanitary and technical standards, industrial sanitation and safety, which prevent effects of harmful and dangerous factors on employee during work activity.

At the same time, in the educational and professional plans for training specialists, the discipline of "Occupational safety" is transferred to the category of non-normative, combined with the discipline of "life safety", and significantly reduced the number of learning hours, which has a negative impact on the formation of a culture of safety for future professionals. In such conditions, the important task of teachers, during the preparation of specialists, is to find effective ways, methods and means of activating educational process in order to form the basis of a work-based outlook for students, oriented to the implementation of effective professional activity through the formation of responsibility for personal and collective safety, and awareness of the need for full implementation of all measures that guarantee the safety and hygiene of the workplace.

For the national higher education, the traditional approach to teaching is an object-oriented approach, where objects and phenomena rather than problems are offered for the sake of learning. But it should be emphasized that this approach shows poor efficiency, as it does not contribute to the systematic solution of problems arising in the field of human health activities. The formation of students not only the ability to solve professionally-oriented tasks, but also the willingness to make responsible decisions, the ability to creative level of their own professional activity is ensured by applying a subject-activity approach [12]. This approach allows you to transform a student from an object into a subject of study, to create the most favorable conditions for the development and reveal of his abilities, orientates not only the assimilation of knowledge, but also the ways of this assimilation,

thinking and activity, the development of cognitive forces and creative student's potential. However, given the peculiarities of the discipline, and the general tendencies to reduce the volume of classroom work and increase the amount of time spent on independent work of the student, this approach in practice is quite difficult to implement.

Taking into account global trends, Ukrainian higher education is consistently switching to the use of "third generation" higher education standards, based on the development of a competent approach, as one of the new conceptual guidelines, directions of development of educational content in Ukraine and developed countries [13].

As noted above, the hallmark of a business game is the presence of a simulation model. The structure of a business game includes the following main stages: preparatory, conducting the game, analyzing and summarizing its results. [14] Development begins with defining the purpose and objectives of the game, formulating requirements for players. The purpose of the game has two aspects: motivational and didactic.

Let's consider a step-by-step algorithm for investigating workplace accidents that was conducted with college students. After studying the topic: "Investigation procedure and accounting for accidents, occupational diseases and industrial accidents" and familiarization with the provisions of LAOS 0.00-6.02-19 (Legal act on Occupational safety), offer a production situation with a description of the circumstances of the accident in accordance with the application "Input data of business games". Students are formed to investigate the production situation, determine the duties, functions and rights of each member of the commission. Each group is provided by LAOS 0.00-6.02-19, forms of primary documentation on safety, photos, posters, schemes of the scene of the accident, task forms.

A plan of an investigation into the proposed example of an industrial accident is outlined. Formed groups of students are invited to investigate the production situation that led to the accident, record the information received on the form of the act of investigation, encode it, sign the act by members of the commission. Groups of participants should analyze the degree of completeness and objectivity of the investigation process for the proposed game situation and make conclusions about the completion of the investigation, register the accident in a special journal, prepare a draft order of the head of the company on measures to prevent accidents in the structural subdivision, where the accident took place.

Stages and sequence of conducting a business game (fig. 1). The teacher gives general tasks for conducting business game and proposes to organize subgroups. Each member of the subgroup must carry out the activities of the employee of the company according to the list of duties outlined in the LAOS 0.00-6.02-19. The members of the commission shall choose the functions of the members of the business game independently.

During the investigation of an accident, each subgroup (commission) makes its own decision: to supplement the missing information; identification of the circumstances of the accident, the type of event and its cause; measures to eliminate the causes of the accident; and the executors of the proposed activities and timing;

persons guilty of violating labor law and labor safety standards.

Stages and sequence of conducting a business game.

Stage I. Introduction to the game situation.

Each subgroup of students receives initial information about the game situation (circumstances in which the accident occurred).

Stage II. Establishing the causes of an accident. Students, using regulatory documentation (LAOS 0.00-6.02-19) and general accident information, model the accident investigation.

In conducting the investigation, attention should be paid to the following points:

1) to ascertain the objective conditions under which the accident occurred, its suddenness and the duration of the event (instantaneously or for some time), whether it was possible to prevent a work injury; establish the circumstances and nature of the accident;

2) to nominate and check the versions of the causes of the accident on the basis of discussion of general information about the event;

3) to evaluate the level of organizational work on occupational safety at the enterprise and in the unit where the accident occurred: the presence (or absence) of company head's order on the responsibility of officials for the state of occupational safety at the enterprise; training of workers on labor protection issues; compliance of the existing state of workplace safety with the requirements of normative documentation on labor protection; provision of workplaces with instructions on safety, visual means of promoting safe methods of work execution; the use of collective and individual protection of workers from the effects of dangerous and harmful factors of production, etc.;

4) record information about the victim: gender, age, qualification and experience of work, availability of a document for the right to work at the object of trauma, health status - conclusion of medical examinations, contract for performance of work, etc.;

5) describe the technical condition of the technological equipment (machines, equipment, devices, etc.), whether they meet the safety requirements, whether there is technical documentation, what is the periodicity of maintenance, the degree of wear;

6) to assess compliance of sanitary and hygienic working conditions in the structural subdivision with normative documents on labor protection;

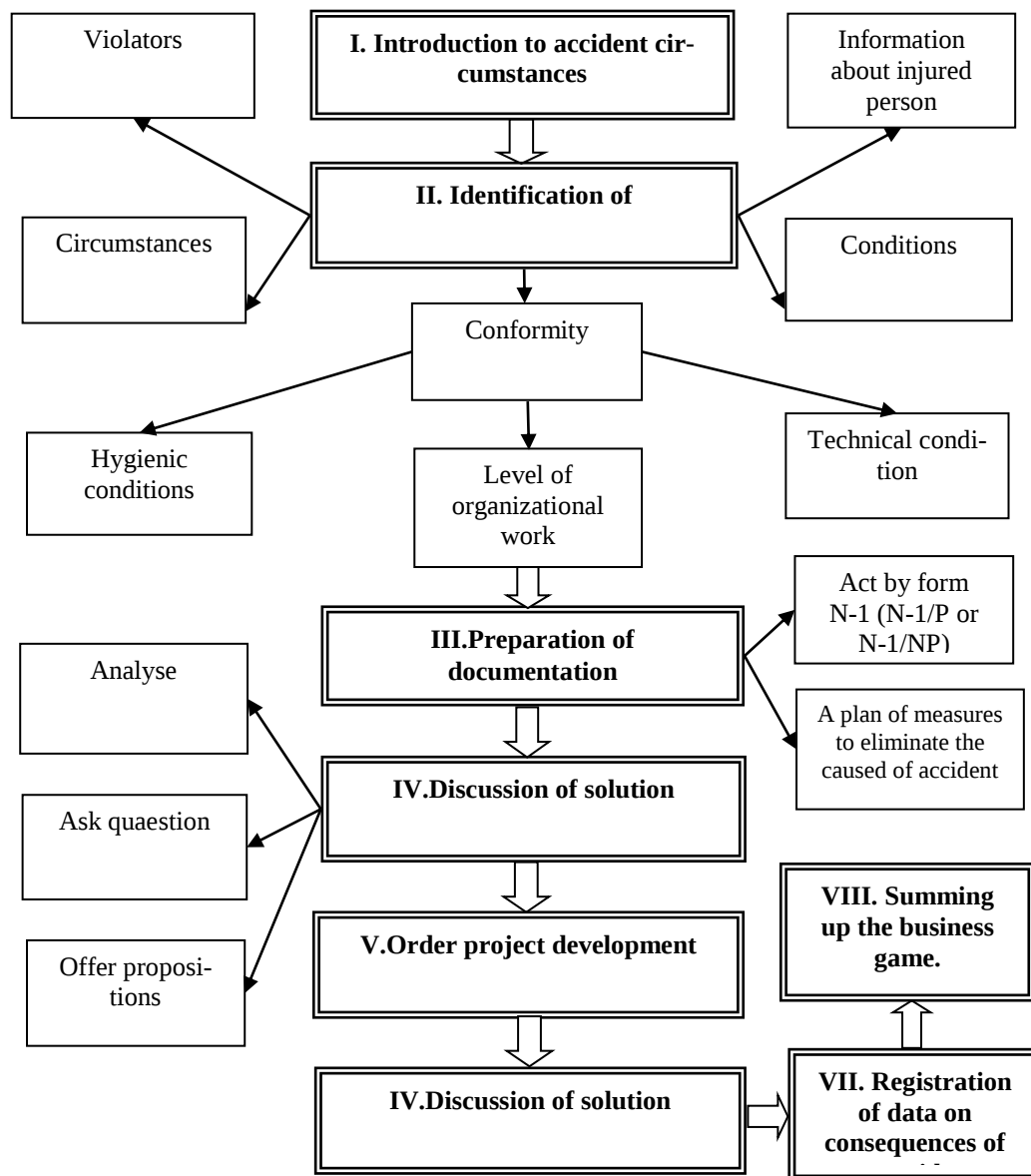
7) to classify the relationship of the event type with the working conditions (according to the LAOS 0.00-6.02-19).

Stage III. Preparation of accident documentation. Once the game situation data is received, the members of the commission of inquiry established discuss the available accident information. A sub-group (commission) of students should develop a plan of action to address the causes of the accident. To this end, each student submits proposals to an action plan based on their functional responsibilities as a member of the inquiry committee. Then, in the subgroup discuss the developed measures, fill in the items of the act of inquiry in the form of N-1, determine whether or not an accident related to the production. If an accident is considered production related, it is denoted by a capital letter P (N-1/P), if not production

related, by capital letters NP (N-1/NP). Identify workers-violators of labor safety standards.

Stage IV. General discussion of the results of the third stage of the investigation. The decisions taken are discussed between the commissions (sub-groups) or be-

tween the representatives of the sub-groups (members of the commission). Each subgroup offers its own version of the investigation materials, substantiates its decisions included in the act of investigation.



**Fig. 1.** Stages and sequence of conducting a business game "Investigation procedure and accounting for accidents, occupational diseases and industrial accidents".

Business game participants analyze the content of speeches, ask questions, make suggestions for changes to the text in conflicting points of the act of investigation.

Stage V. Developing a draft accident order. Students develop a draft order based on the results of the investigation, discuss it in subgroups and submit it to the manager of the business game.

Stage VI. Registration of item 9 of the act of investigation in the form N-1. Students are provided with additional information that describes the consequences of the accident. The subgroups complete paragraph 9 of the N-1 investigation act and discuss the consequences of completing the steps.

VII stage. Registration of materials on consequences of an accident. In each subgroup, the certificate of the

consequences of an accident with the victim is drawn up in the form of a form corresponding to the logbook for the account of accidents, and also fill in paragraphs 4 - 7 of the act of inquiry in the form N-1.

VIII stage. Summing up the business game. The results of the business game are conducted by the teacher. Based on the established criteria, he evaluates the work of subgroups and each student. Draws general conclusions about conducting a business game based on the points received by each participant and gives each student an assessment. The report of the participant of the game for the completed work (business game) is a properly executed act in the form of N-1 on a specific accident with the signature of all members of the commission. Having checked the correctness of the registration of the act of

investigation, the teacher signs it on the first page of the document in the stamp "Approved".

Developed business game "Procedure for investigation and accounting of accidents, occupational diseases and accidents at work" will facilitate the acquisition of skills in working with normative legal acts on occupational safety and reference literature, the ability to independently solve the issues of occupational safety, gain experience and study experience, developing a plan of action to address the causes of an accident in making decisions to prevent injury to employees. Manufacturing practice shows that only the knowledge that a student has gained through his or her own experience, search and understanding becomes his or her property [7]. The task of the business game in the field of labor protection disciplines is to supplement and consolidate the knowledge acquired during the study of the theoretical course of labor protection, to activate the creativity of students.

### Conclusions

1. Developed and grounded methodology of business games "Procedure for investigation and accounting of accidents, occupational diseases and accidents at work" in the process of teaching students will provide an opportunity to combine theoretical knowledge in practice, the speed of learning new skills, the ability to make independent decisions.

2. The described method of preparation and conduct of a business game can be used as one of the active methods of teaching, which allow students to act independently in the simulated situation. Analysis of the development of the situation, different ways of solving it, actions, methods and ways of solving critical situations contributes to a significant improvement of the quality of the educational process and the accumulation of experience.

3. The use of business games in the classroom will help to identify weaknesses and gaps in knowledge, building confidence in their skills, reducing the psychological barrier and accelerating adaptation in production conditions, the formation of internal need and importance in training.

### References

1. Lipkovich I. E., Taran E. A., Orischenko I. V. (2015). Business games: a textbook: Azov-Black Sea Engineering Institute in Zernograd. Zernograd. 63.
2. Rogozhin, M. Y. Occupational safety in educational organizations. Moscow. Alpha - Press, 2013. 400.
3. Vanyushin V. N., Gvozdkov S. V., Lavrentyev A. R., Orlova L. A. (2015). Businessgame in training: a scientific and practical search. Dzerzhinsk: Kon-Cord Publishing House. 131.
4. Orlova L. A. (2015). Law and Rules of the Game: Monograph, ed. Doctor of Law, prof. V.M. Baranova. Moscow. Yurлитinform Publishing House. 230.
5. Dereza O. O., Dereza S. V. (2017). Business Game and its Possibilities in the Professional Training of Future Engineers. Collection of scientific and methodological works: Improvement of the educational process in higher education. No. 20. Melitopol. 100-105.
6. Surgova S. Yu. (2018). Using a business game in the process of forming the creative personality of future social workers. Pedagogy of formation of creative personality in higher and general education schools: Coll. Sciences. BC Zaporozhye: KPU. Issue. 60. T. 2. 168-172.
7. Voloshina O. I. (2015). Formation of professional skills in the process of independent work of students. Scientific notes. Series: Problems of Methods of Physical, Mathematical and Technological Education. Issue. 7 (I). 121-124.
8. Zel'dovich B. Z. (2011). Business games in the management of printing and publishing processes: textbook. manual; Mosk. state. their ovens. Ivana Fedorova. Moscow. MGUP them. Ivan Fedorova. 232.
9. Oliynyk N. A. (2018). Teaching Methods of Future Agro-Engineers. Pedagogics of Creating Creative Personality in Higher and General Education Schools: Coll. Sciences. BC - Zaporozhye: KPU. Issue. 60. vol. 2. 134-138.
10. Vasilenko O. V. (2015). Experience of application of modern methods of training in the preparation of specialists of restaurant business in higher educational establishments. Scientific Notes. Series: Problems of Methods of Physical, Mathematical and Technological Education. Issue. 7 (I). 118-121.
11. Litvinov A. S. (2017). Pedagogical Provision of Innovations in Education: Educ. manual for the general Sciences. ed. ped. Prof. V.V. Borisova. Sumy. University Book. 265.
12. Litvinov A. S. (2017). Pedagogical Provision of Innovations in Education: Educ. manual for the general Sciences. ed. ped. Prof. V.V. Borisova. Sumy. University Book. 265.
13. Zakharenko V. O., Yurchenko M. A. (2018). Quality of education, problems and directions of solution of questions of training of specialists. Modernization of higher education and problems of management of quality of training of specialists. Organization of the system of interaction. KhDUKHT. 155-156.
14. Lebedeva Y. V. (2015). Problems of implementation of innovative technologies in the educational process of the university. Professional education in the modern world. No. 2 (17). 146-158.
15. Gorelkov D. V., Chervony V. M., Dmitrevsky D. V., Chervony M. V. (2018). Improving the effectiveness of quality management of interaction in the system of "higher technical education - business". Modernization of higher education and the problems of quality management training of specialists. Organization of the system of interaction "higher education - the labor market. KhDUKHT. 135-136.
16. Chorna O. G. (2015). Topical problems of teaching the disciplines of the cycle of life safety in modern conditions. Didactics of physics as a conceptual basis for the formation of competence and outlook qualities of a future specialist of physical and mathematical profile: collection of materials of the X International: scientific conference. Kamianets-Podilsky: LLC "Ruta Printing House". 172. 117-119.
17. Safranov T. A., Lukashov D. V., Shelest Z. M., Vladimirova O. G., Chugay A. V. (2017). Standards of

higher ecological education of Ukraine: current state and problems of implementation. Bulletin of KhNU N. Karazin series "Ecology", issue. 16. 141-149.

### Список літератури

1. *Lipkovich I. E., Taran E. A., Orischenko I. V.* Business games: a textbook: Azov-Black Sea Engineering Institute in Zernograd. Zernograd, 2015. 63 p.
2. *Rogozhin, M. Y.* Occupational safety in educational organizations. Moscow. Alpha - Press, 2013. 400 p.
3. *Vanyushin V. N., Gvozdkov S. V., Lavrentyev A. R., Orlova L. A.* Businessgame in training: a scientific and practical search. Dzerzhinsk: Kon-Cord Publishing House, 2015. 131 p.
4. *Orlova L. A.* Law and Rules of the Game: Monograph, ed. Doctor of Law, prof. V.M. Baranova. Moscow. Yurlitinform Publishing House, 2015. 230 p.
5. *Dereza O. O., Dereza S. V.* Business Game and its Possibilities in the Professional Training of Future Engineers. Collection of scientific and methodological works: Improvement of the educational process in higher education. No. 20. Melitopol, 2017. P. 100-105.
6. *Surgova S. Yu.* Using a business game in the process of forming the creative personality of future social workers. Pedagogy of formation of creative personality in higher and general education schools: Coll. Sciences. BC Zaporozhye: KPU, 2018. Issue. 60. T. 2. P. 168-172.
7. *Voloshina O. I.* Formation of professional skills in the process of independent work of students. Scientific notes. Series: Problems of Methods of Physical, Mathematical and Technological Education, 2015. Issue. 7 (I). P. 121-124.
8. *Zel'dovich B. Z.* Business games in the management of printing and publishing processes: textbook. manual; Mosk. state. their ovens. Ivana Fedorova. Moscow. MGUP them. Ivan Fedorova, 2011. 232 p.
9. *Oliylyk N. A.* Teaching Methods of Future Agro-Engineers. Pedagogics of Creating Creative Personality in Higher and General Education Schools: Coll. Sciences. BC - Zaporozhye: KPU, 2018. Issue. 60. vol. 2. P. 134-138.
10. *Vasilenko O. V.* Experience of application of modern methods of training in the preparation of specialists of restaurant business in higher educational establishments. Scientific Notes. Series: Problems of Methods of Physical, Mathematical and Technological Education, 2015. Issue. 7 (I). P. 118-121.
11. *Litvinov A. S.* Pedagogical Provision of Innovations in Education: Educ. manual for the general Sciences. ed. ped. Prof. V.V. Borisova. Sumy. University Book, 2017. 265 p.
12. *Litvinov A. S.* Pedagogical Provision of Innovations in Education: Educ. manual for the general Sciences. ed. ped. Prof. V.V. Borisova. Sumy. University Book, 2017. 265 p.
13. *Zakharenko V. O., Yurchenko M. A.* Quality of education, problems and directions of solution of questions of training of specialists. Modernization of higher education and problems of management of quality of training of specialists. Organization of the system of interaction. KhDUKHT, 2018. P. 155-156.
14. *Lebedeva Y. V.* Problems of implementation of innovative technologies in the educational process of the university. Professional education in the modern world. 2015. No. 2 (17). P. 146-158.
15. *Gorelkov D. V., Chervony V. M., Dmitrevsky D. V., Chervony M. V.* Improving the effectiveness of quality management of interaction in the system of "higher technical education - business". Modernization of higher education and the problems of quality management training of specialists. Organization of the system of interaction "higher education - the labor market. KhDUKHT, 2018. P. 135-136.
16. *Chorna O. G.* Topical problems of teaching the disciplines of the cycle of life safety in modern conditions. Didactics of physics as a conceptual basis for the formation of competence and outlook qualities of a future specialist of physical and mathematical profile: collection of materials of the X International: scientific conference. Kamianets-Podilsky: LLC "Ruta Printing House", 2015. 172 p. P. 117-119.
17. *Safranov T. A., Lukashov D. V., Shelest Z. M., Vladimirova O. G., Chugay A. V.* Standards of higher ecological education of Ukraine: current state and problems of implementation. Bulletin of KhNU N. Karazin series "Ecology", issue. 16. 2017. P. 141-149.

### ДІЛОВІ ІГРИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ В ЯКОСТІ ІНСТРУМЕНТУ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ СТУДЕНТІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

С. М. Голопура

**Анотація.** Організація навчального процесу студентів вищих навчальних закладів з дисципліни охорона праці має певні особливості, у зв'язку з необхідністю для студентів у вигляді роботи безпеки в Outlook. Крім традиційних форм навчання у сфері професійної дисципліни повинен включати активні засоби навчання, зокрема ділові ігри, що дозволяють студентам моделювати процес майбутньої професійної діяльності студентів з метою набуття професійних навичок у класі навчання.

Мета дослідження полягає в розробці та обґрунтуванні методики проведення ділової гри порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, який дозволить студентам самостійно діяти у змодельованій ситуації, для вирішення конкретно сформульованих задач і проблем, розробити шляхи вирішення.

В даній роботі пропонується покроковий алгоритм розслідування нещасного випадку на виробництві, яка дозволить студентам доповнити і закріпити знання, отримані при вивченні теоретичного курсу, розвитку навичок роботи з нормативно-правовими актами з охорони праці та довідкової літератури. У той же час, студенти адаптуються до необхідності робити якісь зусилля в розумінні положень з охорони праці документи, написані в сухому діловій мові, без пояснення причин.

Відзначається, що отримані знання повинні забезпечуватися придбання навичок для прийняття обґрунтованих рішень про розвиток аварії план, за-

вершуючи Н-1 акт розслідування і здатність самостійно вирішувати питання охорони праці, активізувати творчі здібності учнів і підвищити безпеку роботи.

**Ключові слова:** бізнес-ігри, техніки безпеки, виробничої ситуації, аварії, алгоритм розслідування, оптимальних рішень.

#### ДЕЛОВЫЕ ИГРЫ ПО ОХРАНЕ ТРУДА В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ СТУДЕНТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*С. Н. Голопура*

**Аннотация.** Организация учебного процесса студентов высших учебных заведений по дисциплине охрана труда имеет определенные особенности, в связи с необходимостью для студентов в виде работы безопасности в Outlook. Помимо традиционных форм обучения в области профессиональной дисциплины должен включать активные средства обучения, в частности деловые игры, позволяющие студентам моделировать процесс будущей профессиональной деятельности студентов с целью приобретения профессиональных навыков в классе обучения.

Цель исследования заключается в разработке и обосновании методики проведения деловой игры порядок расследования и учета несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий на производстве, который позволит студентам самостоятельно действовать в смоделированной ситуации, для решения конкретно сформулированных задач и проблем, разработать пути решения.

В данной работе предлагается пошаговый алгоритм расследование несчастного случая на производстве, которая позволит студентам дополнить и закрепить знания, полученные при изучении теоретического курса, развитие навыков в работе с нормативно-правовыми актами по охране труда и справочной литературы. В то же время, студенты адаптируются к необходимости делать какие-то усилия в понимании положений по охране труда документы, написанные в сухом деловом языке, без объяснения причин.

Отмечается, что полученные знания должны обеспечиваться приобретение навыков для принятия обоснованных решений о развитии аварии план, завершая Н-1 расследования акт и способность самостоятельно решать вопросы охраны труда, активизировать творческие способности учащихся и повысить безопасность работы.

**Ключевые слова:** бизнес-игры, технике безопасности, производственной ситуации, аварии, алгоритм расследования, оптимальных решений.



УДК 629.631.554

## ДИГІТАЛІЗАЦІЯ В ЛОГІСТИЦІ ЗА РАХУНОК ВВЕДЕННЯ АЛГОРИТМУ МУРАШИНОЇ ЛОГІСТИКИ

Л. А. Савченко

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: [Lilya\\_savchenko@ukr.net](mailto:Lilya_savchenko@ukr.net).

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.

Бібл. 16, рис. 3, табл. 2.

**Анотація.** Дигіталізація це нове поняття, яке допомагає в транспортній галузі при плануванні маршрутної мережі підвищити їхню ефективність та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Крім того, цифрові платформи стануть надзвичайно важливими в логістичній галузі, адже дозволять малим компаніям отримати глобальний доступ і конкурувати з великими гравцями.

В межах індустрії логістики та ланцюгів поставок спостерігається безліч втрат через ведення непродуктивної діяльності.

Важливість низьких витрат на транспортування і їх подальший вплив на вартість доставки товарів багаторазово збільшують продуктивність і заощадження компанії при інтеграції рішення VRP, тим самим викорінюючи всі сумніви в актуальності дослідження VRP.

**Ключові слова:** логістика, дигіталізація, транспортний процес, інформаційні технології, мурашина логістика.

### Постановка проблеми

З точки зору економічної теорії, поняття транспортної логістики розглядається як планування оптимальних маршрутів вантажоперевезень з мінімізацією витрат, що є особливо актуальним для торгових компаній, щодня доставляють продукцію покупцям.

У зв'язку зі зростаючою завантаженистю автомобільних доріг, водії підприємств часто запізнюються в встановлені тимчасові інтервали доставки, що призводить до повернень продукції, зростання незадоволеності клієнтів, і, в кінцевому рахунку, до втрат виручки і збитків.

Важливість низьких витрат на транспортування і їх подальший вплив на вартість доставки товарів багаторазово збільшують продуктивність і заощадження компанії при інтеграції рішення VRP, тим самим викорінюючи всі сумніви в актуальності дослідження VRP, незважаючи на тривалість існування цієї проблеми.

### Мета досліджень

Впровадження різних алгоритмів для вирішення VRP, перевірши алгоритми з теоретичної моделі в географічну карту міста і оцінити ефективність їх роботи з різними наборами реальних даних і труднощами, що виникають у сфері повсякденних послуг доставки, щоб створити додаток, що застосовує реалізовані алгоритми для створення легких для читання і застосування маршрутних листів і карт доставки товарів.

### Результати досліджень

Класичну модель відрізняють такі особливості:

- наявність всього одного складу, з якого починають рух транспортні засоби;
- всі транспортні засоби є гомогенними, тобто мають однакові характеристики;
- транспортні засоби повертаються в початкову точку маршруту;
- маршрути складаються на один день.

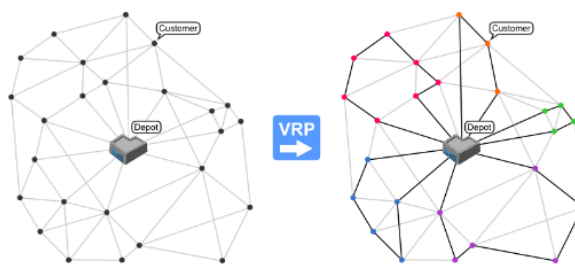


Рис. 1. CMDOVRPTW-модель.

Fig. 1. CMDOVRPTW Model.

Натомість, CMDOVRPTW-модель описують такі особливості, які доповнюють класичну VRP-модель:

- транспортні засоби мають обмеження на вантажопідйомність;
- кожному транспортному засобу присвоюються тимчасові рамки, в які воно може здійснювати свою роботу;
- кожного замовлення також присвоюються тимчасові рамки, в які воно може бути доставлено.

Описувана в цій роботі задача є рішенням насиченої моделі CMDOVRPTW (Capacitated Multiple Depot Open Vehicle Routing Problem with Time Windows) для підприємства «Тернопільський м'ясокомбінат» у Тернополі та Тернопільській області.

Необхідно вирішити задачу розподілу наявного набору замовлень на один день по набору автомобілів і скласти маршрутні листи для кожного з кур'єрів. Позначимо через  $\overline{1, n} = \{1, 2, \dots, n\}$ .

Нехай  $A$  – множина автомобілів.

Задамо на множині  $A$  індексацію  $I: A \rightarrow \overline{1, n}$ , где  $n = |A|$ .

Будемо використовувати позначення  $a_i$  для елемента  $a$  з множини  $A$ , для якого  $I(a) = i$ . Поставимо у відповідність кожному автомобілю  $a_i$  вектор атрибутів, що описують його:

$$(VA_i, VAMP_i, LA_i, LAMP_i, V_i, t_i^s, t_i^f),$$

де  $VA_i$  - вантажопідйомність  $a_i$ -го автомобіля, кг;

$VAMP_i$  - максимальна вага для одного товару в замовленні, що міститься в  $a_i$ -ий автомобіль, кг;

$LA_i$  - місткість  $a_i$ -г о автомобіля в довжину, м;

$LAMP_i$  - максимальна довжина для одного товару в замовленні, що міститься в  $a_i$ -ий автомобіль, м;

$V_i$  - швидкість пересування  $a_i$ -го автомобіля, км / год;

$t_i^s$  - час поява кур'єра на  $a_i$ -му автомобілі на складі (час початку роботи кур'єра), г/х/с;

$t_i^f$  - час доставки кур'єром на  $a_i$ -му автомобілі останнього за часом замовлення (час завершення роботи кур'єра), г/х/с.

Нехай  $Z$  - множина замовлень.

Задамо на множині  $Z$  індексацію

$$I: Z \rightarrow \overline{1, m},$$

де  $m = |Z|$ .

Будемо використовувати позначення  $z_j$  для елемента  $z$  з множини  $Z$ , для якого  $I(z) = j$ .

Поставимо у відповідність кожному замовленню  $z_j$  вектор атрибутів, що описують його:

$$(VZ_j, VZMP_j, LZ_j, LZMP_j, S_j, K_j, T_j^s, T_j^f),$$

де  $VZ_j$  - загальна вага всіх товарів в  $z_j$ -му замовленні, кг;

$VZMP_j$  - максимальна вага одного товару в  $z_j$ -му замовленні, кг;

$LZ_j$  - загальна довжина всіх товарів в  $z_j$ -му замовленні, м;

$LZMP_j$  - максимальна довжина одного товару в  $z_j$ -му замовленні, м;

$S_j$  - адреса складу розміщення  $z_j$ -го замовлення, координати;

$K_j$  - адреса доставки  $z_j$ -го замовлення, координати;

$T_j^s$  - верхня часова межа доставки  $z_j$ -го замовлення, г/х/с;

$T_j^f$  - нижня часова межа доставки  $z_j$ -го замовлення, г/х/с.

Нехай  $\wp$  - множина планів доставки замовлень на обраний день. План доставки замовлень складається з

множини різних листів доставки замовлень, що описують маршрут кожного з автомобілів.

$$\wp = \{P_1, P_2, \dots, P_n\},$$

Нехай  $P$  - множина різних листів доставки замовлень.

Елемент цієї множини  $P$  являє собою множину маршрутних листів.

$$P = \{M_1, M_2, \dots, M_n\},$$

де маршрутний лист  $M_i$  є упорядкованим набором  $(Z_{p_1^i}, Z_{p_2^i}, \dots, Z_{p_{m_i}^i})$  замовлень, що задовольняють співвідношенню

$$p_k \neq p_j \Rightarrow Z_{p_k^i} \neq Z_{p_j^i}$$

Тут  $m_i$  - множина замовлень в маршрутному листі  $M_i$ .

Позначимо через  $\mathcal{M}_i = \{Z_{p_j^i} | j \in \overline{1, m_i}\}$  множину замовлень маршрутного листа  $M_i$ .

Дані множини мають наступні властивості:

1. Всі замовлення повинні бути розподілені за маршрутними листами так, що індекс одного замовлення повинен зустрічатися не більш ніж один раз серед усіх маршрутних листів.

2. Для кожного з автомобілів сумарна вага всіх замовлень цього автомобіля не повинен перевищувати вантажопідйомність автомобіля. [дод.1]

3. Для кожного з автомобілів сумарна довжина всіх замовлень цього автомобіля не повинна перевищувати встановлену загальну довжину замовлень автомобіля.

4. Для кожного замовлення кожного з автомобілів максимальна вага будь-якого товару не повинен перевищувати допустимий показник ваги одного товару цього автомобіля.

5. Для кожного замовлення кожного з автомобілів максимальна довжина будь-якого товару не повинна перевищувати допустимий показник довжини одного товару цього автомобіля.

6. Для кожного автомобіля розрахований час доставки останнього замовлення не повинно перевищувати встановлений час роботи даного кур'єра.

7. Для кожного замовлення кожного з автомобілів розрахований час доставки замовлення повинен знаходитися в межах інтервалу часу доставки, встановленого для цього замовлення.

Постановки завдання можуть бути описані такими способами в залежності від застосовуваного критерію оптимізації:

1. Найменший час доставки усіх замовлень

$$K(P_0) = \max_{i \in \overline{1, n}} (T_i^s + \frac{dis_i(m_i)}{V_i})$$

2. Найменша кількість кур'єрів, використаних для доставки замовлень

$$isListEmpty(M_i) = \begin{cases} 1, & |M_i| = \emptyset \\ 0, & \text{у решті випадків} \end{cases}$$

Алгоритми локального пошуку (Local Search Algorithms) полягають у випадковій ініціалізації початкового рішення і поступового перетворення даного рішення у все більш і більш оптимальне. На кожному циклі виконання алгоритму береться поточне рішення і розглядається набір сусідніх рішень (рішення в околиці, neighborhood solutions), в

які поточне рішення може бути переведено за допомогою одного елементарного зміни (рух, move). З рухів вибирається найбільш оптимальний (що дає максимальне значення оціночної функції, що відповідає обраному критерію оптимізації - мінімальний час доставки замовлень, мінімальне число задіяних транспортних засобів, мінімальне покриття відстань). Якщо воно задовольняє критеріям (є прийнятним, acceptable), властивим конкретному алгоритму локальної оптимізації, то поточне рішення замінюється на вбрання оптимальне з околиці (крок, step) і цикл виконання алгоритму запускається заново для нового рішення.

Локальні алгоритми мають загальний вигляд, описаний в схемі 1.

**Input:** Cost() – function, determining cost of the solution, which algorithm is trying to maximize  
**Output:** solution  $X_{best}$   
 1: **function** LocalSearch(Cost())  
 2:  $X_{best} \leftarrow$  randomly create initial solution;  
 3: **while** not terminated **do**  
 4:  $neighbors \leftarrow$  choose Neighborhood solutions;  
 5:  $X_{cur} \leftarrow$  choose solution with the best Cost() from  $neighbors$ ;  
 6: **if** (Cost( $X_{cur}$ ) is acceptable comparing to Cost( $X_{best}$ ))  
 7:  $X_{best} \leftarrow X_{cur}$ ;  
 8: **else**  
 9: **return**  $X_{best}$ ;  
 10: **end if**  
 11: **end while**  
 12: **end function**

#### Схема 1. Local Search Algorithm

#### Scheme 1. Local Search Algorithm

Для ініціалізації первинного рішення використовується евристичний алгоритм First Fit (пошук першого підходящого), що полягає в поступовому розподілі всіх наявних замовлень за маршрутними листами так, щоб мінімізувати обраний для основного алгоритму пошуку рішення критерій оптимізації

Hill Climbing Algorithm (Simple Local Search Algorithm) є локальним оптимізаційним алгоритмом максимізації оцінної функції. Даний алгоритм бере всі кроки з поточної околиці, вибирає з них оптимальний варіант.

Псевдокод алгоритму наведено в схемі 2.

**Input:** Cost() – function, determining cost of the solution, which algorithm is trying to maximize  
**Output:** solution  $X_{best}$   
 1: **function** HillClimbing(Cost)  
 2:  $X_{best} \leftarrow$  randomly create initial solution;  
 3: **while** true **do**  
 4:  $neighbors \leftarrow$  GetAllNeighborSolutions( $X_{best}$ );  
 5:  $X_{cur} \leftarrow$  select solution with highest cost from  $neighbors$ ;  
 6: **if** (Cost( $X_{cur}$ )  $\geq$  Cost( $X_{best}$ ))  
 7:  $X_{best} \leftarrow X_{cur}$ ;  
 8: **else**  
 9: **return**  $X_{best}$ ;  
 10: **end if**  
 11: **end while**  
 12: **end function**

#### Схема 2. Hill Climbing Algorithm

#### Scheme 2. Hill Climbing Algorithm

Tabu Search (метод табу-пошуку) так само, як і Hill Climbing Algorithm, шукає оптимальне значення оціночної функції на всіх рішеннях з околиці поточного, але виключає з них ті, руху до яких

зачіпають об'єкти, що містяться в табу-списку. Табу-список являє собою набір об'єктів, що не мають право брати участь в русі. У список об'єкти потрапляють після вибору відповідного кроку, що зачіпає їх, на поточному циклі виконання алгоритму.

Псевдокод алгоритму наведено в схемі 3.

**Input:** Cost() – function, determining cost of the solution, which algorithm is trying to maximize;  
 tabuSize – number of elements in tabu list.  
**Output:** solution  $X_{best}$   
 1: **function** HillClimbing(Cost, tabuSize)  
 2:  $X_{best} \leftarrow$  randomly create initial solution;  
 3:  $tabuList \leftarrow \{\}$ ;  
 4: **while** true **do**  
 5:  $neighbors \leftarrow$  GetAllNeighborSolutions( $X_{best}$ );  
 6:  $notTabuedNeighbors \leftarrow neighbors \setminus tabuList$  ;  
 7:  $X_{cur} \leftarrow$  select solution with highest cost from  $notTabuedNeighbors$  ;  
 8: **if** (Cost( $X_{cur}$ )  $\geq$  Cost( $X_{best}$ ))  
 9:  $X_{best} \leftarrow X_{cur}$ ;  
 10:  $tabuList \leftarrow tabuList \setminus tabuList[size(tabuList) - tabuSize]$ ;  
 11:  $tabuList \leftarrow tabuList \cup X_{cur}$ ;  
 12: **else**  
 13: **return**  $X_{best}$ ;  
 14: **end if**  
 15: **end while**  
 16: **end function**

#### Схема 3. Tabu Search.

#### Scheme 3. Tabu Search.

На відміну від двох попередніх алгоритмів, Simulated Annealing розглядає не всі рухи в околиці, що значно підвищує швидкість виконання цього алгоритму. Перегляд рухів переривається при знаходженні першого підходящого руху, яке і стає оптимальним кроком на цьому циклі. Рух вважається придатним, якщо він призводить до вирішення, що не зменшує значення оціночної функції щодо поточного рішення, або ж зменшує, але проходить випадкову перевірку.

Late Acceptance Hill Climbing Algorithm так само, як і Simulated Annealing, розглядає тільки частину рухів в околиці. Рух може бути вибрано як крок у випадку, якщо воно призводить до вирішення, що не зменшує значення оціночної функції для поточного оптимального рішення, або ж до вирішення з не меншим значенням рахунки, ніж у оптимального рішення певного числа циклів назад.

Step Counting Hill Climbing Algorithm відрізняється від Late Acceptance Hill Climbing Algorithm тим, що замість порівнювання можливих рухів з рахунком оптимального рішення певне число циклів назад даний алгоритм зберігає одну порогову оцінку протягом декількох циклів, вибираючи наступні руху тільки в тому випадку, якщо вони не знижують даний поріг.

Описаний далі генетичний алгоритм оптимізації відрізняється від попередніх алгоритмів тим, що є глобальним, а не локальним алгоритмом оптимізації.

Порівняння результатів застосування реалізованих алгоритмів для вирішення VRP-задач, може бути описано наступним чином:

#### 1) Hill Climbing Algorithm

Алгоритм показав найбільш швидке отримання результату серед інших алгоритмів, але результати вийшли гіршими за якістю через нездатність алгоритму обходити локальні максимуми.

## 2) Tabu Search - Simulated Annealing - Late Acceptance Hill Climbing Algorithm - Step Counting Hill Climbing Algorithm

Результати тестування даних алгоритмів об'єднані через схожість їх роботи, так як все є локальними алгоритмами оптимізації, зосередженими на вирішенні проблеми уникнення локальних максимумів і пошуку глобального максимуму значення оціночної функції. Через додаткових умов вибору чергового рішення в якості оптимального на кожному циклі алгоритми працювали довше, ніж простий алгоритм локального пошуку, а й отримані результати виявилися набагато ефективніше за значеннями оціночної функції. Кращі результати за значенням оціночної функції були показані алгоритмом Simulated Annealing (але цим алгоритмом потрібно більше ітерацій для знаходження рішення, що виражалося в більшій тривалості роботи), результати ж інших трьох алгоритмів не сильно відрізнялися один від одного по ефективності і швидкості при повторних запусках на одних і тих же даних.

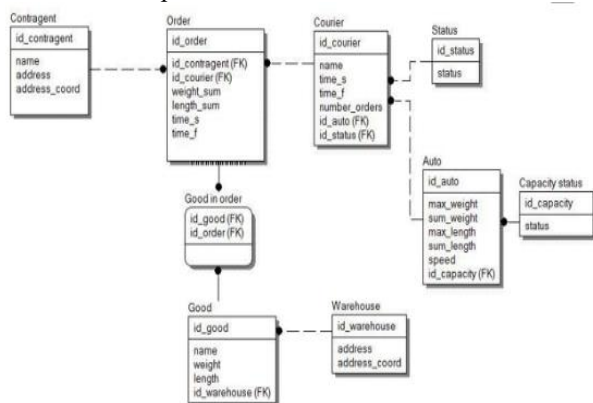
## 3) Genetic Algorithm.

Результати застосування генетичного алгоритму оптимізації виявилися гіршими результатів всіх інших алгоритмів, за винятком Hill Climbing Algorithm. Відбулося це на більшій часу пошуку рішення, що пояснюється необхідністю оцінювати і перевіряти на кожному циклі зміни популяції велике число рішень.

Для написання програми були використані мови PHP, JavaScript і мову розмітки HTML. Вибір обґрунтований специфікою даних мов, спрямованої на створення web-додатків, що було основною вимогою по створенню інтерфейсу додатку. Також важливу роль зіграли реалізації API зовнішніх систем, з якими додатком потрібно працювати, а саме GoogleMaps і геокодер Google, мають реалізацію якраз для вищеприказаних мов.

Для написання програми використовувалися php-бібліотеки "curl" і "SimpleXML", що забезпечують роботу з HTTP-запитами і xml-форматом даних відповідно. HTTP-запити використовувалися для роботи з методами відомого API, а xml-формат використовувався для роботи з Excel-документами.

## Модель спроектованої бази даних



Середовищем розгортання даної моделі став MS SQL Server 2014 року, який використовується компанією-замовником в силу своєї простоти в

обслуговуванні і підтримці, а також легкості розгортання і масштабованості.

Як приклад, розглянемо один з «проблемних» днів з 35 контрагентами (включаючи фірму-постачальника). Аналізований день був проблемним для компанії, оскільки компанія зазнавала збитків з вини одного з водіїв в розмірі 5430 гривень.

Контрагенти, у даному випадку це фірмові магазини, торгові мережі та ресторани.

Водій, не встигнувши до покупця, був оштрафований поверненням продукції в повному розмірі. Компанія намагалася зробити дане замовлення пріоритетним, що призвело до запізненнь до наступним покупцям в центрі міста. Таким чином, фірма має такі проблеми, які будуть вирішені в ході проведеного дослідження:

- Формування послідовності обслуговування покупців;
- Скорочення втрат продукції, як в досліджуваній заявці, так і в ряді інших;
- Оптимальний розподіл завантаженості водіїв.

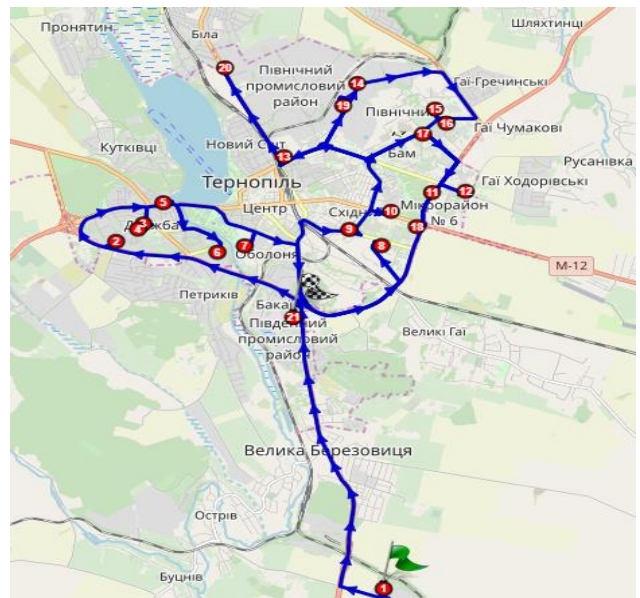


Рис. 2. Початковий маршрут.

Fig. 2. Hiking route.

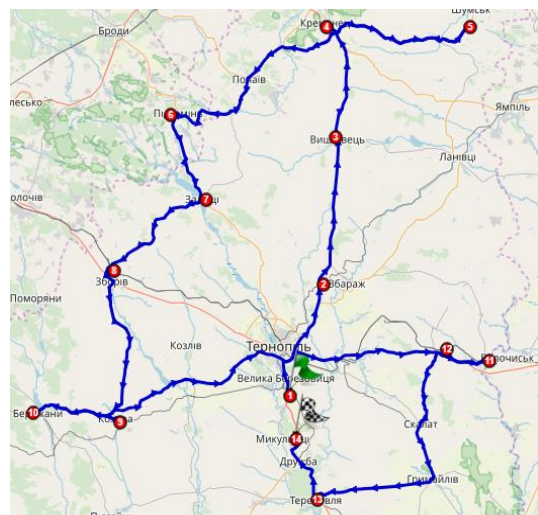


Рис. 2. Оптимізований маршрут.

Fig. 2. Optimization Route.

**Таблиця 1.** Маршрут доставки товару контрагентам по місту.**Table 1.** Route of delivery of goods to counterparties by city.

| №  | Контрагент                         | Початок | Кінець | Прибуття | Відбуття | Розвантаження | Простій | Запізнення |
|----|------------------------------------|---------|--------|----------|----------|---------------|---------|------------|
| 1  | ТОВ «Тернопільський м'ясокомбінат» | -       | -      | 11:00    | 11:00    | -             | -       | -          |
| 2  | Піцерія «Фламінго»                 | 11:00   | 11:30  | 11:12    | 11:19    | 00:07         | -       | -          |
| 3  | Фірмовий магазин №1                | 11:00   | 12:00  | 11:25    | 11:28    | 00:03         | -       | -          |
| 4  | Студія м'яса №1                    | 11:00   | 12:00  | 11:37    | 11:45    | 00:08         | -       | -          |
| 5  | Ресторан «Хуторок»                 | 12:30   | 13:00  | 12:20    | 12:33    | 00:03         | -       | 00:17      |
| 6  | Фірмовий магазин №2                | 11:00   | 19:00  | 13:03    | 13:09    | 00:06         | -       | -          |
| 7  | Фірмовий магазин №3                | 12:30   | 13:30  | 13:11    | 13:14    | 00:03         | -       | -          |
| 8  | Фірмовий магазин №4                | 12:00   | 13:30  | 13:19    | 13:28    | 00:09         | -       | -          |
| 9  | Студія м'яса №1                    | 13:00   | 14:00  | 13:34    | 13:39    | 00:05         | -       | -          |
| 10 | ТЦ «Оріон»                         | 11:00   | 14:00  | 13:48    | 13:51    | 00:03         | -       | -          |
| 11 | NOVUS                              | 14:00   | 15:00  | 13:55    | 14:05    | 00:05         | -       | 00:08      |
| 12 | Ресторан "Західний"                | 13:30   | 15:30  | 14:08    | 14:15    | 00:07         | -       | -          |
| 13 | Студія м'яса №2                    | 13:30   | 17:30  | 14:20    | 14:28    | 00:08         | -       | -          |
| 14 | Студія м'яса №3                    | 14:00   | 20:00  | 14:35    | 14:43    | 00:08         | -       | -          |
| 15 | Студія м'яса №4                    | 13:30   | 18:30  | 14:47    | 14:50    | 00:03         | -       | -          |
| 16 | ТЦ «Подoliaни»                     | 15:00   | 16:00  | 14:57    | 15:07    | 00:07         | 00:03   | -          |
| 17 | ТОВ «Еверест»                      | 14:00   | 17:00  | 15:11    | 15:18    | 00:07         | -       | -          |
| 18 | ТЦ Північний                       | 13:00   | 18:00  | 15:30    | 15:35    | 00:05         | -       | -          |
| 19 | ТОВ «Клуб м'яса»                   | 15:00   | 19:00  | 16:50    | 16:54    | 00:04         | -       | -          |
| 20 | Студія м'яса №5                    | 12:00   | 18:00  | 17:06    | 17:11    | 00:05         | -       | -          |
| 21 | Кафе «Склянка»                     | 15:00   | 19:00  | 17:15    | 17:24    | 00:07         | -       | -          |

### Висновки

1. Генетичний алгоритм розвиває покоління (набір) індивідумів, представлених у вигляді хромосом, створюючи нові покоління нащадків за допомогою внесення змін в дані, до тих пір, поки не будуть досягнуті певні критерії параметрів завершення алгоритму. До таких критеріїв в описуванні реалізації алгоритму відноситься значення максимального числа поколінь. По завершенню виконання алгоритму, найкраща вироблена хромосома в поколінні розшифровується і вибирається в якості шуканого рішення.

2. Для вирішення завдання VRP за допомогою генетичного алгоритму оптимізації була обрана модель представлення кожного індивідуума в поколінні (що означає одне рішення) тільки однієї хромосомою, де кожна хромосома виглядає як ланцюжок замовлень і транспортних засобів. Транспортні засоби є роздільниками між маршрутними листами, а замовлення, розташовані після таких роздільників, показують свою приналежність до певного маршруту.

3. Створення нового покоління включає в себе три стадії: селекція частини індивідумів з поточного покоління з найкращими показниками оціночної

функції; випадковий вибір набору пар індивідумів з поточного покоління і рекомбінація генів в хромосомах (операція кросинговеру) обраних батьків всередині пари для отримання двох нащадків; мутація генів нащадків для збільшення диверсифікації індивідумів (рішень).

4. Описані стадії створюють зі старого покоління нове, з одного боку зберігаючи якість у вигляді набору кращих хромосом, а з іншого - додаючи операцією кросинговеру і мутацією диверсифікацію в набір рішень нового покоління.

5. Перше покоління виходить аналогічно стартовому рішенням для алгоритмів локального пошуку, описаних раніше, за допомогою евристики First Fit, яку запускає певну кількість разів для списків замовлень в різних послідовностях. Псевдокод алгоритму наведено в додатку 3.

6. В результаті проведеного дослідження компанія вирішила такі питання:

а) формування послідовності обслуговування покупців;

б) скорочення втрат продукції, як в досліджуваній заявці, так і в ряді інших;

в) оптимальний розподіл завантаженості водіїв.

## Список літератури

1. *Arbelaitz O., Rodriguez C.* Low cost parallel solutions for the VRPTW optimization problem. *International Journal of Computational Science and Engineering*. 2005. T. 1. №. 2-4. С. 175-182.
2. *Blasum U., Hochstättler W.* Application of the branch and cut method to the vehicle routing problem. *Zentrum für Angewandte Informatik Köln Technical Report zpr2000-386*. 2000.
3. *Bräysy O., Hasle G., Dullaert W.* A multi-start local search algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*. 2004. T. 159. №. 3. С. 586-605.
4. *Burke E. K., Bykov Y.* The late acceptance hill-climbing heuristic. *University of Stirling, Tech. Rep.* 2012.
5. Local search algorithms [Електронний ресурс] – Режим доступа: [https://www.cs.unc.edu/~lazechnik/fall10/lec06\\_local\\_search.pdf](https://www.cs.unc.edu/~lazechnik/fall10/lec06_local_search.pdf).
6. SimpleXML [./en/book.simplexml.php].
7. Vehicle routing & scheduling [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://www.opendoorlogistics.com/software/vehicle-routing-scheduling>.
8. *Jaszkiewicz A., Kominek P.* Genetic local search with distance preserving recombination operator for a vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. 2003. T. 151. №. 2. С. 352-364.
9. *Аникин Б. А.* Логистика: учебник. Под ред. Б. А. Аникина. Москва. Инфра-М, 2006.
10. *Иванов, Д. А.* Управление цепями поставок. Издательство Политехнического университета, 2009. 659 с.
11. *Пелих С. А.* Организация производства в условиях переходной экономики. Право и экономика, 2009. 576 с.
12. *Стерлигова А. Н.* Управление запасами в цепях поставок: учебник. ИНФРА-М, 2009. 428 с.
13. *Гаджинский А. М.* Основы логистики: учебное пособие. Москва. ИВЦ «Маркетинг», 2002.
14. *Бажин И. И.* Логистика: компакт-учебник. Харьков. Консум, 2003.
15. *Новиков О. А., Уваров С. А.* Логистика: учебное пособие. Санкт-Петербург. Бизнес-пресса, 1999. 208 с.
16. *Неруш Ю. М.* Логистика: учебник. Москва. 2008. 517 с.
4. *Burke E. K., Bykov Y.* (2012). The late acceptance hill-climbing heuristic. *University of Stirling, Tech. Rep.*
5. Local search algorithms [Electronic resource] - Access mode: [https://www.cs.unc.edu/~lazechnik/fall10/lec06\\_local\\_search.pdf](https://www.cs.unc.edu/~lazechnik/fall10/lec06_local_search.pdf)
6. SimpleXML [./en/book.simplexml.php].
7. Vehicle routing & scheduling [Electronic resource]. Access mode: <http://www.opendoorlogistics.com/software/vehicle-routing-scheduling>.
8. *Jaszkiewicz A., Kominek P.* (2003). Genetic local search with distance preserving recombination operator for a vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. T. 151. No. 2. 352-364.
9. *Anikin B. A.* (2006). *Logistika: Textbook* / Ed. B.A. Anikina. Moscow. Infra-M.
10. *Ivanov D. A.* (2009). *Supply chain management*. The Publishing House of the Polytechnic University. 659.
11. *Pelikh S. A.* (2009). *Organization of production under the conditions of a transitional economy*. Law and Economics. 576.
12. *Sterligova A. N.* (2009). *Management of supplies in supply chains: a textbook*. INFRA-M. 428.
13. *Gadzhinsky A. M.* (2002). *Fundamentals of Logistics: A Study Guide*. Moscow. IEC "Marketing".
14. *Bazhin I. I.* (2003). *Logistics: Compact tutorial*. Kharkiv. Consum.
15. *Novikov O. A., Uvarov S. A.* (1999). *Logistics: Study. help*. St. Petersburg. Business Press. 208.
16. *Nerush Y. M.* (2008). *Logistika: textbook*. 517.

# ДИГИТАЛИЗАЦІЯ В ЛОГІСТИКЕ ЗА РАХУН ВВЕДЕНИЕ АЛГОРИТМА МУРАВЬИНОЙ ЛОГИСТИКИ

Л. А. Савченко

**Аннотация.** Дигитализация это новое понятие, которое помогает транспортной отрасли при планировании маршрутной сети повысить их эффективность и минимизировать негативное влияние на окружающую среду. Кроме того, цифровые платформы станут чрезвычайно важными в логистической отрасли, ведь позволят малым компаниям получить глобальный доступ и конкурировать с крупными игроками. В рамках индустрии логистики и цепях поставок наблюдается множество потерь из-за ведения непродуктивной деятельности. Важность низких затрат на транспортировку и их последующее влияние на стоимость доставки товаров многократно увеличивают производительность и сбережения компании при интеграции решения VRP, тем самым искореняя все сомнения в актуальности исследования VRP.

**Ключевые слова:** логистика, дигитализации, транспортный процесс, информационные технологии, муравьиная логистика.

## DIGITALIZATIONS IN LOGISTICS BY INTRODUCTION OF MURALOG LOGISTICS ALGORITHM

L. A. Savchenko

**Abstract.** Digitization is a new concept that has helped the transport industry in planning its route network

## References

1. *Arbelaitz O., Rodriguez C.* (2005). Low cost parallel solutions for the VRPTW optimization problem. *International Journal of Computational Science and Engineering*. T. 1. No. 2-4. 175-182.
2. *Blasum U., Hochstättler W.* (2000). Application of the branch and cut method to the vehicle routing problem. *Zentrum für Angewandte Informatik Köln Technical Report zpr2000-386*.
3. *Bräysy O., Hasle G., Dullaert W.* (2004). A multi-start local search algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*. T. 159. No. 3. 586-605.

to increase their efficiency and minimize the environmental impact. In addition, digital platforms will become extremely important in the logistics industry, allowing small businesses to gain global access and compete with big players. Within the logistics industry and the supply chain, there are many losses due to unproductive activities. The importance of low transportation costs and their subsequent impact on the cost of delivering goods repeatedly increases the productivity and cost savings of a company when integrating a VRP solution, thus eliminating any doubts about the relevance of the VRP study.

**Key words:** logistics, digitalization, transport process, information technologies, ant logistics.

**Л. А. Савченко** ORCID 0000-0002-4336-4416.



УДК 621.86

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИТРАТ ПОТУЖНОСТІ ПРИ ПЕРЕВАНТАЖЕННІ ТЕЛЕСКОПІЧНИМ ГВИНТОВИМ ТРАНСПОРТЕРОМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВАНТАЖІВ

В. З. Гудь

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція автора: vic\_g@ukr.net.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 8, рис. 3, табл. 1.*

**Анотація.** Розроблено експериментальне обладнання для проведення досліджень телескопічних гвинтових транспортерів, з допомогою якого проведено дослідження даного конвеєра згідно розроблених методик. Для визначення впливу конструктивних і кінематичних параметрів телескопічного гвинтового транспортера на витрати потужності на приводі шнека під час транспортування кукурудзи, пшениці та комбікорму проведено повнофакторні експерименти. Було визначено величину витрат потужності на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу транспортера. Виведено рівняння регресії витрат потужності залежно від зміни частоти обертання шнека, довжини видовження шнека, кута нахилу транспортера. Результати експериментальних досліджень величини витрат потужності при перевантаженні телескопічним гвинтовим транспортером показали, що основними факторами, які впливають на збільшення крутного моменту на приводі, є частота обертання шнека і довжина його видовження, а також комбінація цих факторів.

**Ключові слова:** телескопічний гвинтовий конвеєр, транспортер, шнек, потужність, обертання, крутний момент, транспортування.

### Постановка проблеми

Гвинтові транспортно-технологічні системи використовуються у різних галузях народного господарства для транспортування, змішування і необхідного перетворення сільськогосподарських, будівельних матеріалів, харчових та фармацевтичних продуктів, металевої стружки тощо. Особливо широко їх використовують у якості елементів сільськогосподарських машин і механізмів при перевантаженні сільськогосподарських вантажів в польових умовах. Проте ці транспортери у складі універсальних агрегатів для завантаження сівалок, бункерах-перевантажувачах та зернозбиральних комбайнах виконуються, як правило, складними і передбачають розкладання-складання з

допомогою гідро- чи пневмо- устаткування, що робить їх конструкції надто складними і дорогими.

Тому з метою здешевлення та спрощення конструкцій, а також забезпечення необхідної траєкторії перевантаження матеріалу гвинтовими транспортерами актуальним є питання пошуку прогресивних конструкцій гвинтових конвеєрів із специфічними характеристиками. До таких механізмів належать телескопічні гвинтові транспортери, які забезпечують перевантаження матеріалу на необхідну відстань при здешевленні та спрощенні конструкції, у порівнянні з існуючими аналогами.

### Аналіз останніх досліджень

Розробленню конструкцій стендового обладнання для дослідження різноманітних гвинтових транспортерів і їх дослідженню присвячені праці Турпаса А.І. [1], Сисоліна В.П. [2], Григор'єва А.М. [3], Гевка Б.М. [4], Рогатинського Р.М. [5], Гевка І.Б., Ляшука О.Л. [6, 7], та інших. Проте цілий ряд питань, які стосуються дослідження їх характеристик, таких як продуктивності та питомих енерговитрат в залежності від різних параметрів, потребують свого подальшого вивчення особливо для новостворених конструктивних рішень.

### Мета досліджень

Метою роботи є експериментальне дослідження величини витрат потужності при перевантаженні телескопічним гвинтовим транспортером сільськогосподарських вантажів.

### Результати досліджень

Часто для отримання значної траси перевантаження матеріалів гвинтовими транспортерами в сільськогосподарській техніці шнеки виконують складними (рис. 1) і для досягнення необхідної відстані

перевантаження вони розкладаються-складаються з допомогою гідро чи пневмо устаткування, що робить конструкції універсальних агрегатів-перевантажувачів громісткими та ускладненими. Тому використання принципу телескопу в гвинтових транспортерах матиме широке застосування в конструкціях різноманітних сільськогосподарської техніки оснащеної гвинтовими транспортерами.



а) універсальний агрегат при завантаженні сіял-

ки

а) universal unit when loading the seeder



б) універсальний бункер-перевантажувач фірми «EGRITECH»

б) universal hopper-reloader of the company «EGRITECH»



в) універсальний перевантажувач фірми «Лилиани MBA»

с) universal reloader of the company «Liliani MBA»

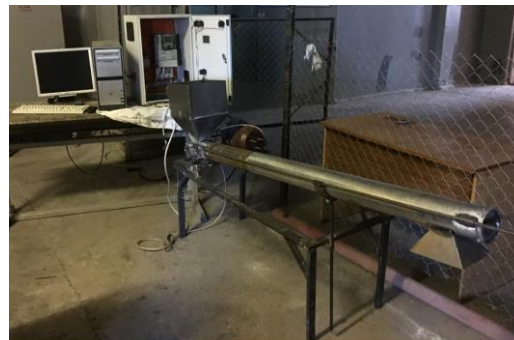


г) зернозбиральні комбайни CASE 8120 AXIAL FLOW та New Holland CR10.90

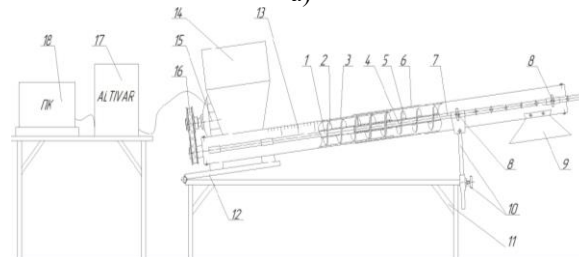
д) combine harvesters CASE 8120 AXIAL FLOW and New Holland CR10.90

**Рис. 1.** Конструкції сільськогосподарської техніки з шнеками.

**Fig. 1.** Agricultural machinery designs with screws.



а)



б)

**Рис. 2.** Стенд для дослідження характеристик телескопічних гвинтових транспортерів: а) загальний вигляд; б) конструктивна схема; 1 - нерухома в осьовому напрямку секція гвинта; 2 - шнек нерухомої в осьовому напрямку секції гвинта; 3 - нерухома в осьовому напрямку частина кожуха; 4 - рухома в осьовому напрямку секція гвинта; 5 - шнек рухомої в осьовому напрямку секції гвинта; 6 - рухома в осьовому напрямку частина кожуха; 7 - направляючі; 8 - фіксатори направляючих; 9 - вивантажувальний патрубков; 10 - опора регулювання висоти подачі матеріалу; 11 - рама; 12 - рухомий стіл; 13 - шкала перекривання шнеків; 14 - бункер; 15 - електропривід транспортера; 16 - пасова передача; 17 - перетворювач частоти обертання приводу; 18 - персональний комп'ютер.

**Fig. 2.** Stand to study the characteristics of telescopic screw conveyors: а) general view; б) structural scheme; 1 - axial motion of the screw section; 2 - a screw axial motion in the axial direction of the screw section; 3 - part of the casing is fixed in the axial direction; 4 - axial movement of the screw section; 5 - a screw moving in the axial direction of the screw section; 6 - a part of the casing moving in the axial direction; 7 - guides; 8 - catches of guides; 9 - discharge nozzle; 10 - support for adjusting the height of the material; 11 - frame; 12 - mobile table; 13 - Scale of overlapping screws; 14 - bunker; 15 - electric drive of the conveyor; 16 - belt drive; 17 - converter of frequency of rotation of the drive; 18 - personal computer

Для проведення експериментальних досліджень телескопічних гвинтових транспортерів на основі проведеного патентного пошуку та аналізу наукових літературних джерел і проведеного синтезу [8] було розроблено і запатентовано ряд конструкцій гвинтових телескопічних конвеєрів, які стали основою для проектування та виготовлення дослідного стенда (рис. 2).

При виконанні досліджень на розробленому стенді завдяки програмі PowerSuite можна змінювати: плавно і різко частоту обертання шнека від 0 до 1400 об/хв.; кут нахилу телескопічного гвинтового конвеєра відносно горизонту від 0 до 90 градусів; забезпечувати обертання шнека в реверсному напрямі. В процесі проведення випробувань фіксація даних проводиться із наперед заданою частотою, і вони відображаються на моніторі ПК у вигляді табличних даних та графічних залежностей у процентному співвідношенні до номінальної потужності.

В дослідній установці зовнішній діаметр шнека становить 97 мм; внутрішній діаметр нерухомого патрубку - 100 мм; зовнішній - 107 мм; внутрішній діаметр рухомого патрубку - 109 мм. Рухомий патрубок виконано із оцинкованого листа, а тому він містить з'єднувальний шов і овальності та нерівності по усій довжині, що впливало на швидкість скручування і розкручування телескопічної частини гвинтового транспортера.

З допомогою виготовленого стенду можливе дослідження: процесу викочування (вигвинчування) рухомої в осьовому напрямку частини шнека з нерухомої; процесу закручування (вгвинчування) рухомої в осьовому напрямку частини шнека на нерухому; продуктивності телескопічного гвинтового конвеєра при транспортуванні сипких вантажів при різній частоті обертання шнека; величини крутного моменту при перевантаженні сипких вантажів при різній частоті обертання шнека; витрат потужності при транспортуванні сипких вантажів при різній частоті обертання шнека.

Для визначення впливу конструктивних і кінематичних параметрів (незалежних факторів  $x_i$ ) телескопічного гвинтового транспортера на потужність приводу шнека під час транспортування кукурудзи, пшениці та комбікорму (параметр оптимізації  $T$ ) проведено повнофакторні експерименти, тобто визначення витрат потужності на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека  $n_{ш}$ , довжини видовження шнека  $l$  та кута нахилу транспортера  $\gamma$ , тобто  $N=f(n_{ш}, l, \gamma)$ .

Оброблення отриманих експериментальних даних проведено з використанням загальновідомих методик регресійного аналізу. Для отримання регресійних моделей параметрів оптимізації, вибирали відповідний план повнофакторного експерименту.

Функцію відгуку, тобто величини витрат потужності на приводі шнека  $N=f(n_{ш}, l, \gamma)$ , визначену експериментальним шляхом, представлено у вигляді математичної моделі повного квадратичного полінома. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

Побудову даної таблиці проведено наступним

чином. Вхідними змінними факторами ПФЕ  $3^3$  прийнято:

- частота обертання шнека  $n_{ш}$ , яку кодували індексом  $x_1$ ;
- довжина видовження шнека  $l$ , яку кодували індексом  $x_2$ ;
- кут нахилу транспортера  $\gamma$ , який кодували індексом  $x_3$ .

Після кодування вхідних факторів складали план-матриці повного факторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$  для загальної кількості дослідів  $N_1 = P^k$ , де  $P$  – кількість рівнів варіювання,  $k$  – кількість вхідних факторів у експерименті.

**Таблиця 1.** Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні витрат потужності на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера.

**Table 1.** The results of coding factors and the level of their variation in the study of power consumption on the screw drive of a telescopic screw conveyor.

| Фактори                  | Позначення      |       | Інтерв. варіюв. | Рівні варіювання, на-тур.(кодовані) |          |           |
|--------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------------------------------------|----------|-----------|
|                          | на-тур.         | код.  |                 |                                     |          |           |
| Частота обертання шнека  | $n_{ш}$ , об/хв | $x_1$ | 200             | 700 (+1)                            | 500 (0)  | 300 (-1)  |
| Довжина видовження шнека | $l$ , м         | $x_2$ | 0,14            | 1,61 (+1)                           | 1,00 (0) | 0,39 (-1) |
| Кут нахилу транспортера  | $\gamma$ , град | $x_3$ | 20              | 45 (+1)                             | 25 (0)   | 5 (-1)    |

Витрати потужності заміряли за допомогою пристроїв і способів, описаних вище. Для кожного з незмінних факторів експеримент проводився не менше 3 разів, після чого визначалося середнє значення результату, яке використовувалося для подальшого статистичного оброблення результатів експерименту.

Виведені рівняння регресії витрат потужності залежно від зміни частоти обертання шнека  $n_{ш}$ , довжини видовження шнека  $l$ , кута нахилу транспортера  $\gamma$ , тобто  $N_{(x_1, x_2, x_3)} = f(n_{ш}, l, \gamma)$  за результатами проведених ПФЕ  $3^3$  у кодованих величинах мають наступний вигляд:

- під час транспортування кукурудзи:

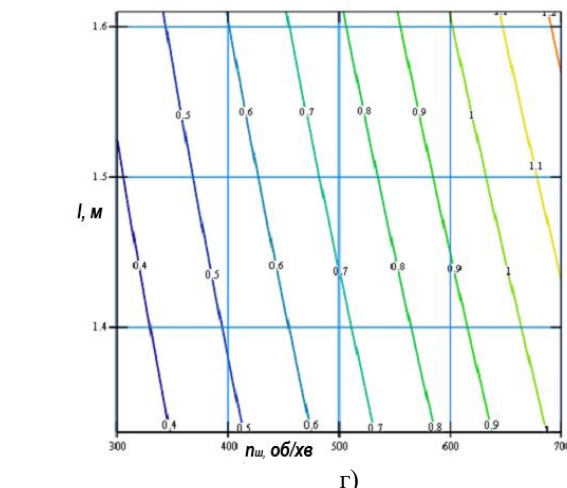
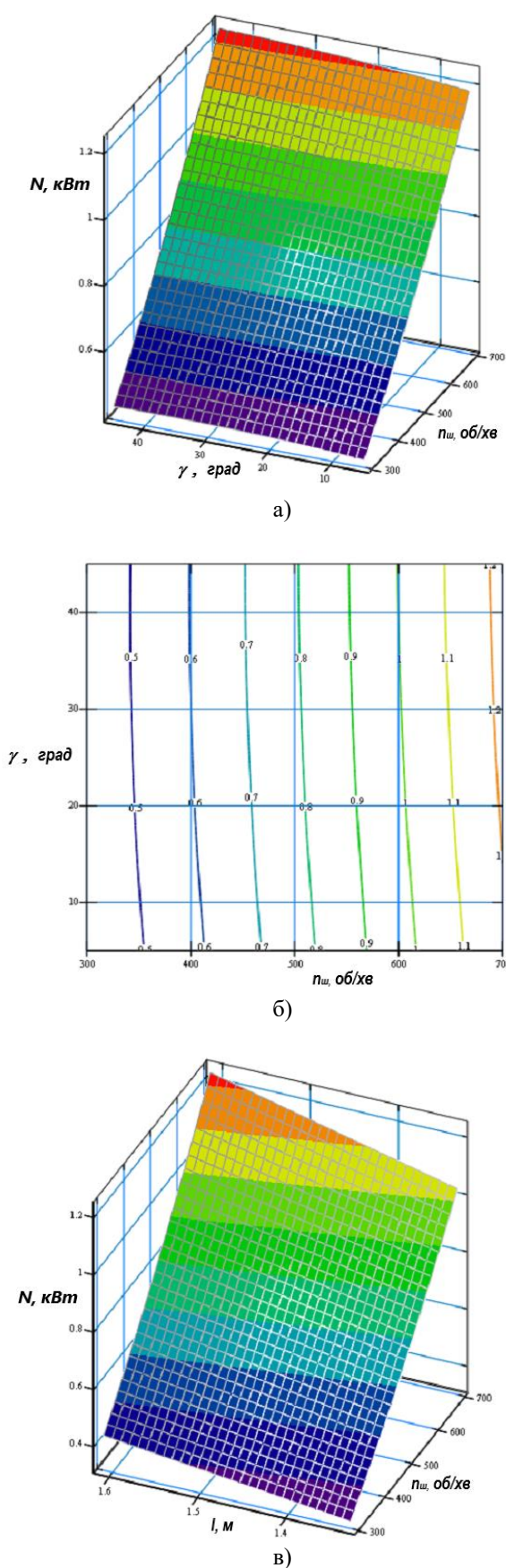
$$N_{(n_{ш}, l, \gamma)} = -2,22 \cdot 10^{-2} - 4,94 \cdot 10^{-4} n_{ш} - 2,76 \cdot 10^{-2} l + 9,25 \cdot 10^{-4} \gamma + 9,29 \cdot 10^{-4} n_{ш} l + 1,58 \cdot 10^{-6} n_{ш} \gamma + 9,25 \cdot 10^{-7} n_{ш}^2 + 3,37 \cdot 10^{-2} l^2 - 1,83 \cdot 10^{-5} \gamma^2; \quad (1)$$

- під час транспортування пшениці:

$$N_{(n_{ш}, l, \gamma)} = -2,13 \cdot 10^{-2} - 5,09 \cdot 10^{-4} n_{ш} - 2,85 \cdot 10^{-2} l + 9,38 \cdot 10^{-4} \gamma + 9,64 \cdot 10^{-4} n_{ш} l + 1,65 \cdot 10^{-6} n_{ш} \gamma + 9,75 \cdot 10^{-7} n_{ш}^2 + 3,52 \cdot 10^{-2} l^2 - 1,93 \cdot 10^{-5} \gamma^2; \quad (2)$$

- під час транспортування комбікорму:

$$N_{(n_{ш}, l, \gamma)} = -2,68 \cdot 10^{-2} - 4,18 \cdot 10^{-4} n_{ш} - 2,06 \cdot 10^{-2} l + 8,25 \cdot 10^{-4} \gamma + 8,21 \cdot 10^{-4} n_{ш} l + 1,4 \cdot 10^{-6} n_{ш} \gamma + 8,25 \cdot 10^{-7} n_{ш}^2 + 3,01 \cdot 10^{-2} l^2 - 1,65 \cdot 10^{-5} \gamma^2. \quad (3)$$



**Рис. 3.** Поверхня відгуку (а, в, д) та двовірний переріз поверхні відгуку (б, г, е) залежності величини витрат потужності на приводі телескопічного гвинтового конвеєра під час перевантаження кукурудзи від: а), б)  $n_{ш}$  і  $\gamma$  при  $l = 1,61$  м; в), г)  $n_{ш}$  і  $l$  при  $\gamma = 45$  град.

**Fig. 3.** Response surface and two-dimensional cross-section of the response surface of the dependence of the amount of power consumption on the drive of a telescopic screw conveyor for corn overload.

Отримані рівняння регресії (1 – 3) можуть бути використані для визначення витрат потужності на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера  $N$  залежно від частоти обертання шнека  $n_{ш}$ , довжини видовження шнека  $l$  та кута нахилу транспортера  $\gamma$  для транспортування кукурудзи, ячменю та комбікорму у таких межах зміни вхідних факторів:

$$300 \leq n_{ш} \leq 700 \text{ (об/хв)}; 1,33 \leq l \leq 1,61 \text{ (м)};$$

$$5 \leq \gamma \leq 45 \text{ (град)}.$$

За допомогою програмного забезпечення Statistica-6.0 для ПК побудували графічне відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двовірних перерізів витрат потужності  $N$  як функцію від двох змінних факторів  $x_{i(1,2)}$  за постійного незмінного рівня відповідного третього фактора  $x_{i(3)} = \text{const}$ .

Аналіз наведених регресійних рівнянь показує, що основними факторами, які впливають на збільшення крутного моменту на приводі є: фактори  $x_1$ ,  $x_2$ , ( $n_{ш}$ ,  $l$ ) та комбінації цих факторів. Збільшення величини фактора  $x_3$  ( $\gamma$ ) призводить до підвищення потужності на 4,2%. При цьому збільшення величини фактора  $x_2(l)$  призводить до збільшення потужності на 9,8%.

В загальному для зменшення витрат потужності необхідно зменшувати частоту обертання шнека, його довжину та зменшувати кут нахилу транспортера.

Графічні значення результатів залежності крутного моменту, одержаного з використанням Mathcad 2000 Professional, наведено на рис. 3. З рисунків та на основі аналізу рівнянь регресії видно, що із збільшенням частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового транспортера величина потужності на приводі шнека зростає, при чому найбільша потужність 1,29 кВт досягається під час транспортування пшениці. Максимальна потужність на приводі шнека телескопічного гвинтового транс-

портера для транспортування кукурудзи та комбікорму складає 1,23 кВт та 1,10 кВт відповідно, а мінімальна – 0,31 кВт та 0,28 кВт відповідно. Збільшення частоти обертання шнека  $n_{ш}$ , від 300 об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі шнека в 3,14 рази.

### Висновки

1. Виведено рівняння регресії витрат потужності залежно від зміни частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового телескопічного транспортера.

2. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що із збільшенням частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового транспортера величина потужності на приводі шнека зростає, при чому найбільша потужність 1,29 кВт досягається під час транспортування пшениці. Максимальна потужність на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера для транспортування кукурудзи та комбікорму складає 1,23 кВт та 1,10 кВт відповідно, а мінімальна – 0,31 кВт та 0,28 кВт відповідно. Збільшення частоти обертання шнека  $n_{ш}$ , від 300 об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі шнека в 3,14 рази.

### Список літератури

1. Турпаев А. И. Винтовые механизмы и передачи. Москва. Машиностроение, 1982. 223 с.
2. Сисолин В. П. Сільськогосподарські машини. Теоретичні основи. Конструкція і проектування. Київ. Урожай, 2001. 382 с.
3. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры. Москва. Машиностроение, 1972. 184 с.
4. Гевко Б. М., Рогатинський Р. М. Механізми з гвинтовими пристроями. Львів: Світ, 1993. 208 с.
5. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дячун А. Е. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів. Тернопіль, 2014. 280 с.
6. Hevko I. B., Dyachun A. Ye., Hud V. Z., Rohatynska L. R., Klendiy V. M. Investigation of the stability of the torsorial vibrations of a screw conveyer under the influence of pulse forces. INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, 2015, Vol. 45, № 1, P. 77-86.
7. Hevko I., Lyashuk O., Sokil M., Slobodian L., Hud V., Vovk Yu. Resonant oscillation of vertical working part of conveyer-loader. Karaganda State University Publishing house. Karaganda, 2019. № 2 (94). P. 73-81.
8. Гевко Ів. Б., Гудь В. З., Шуст І. М., Мельничук А. Л. Синтез телескопічних гвинтових конвеєрів. Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. 2016. Випуск 168. С. 85-91.

### References

1. Tyrpaev A. I. (1982). Screw mechanisms and gears. Moscow, USSR.

2. Sysolin V. P. (2001). Agreecultural machines. Agreecultural equipment. Theoretical basis. Construction and design. Uroжай, Kyiv, Ukraine.

3. Grigorjev A. M. (1972). Screw conveyors. Moscow, USSR.

4. Hevko B. M. (1993). Mechanisms with screw devices, Svit, Lviv, Ukraine.

5. Rjushin, V. T. (1986). Research of working process and development of a method of calculation of cars of roller formation of concrete mixes. (Unpublished candidate thesis). Kyiv construction institute, Kyiv, USSR.

6. Hevko I. B., Dyachun A. Ye., Hud V. Z., Rohatynska L. R., Klendiy V. M. (2015). Investigation of the stability of the torsorial vibrations of a screw conveyer under the influence of pulse forces. INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest. Vol. 45.

7. Hevko I., Lyashuk O., Sokil M., Slobodian L., Hud V., Vovk Yu. (2019). Resonant oscillation of vertical working part of conveyer-loader. Karaganda State University Publishing house. Karaganda, 2019. № 2 (94).

8. Hevko I. B., Hud V. Z., Shust I. M. et al., (2016). Synthesis of telescopic screw conveyors. Bulletin of the KhNTUSG named after Peter Vasilenko. "Resource-saving technologies, materials and equipment in repair production", Vol. 168, Ukraine

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАТРАТЫ МОЩНОСТИ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМИ ВИНТОВЫМИ ТРАНСПОРТЕРАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГРУЗОВ

В. З. Гудь

**Аннотация.** Разработано экспериментальное оборудование для проведения исследований телескопических винтовых транспортеров, с помощью которого проведено исследование данного конвейера согласно разработанных методик. Для определения влияния конструктивных и кинематических параметров телескопического винтового транспортера на затраты мощности на приводе шнека при транспортировке кукурузы, пшеницы и комбикорма проведения полнофакторного эксперимента. Было определено величину затрат мощности на приводе шнека телескопического винтового транспортера от изменения трех основных факторов: частоты вращения шнека, длины удлинение шнека и угла наклона транспортера. Выведены уравнения регрессии затрат мощности в зависимости от изменения частоты вращения шнека, длины удлинение шнека, угла наклона транспортера. Результаты экспериментальных исследований величины затрат мощности при перегрузке телескопическим винтовым транспортером показали, что основными факторами, влияющими на увеличение крутящего момента на приводе, частота вращения шнека и длина его удлинение, а также комбинация этих факторов.

**Ключевые слова:** телескопический винтовой конвейер, транспортер, шнек, мощность, вращения, крутящий момент, транспортировка.

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH  
OF COST OF POWER WITH OVERLOADING  
BY TELESCOPIC SCREW TRANS-PORTERS  
OF AGRICULTURAL CARGOES

*V. Z. Hud*

**Abstract.** Experimental equipment was developed for conducting research on telescopic screw conveyors, with the help of which a study of this conveyor was carried out according to the developed techniques. To determine the influence of the structural and kinematic parameters of the telescopic screw conveyor on the power consumption of the auger drive during the transportation of corn, wheat and animal feed conducting full-factor experiments. It was determined the amount of power consumption on the auger drive of the telescopic screw conveyor from a change in three main factors: the frequency of rotation of the screw, the length of the elongation of the screw and the angle of inclination of the conveyor. Equations of regression of power consumption are derived depending on changes in the frequency of rotation of the screw, the length of the elongation of the screw, the angle of the conveyor. The results of experimental studies of the amount of power consumption when overloaded with a telescopic screw conveyor showed that the main factors affecting the increase in torque on the drive, the rotational speed of the screw and its elongation length, as well as a combination of these factors.

**Key words:** telescopic screw conveyor, conveyor, auger, power, rotation, torque, transportation.

**В. З. Гудь** ORCID 0000-0001-5312-526X.

УДК 661.068

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ БІОПАЛИВА НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ

І. В. Логун<sup>1</sup>, О. М. Кирик<sup>1</sup>, Р. В. Шатров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України  
«Бережанський агротехнічний інститут», Україна.

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: log23163@ukr.net, oleoleg1979@gmail.com, rvshatrov@outlook.com.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 4, рис. 2, табл. 1.*

**Анотація.** Розглянуто питання впливу складу альтернативного палива для дизельних двигунів на показники роботи тракторного дизеля Д-21. Досліджено вплив на показники теплового розрахунку двигуна та на процесу згоряння альтернативного палива. Проведено тепловий розрахунок двигуна при роботі на суміші різного складу для визначення можливого впливу на потужність двигуна.

Знаючи характер зміни циклової подачі та елементарного складу паливної суміші, можна проаналізувати їх вплив на зміну теплотворної здатності суміші ( $H_u$ ), коефіцієнт надлишку повітря ( $\alpha$ ) та інші показники роботи двигуна. Отримані розрахунково-експериментальні дані по паливу можуть бути перевірені експериментально при стендових випробуваннях двигуна.

**Ключові слова.** Дизельний двигун, дизельне паливо, рослинна олія, гас, цетанове число, теплотворна здатність, зміна потужності двигуна.

### Постановка проблеми

На сьогоднішній день одним з альтернативних видів моторного палива нафтового (мінерального) походження є біопаливо, вироблене з рослинної біомаси (біомаса - невикопного органічний матеріал, прямо або побічно вироблений шляхом фотосинтезу).

Перехід на використання моторного біопалива дозволяє одночасно вирішити ключову проблему сучасності - задовольнити зростаючі потреби в енергії без шкоди для навколишнього середовища.

Основними факторами розвитку індустрії біопалива є:

- значне зростання цін на викопні енергоносії;
- світових розвіданих запасів нафти і природного газу вистачить, за прогнозами, при сучасному рівні видобутку на 40 і 60 роки відповідно;
- виробництво викопних видів палива незабаром перестане задовольняти зростаючий попит;
- глобальні проблеми екологічної безпеки;

- можливість зниження залежності від імпорту енергоресурсів для країн з низьким рівнем власних запасів викопної сировини;

- стимулювання і підтримка розвитку аграрного сектора.

Для стимулювання цих процесів в деяких країнах розроблено комплекс заходів, що включає в себе законодавче регулювання, індикативне планування обсягів виробництва, пільгове оподаткування, бюджетну підтримку і ін.

### Аналіз останніх досліджень

За прогнозами Міжнародної енергетичної асоціації (IEA), світове виробництво біопалива збільшиться з 20 млн. тон енергетичного еквівалента нафти в 2017 р до 92-147 млн. тонн до 2030 року. Щорічні темпи приросту виробництва біопалива складуть 7-9%.

Активна робота по вивченню і застосуванню біодизельного палива проводиться у Франції, Німеччині, Італії, Фінляндії, Чехії, Швеції, Австрії і Великобританії. У ній беруть участь багато провідних компаній світу: «Форд Мотор», «Фіат Авто», «Даймлер Крайслер» та ін. Однак незначний обсяг експериментальних досліджень і суперечливість отриманих результатів працездатності дизелів на рослинних оліях або сумішевих паливах не дозволяють поки однозначно судити про оптимальність застосування конкретного виду олії або продуктів її переробки в якості біопалива. Використання результатів цих досліджень навіть для порівняльної оцінки ефективності та розрахунку техніко-економічних показників роботи автотракторної техніки утруднено. Це обумовлено неоднаковими умовами проведених експериментів і практичної експлуатації дизелів, важкими для співставлення.

Тому для перетворення досліджуваних біопалив в товарні палива для дизелів необхідно проведення подальших, більш повних і систематичних, наукових досліджень в цій області. Разом з тим, всі дослідники

приходять до єдиної думки про доцільність застосування відновлюваних джерел енергії з рослинної біомаси в якості перспективних екологічно чистих видів палива для ДВЗ.

Для визначення впливу біопалива на показники роботи дизеля Д – 21 були проведені теплові розрахунки даного двигуна при роботі на дизельному паливі та біопаливі.

За даними теплового розрахунку були розраховані параметри зовнішніх швидкісних характеристик двигуна і проведено аналіз впливу складу паливної суміші на його показники роботи. Нижче наведені методика та результати цих обчислень.

### Мета досліджень

Дослідження впливу основних фізичних параметрів паливної суміші на основі рослинної олії на індикаторні та ефективні показники роботи двигуна.

### Результати досліджень

Основною проблемою використання рослинних олій і їх продуктів переробки в якості палива на вітчизняній і зарубіжній автотракторній техніці (трактори, автомобілі, комбайни та ін.) є недостатня адаптованість дизельних двигунів, які серійно випускаються, до роботи на натуральних технічних біопаливах через відмінності їх теплотворних, фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей від товарного мінерального дизельного палива, які призводять до зміни параметрів процесів впорскування палива, сумішоутворення і згоряння.

Для переведення роботи автотракторної техніки на дизельне сумішне паливо необхідно використовувати не тільки різні методи фізико-хімічної обробки (етерифікація рослинних олій, ультразвукова обробка, СВЧ-обробка, обробка в апаратах з вихровим шаром феромагнітних частинок і ін.), а й модернізувати штатні системи живлення дизелів.

Тепловий розрахунок двигуна Д – 21 при роботі на дизельному пальному, стандартний і нижче наведено результати розрахунку. Для розрахунків використовували наступні вихідні дані.

Тепловий розрахунок двигуна Д – 21 при роботі на дизельному пальному, стандартний і нижче наведено результати розрахунку.

Параметри двигуна прийняті для розрахунку:

Ефективна потужність  $N_e = 20$  к.с. (14,6 кВт).

Ефективний крутний момент  $M_e = 10$  кгм (98 Нм).

Частота обертання при  $N_{e \max} - n_e = 1600$  об/хв;

Частота обертання колінвалу при максимальному крутному моменту  $M_e - n_M = 1200 - 1400$  об/хв.

Ступінь стиску  $E = 16$ ; робочий об'єм двигуна –  $V_n = 2,08$  л.

Кількість циліндрів –  $i = 2$ ; діаметр циліндра  $D_{ц} = 105$  мм.

Хід поршня –  $S_n = 120$  мм; коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 1,6$ .

При розрахунку параметрів кінця процесу впуску прийняті наступні значення параметрів навколишнього середовища:

Тиск повітря –  $P_0 = 0,1$  МПа;

Температура повітря –  $T_0 = 293^0$  К;

Тиск і температура залишкових газів –  $P_r = 0,105$  МПа;  $T_r = 700^0$  К;

Температура підігріву свіжого заряду для мало обертового дизеля прийнято  $20^0$ , коефіцієнт залишкових газів  $\gamma_z$  прийнято  $\gamma_z = 0,32$ ;

Індикаторні показники роботи двигуна

Середній індикаторний тиск  $P_i$  в кПа для дизеля знайдемо за формулою:

$$P_i = \frac{P_c}{E-1} \cdot \left[ \frac{\lambda \cdot (\rho-1) + \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2-1} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right)}{-\frac{1}{n_1-1} \cdot \left( 1 - \frac{1}{E^{n_1-1}} \right)} \right], \quad (1)$$

-для дизельного палива:

$$P_i = 919,6 \text{ кПа}$$

-для біопалива:

$$P_i = 855,5 \text{ кПа}$$

Дійсний середній індикаторний тиск  $P_{iан}$  в кПа з врахуванням скруглення діаграми і затрат на виконання насосних ходів поршня визначаємо із рівняння:

$$P_{iан} = \varphi \cdot P_i' - \Delta P, \quad (2)$$

де  $\Delta P = P_r - P_a$ , кПа;

$\varphi$  - коефіцієнт скруглення.

Коефіцієнт скруглення  $\varphi = 0,92 \dots 0,95$ . Приймаємо  $\varphi = 0,95$ .

-для дизельного палива:

$$P_{iан} = 0,95 \cdot 919,6 - (125-90) = 835,7 \text{ кПа}$$

-для біопалива:

$$P_{iан} = 0,95 \cdot 855,5 - (105-90) = 797,7 \text{ кПа}$$

Середній індикаторний тиск ( $P_i$ ) - таке умовний постійний тиск, який діючи протягом 1 ходу поршня робить таку ж роботу що і змінний тиск всередині циліндра двигуна. Значить, величина середнього індикаторного тиску характеризує теплову напруженість роботи двигуна. Процент неспівпадіння величин середнього індикаторного тиску  $\Delta P_i$  в %, розрахованого, аналітично і графічно визначається за формулою:

$$\Delta P_i = \frac{P_{iаа} - P_{iеэ}}{P_{iаа}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Допустиме відхилення  $\Delta P_i = 3 \dots 5\%$ ;

-для дизельного палива:

$$P_{iер} = 900 \text{ кПа};$$

$$P_{iер} = 0,95 \cdot 900 - (125-90) = 820 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_i = \frac{835,7 - 820}{835} \cdot 100\% = 1,8\%;$$

-для біопалива:

$$P_{iер} = 845 \text{ кПа};$$

$$P_{iер} = 0,95 \cdot 845 - (105-90) = 787,7 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_i = \frac{797,7 - 787,7}{797,7} \cdot 100\% = 1,2\%.$$

Індикаторний коефіцієнт корисної дії  $\eta_i$  визначається за формулою:

$$\eta_i = 8,314 \frac{L \cdot (1 + \gamma_r) \cdot (E - 1) \cdot P_i \cdot T_c}{P_c \cdot Q_n}, \quad (4)$$

-для дизельного палива:

$$\eta_i = 8,314 \frac{0,8111(1 + 0,03)(16,5 - 1) \cdot 858,62 \cdot 889,6}{3961,4 \cdot 42500} = 0,48$$

-для біопалива:

$$\eta_i = 8,314 \frac{0,456(1 + 0,06)(16 - 1) \cdot 797,7 \cdot 1082,8}{3589 \cdot 37300} = 0,42$$

Після чого знаходимо індикаторну витрату палива  $g_i$  в кг/кВт·ч за формулою:

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot Q_n}, \quad (5)$$

-для дизельного тпалива:

$$g_i = \frac{3600}{0,48 \cdot 42500} = 0,176 \text{ кг} / \text{кВт} \cdot \text{год};$$

-для біопалива:

$$g_i = \frac{3600}{0,42 \cdot 37300} = 0,229 \text{ кг} / \text{кВт} \cdot \text{год}.$$

Ефективні показники роботи двигуна:

Ефективні показники роботи двигуна, відрізняються від індикаторних наявністю необхідних затрат на подолання різних механічних опорів.

Середній ефективний тиск  $P_e$  в кПа знайдемо за формулою:

$$P_e = P_i - P_m, \quad (6)$$

де  $P_m$ - механічні втрати в кПа, що розраховуються за емпіричною залежністю:

$$P_m = [0,9 + (0,11 \dots 0,15) \cdot C_n] \cdot 10^2, \quad (7)$$

де  $C_n$ - середня швидкість поршня.

$C_n$  для тракторних дизелів знаходиться в межах 6...11 м/с. Приймаємо  $C_n=7,5$  тому що із збільшенням середньої поршня зростають механічні втрати, збільшується теплове навантаження двигуна, зменшується термін роботи двигуна.

$$P_m = [0,9 + (0,11 \cdot 7,5)] \cdot 10^2 = 172,5 \text{ кПа}$$

Підставимо  $P_m$  в формулу (7) и найдем  $P_e$ :

-для дизельного палива:

$$P_e = 835,7 - 172,5 = 663,2 \text{ кПа}$$

-для біопалива:

$$P_e = 797,7 - 172,5 = 625,2 \text{ кПа}.$$

Знайдемо ефективний коефіцієнт корисної дії  $\eta_e$  із виразу:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m, \quad (8)$$

де  $\eta_m$ - механічний коефіцієнт корисної дії;

Його можна знайти з формули:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}, \quad (9)$$

-для дизельного палива:

$$\eta_m = \frac{663,2}{835,7} = 0,79;$$

-для біопалива:

$$\eta_m = \frac{625,2}{797,7} = 0,78.$$

Визначаємо коефіцієнт корисної дії  $\eta_e$ :

-для дизельного палива:

$$\eta_e = 0,48 \cdot 0,79 = 0,38;$$

-для біопалива:

$$\eta_e = 0,42 \cdot 0,78 = 0,33.$$

Ефективну питому витрату палива  $g_e$  в кг/кВт·год знаходимо за формулою:

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m}, \quad (10)$$

- для дизельного палива:

$$g_e = \frac{0,176}{0,79} = 0,222 \text{ кг} / \text{кВт} \cdot \text{год};$$

- для біопалива:

$$g_e = \frac{0,229}{0,78} = 0,293 \text{ кг} / \text{кВт} \cdot \text{год}.$$

Тепловий баланс двигуна характеризує розподіл теплоти, яка виділяється при згорянні палива, яке вводиться в циліндри двигуна на корисно використовувану і окремі види втрат характеризується зовнішнім тепловим балансом. Характер розподілу теплоти згорання за складовими зовнішнього теплового балансу визначається особливостями робочого процесу, а також геометричними розмірами циліндро-поршневої групи, конструкцією деталей и системи охолодження [2].

Зовнішній тепловий баланс в цілому і окремі його складові зокрема дозволяють оцінити показники теплонапруги деталей двигуна, розрахувати систему охолодження, визначити резерви у використанні теплоти відпрацьованих газів і шляхи підвищення економічності двигуна

Загальна кількість теплоти  $Q$  в кДж/год, введений в двигун з паливом знаходимо за формулою [3]:

$$Q = Q_n \cdot G_m, \quad (11)$$

де  $G_m$ - годинна витрата палива.

$Q_n$ -нижня питома теплота згорання.

Годинна витрата палива  $G_m$  в кг/год знаходиться за формулою:

$$G_m = N_e \cdot g_e, \quad (12)$$

-для дизельного палива:

$$G_m = 15 \cdot 0,222 = 3,33 \text{ кг/год};$$

Нижня питома теплота згорання

$$Q_n = 42500 \text{ кДж/кг}.$$

$$Q = 42500 \cdot 3,233 = 138656,25 \text{ кДж/год};$$

-для біопалива:

$$G_m = 15 \cdot 0,293 = 4,39 \text{ кг/год}.$$

Нижня питома теплота згорання

$$Q_n = 37300 \text{ кДж/кг}.$$

$$Q = 37300 \cdot 4,39 = 163747 \text{ кДж/год}.$$

Теплота, яка еквівалентна ефективній роботі  $Q_e$  в кДж/год знайдемо з виразу:

$$Q_e = 3600 \cdot N_e, \quad (13)$$

де  $N_e$ - ефективна потужність, кВт; для двигуна Д-21  $N_e=15$  кВт.

-для дизельного палива:

$$Q_e = 3600 \cdot 15 = 54000 \text{ кДж/год};$$

Відсоткова кількість тепла  $q_e$  в %, яка потрібна на здійснення роботи:

$$q_e = \frac{Q_e}{Q} \cdot 100\%, \quad (14)$$

Знайдемо відсоткову кількість тепла  $q_e$ :

$$q_e = \frac{54000}{138656,25} \cdot 100\% = 38,9\% ;$$

-для біопалива:

$$q_e = \frac{54000}{163747} \cdot 100\% = 32,9\% .$$

Теплота, яка передається навколишньому середовищу  $Q_b$  в кДж/ч для дизелів без піддуву:

$$Q_b = C \cdot i \cdot D^{2,3} \cdot n^{0,65} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot 3,6, \quad (15)$$

де  $C$ - коефіцієнт, рівний 0,45...0,53;

$i$  - число циліндрів;

$D$  – діаметр циліндра, см;

$n$  – частота обертання колінчастого вала,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$\alpha$ - коефіцієнт надлишку повітря.

Прийmemo:

$$C=0,45; i=2; D=10,5 \text{ см}; n=1600 \text{ хв}^{-1}; \alpha=1,65.$$

Знаючи всі величини знайдемо теплоту, яка передається навколишньому середовищу  $Q_b$ :

$$Q_b = 0,45 \cdot 2 \cdot 10,5^{2,3} \cdot 1600^{0,65} \cdot \frac{1}{1,65} \cdot 3,6 =$$

$$= 43078,4 \text{ кДж / год}$$

Відсоткава кількість тепла  $q_e$  в %, яка передається навколишньому середовищу знайдемо за формулою:

$$q_b = \frac{Q_b}{Q} \cdot 100\%, \quad (16)$$

Знайдемо кількість теплоти  $q_e$ :

$$q_b = \frac{43078,4}{138656,25} \cdot 100\% = 31\% ;$$

-для біопалива.

Прийmemo коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha=1,2$ :

$$Q_b = 72908,3 \text{ кДж / год};$$

$$q_b = \frac{72908,3}{163747} \cdot 100\% = 44,5\% .$$

Теплота  $Q_r$  в кДж/год, яка виділяється з відпрацьованими газами знаходиться за формулою [17]:

$$Q_r = C_p \cdot (T_r - T_o) \cdot (G_g - G_T), \quad (17)$$

де  $C_p$  – середня теплоємність відпрацьованих газів при постійному тиску;

Середня теплоємність дорівнює

$C_p = 1,04 \text{ кДж/кг·град}$ ;

$T_r$  і  $T_o$  – температура відпрацьованих газів і навколишнього середовища, К;

- для дизельного палива;

Беремо із попередніх розрахунків  $T_r = 850 \text{ К}$ ;  $T_o = 293 \text{ К}$ ;

$G_b$  і  $G_T$  - кількість повітря і палива, яке надійде в циліндр, кг/год;

Кількість повітря, яке надійде в циліндр  $G_b$  в кг/год знайдемо із виразу:

$$G_b = 14,5 \cdot \alpha \cdot G_T, \quad (18)$$

де  $G_T$ -годинна витрата палива, кг/год;  $G_m = 3,3635$

Підставивши годинну витрату палива  $G_T$ , знайдемо  $G_b$ :

$$G_b = 14,5 \cdot 1,65 \cdot 3,3635 = 78,05 \text{ кг/год}.$$

Підставивши значення в рівняння (17) отримаємо  $Q_r$ :

$$Q_r = 1,04 \cdot (850 - 293) \cdot (78,05 - 3,2625) = 40210 \text{ кДж/год}$$

Відсоткова кількість теплоти  $q_r$  в %, яка виділяється з відпрацьованими газами:

$$q_r = \frac{Q_r}{Q} \cdot 100\%, \quad (19)$$

Знайдемо кількість теплоти  $q_r$ :

$$q_r = \frac{40210}{138656,25} \cdot 100\% = 29\% ;$$

-для біопалива:

Температура вихлопних газів  $T_r = 700 \text{ К}$ ;

$$G_b = 14,5 \cdot 1,2 \cdot 4,39 = 76,3 \text{ кг/год};$$

$$Q_r = 1,04 \cdot (700 - 293) \cdot (76,3 - 4,39) = 30438 \text{ кДж/год};$$

$$q_r = \frac{30438}{163747} \cdot 100\% = 18,5\%.$$

Невраховані втрати  $Q_{n.y.}$  в кДж/год знаходяться за формулою:

$$Q_{n.y.} = Q - (Q_e + Q_r + Q_b), \quad (20)$$

Знайдемо невраховані втрати  $Q_{n.y.}$ :

$$Q_{n.y.} = 1367,85 \text{ кДж / год} .$$

Відсоткова кількість тепла  $q_{n.y.}$  в % на невраховані втрати знаходимо за формулою:

$$q_{n.y.} = \frac{Q_{n.y.}}{Q} \cdot 100\%, \quad (21)$$

Знайдемо відсоткову кількість тепла  $q_{n.y.}$ :

$$q_{n.y.} = \frac{1367,85}{138656,25} \cdot 100\% = 1,1\%.$$

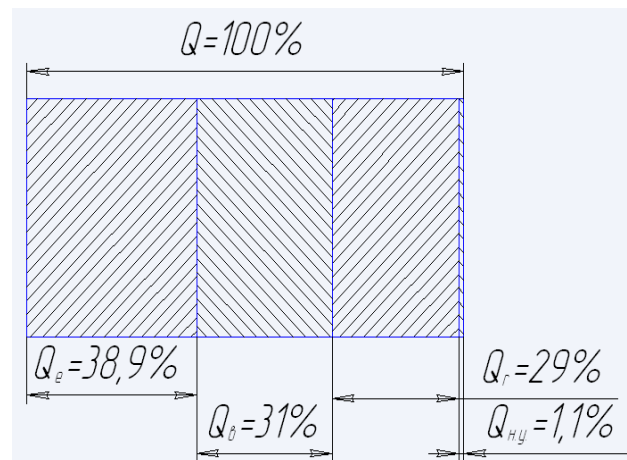
-для біопалива:

Знайдемо невраховані втрати  $Q_{n.y.}$ :

$$Q_{n.y.} = 6400,7 \text{ кДж / год} .$$

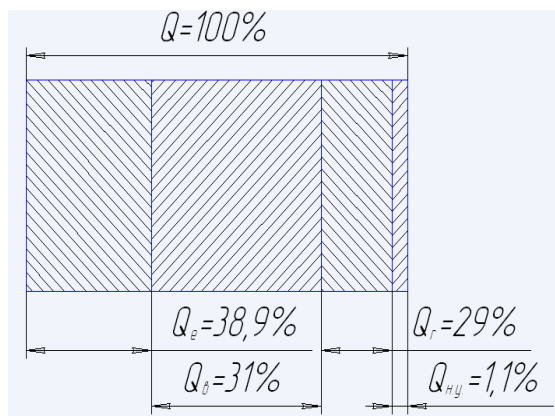
Знайдемо відсоткову кількість тепла  $q_{n.y.}$ :

$$q_{n.y.} = \frac{6400,7}{163747} \cdot 100\% = 4,1\% .$$



**Рис. 1.** Схема теплового балансу двигуна на дизельному паливі.

**Fig. 1.** The scheme of thermal balance of the engine on diesel fuel.



**Рис. 2.** Схема теплового балансу двигуна, який працює на біопаливі.

**Fig. 2.** Diagram of the thermal balance of a biofuel engine.

### Висновки

Запропонована методика теплового розрахунку даного двигуна відповідає дійсним показникам його роботи і може бути застосована для визначення впливу складу палива на показники його роботи.

### Список літератури

1.Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61.

2.Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. 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.

3.Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. 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.

4.Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Математичний апарат опису маршруту технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 337–346.

5.Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184.

6.Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 103–114.

7.Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Rogovskii I. L. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.

8.Rogovskii I. L. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.

9.Rogovskii Ivan. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Tom 16. №3. P. 296–302.

10. Rogovskii I. L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403–411.

### References

1.Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Analytical position determination of the coefficient of dynamic parameters of the technical condition of combine harvesters. Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Doslidnitske. Vol. 21 (35). 55-61.

2.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. Vol. 258. 380-390.

3.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. Vol. 262. 353-361.

4.Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Mathematical apparatus of the description of the route maintenance of combine harvesters in accordance with the detection of combinations of failures. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 275. 337-346.

5.Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2017). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. Lublin. Vol. 19. No 3. 179-184.

6.Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. 103-114.

7. Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L. (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kyiv. NULESU. 360.

8. Rogovskii, I. L. (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 159. 224-232.

9. Rogovskii Ivan. (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Tom 16. № 3. 296-302.

10. Rogovskii, I. L. (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 262. 403-411.

experimental data on fuel can be verified experimentally during bench tests of the engine.

**Key words:** diesel engine, diesel fuel, vegetable oil, kerosene, cetane number, calorific value, engine power change.

**I. В. Логущ** ORCID 0000-0001-5075-1054

**О. М. Кирик** ORCID 0000-0003-4551-3187.

**Р. В. Шатров** ORCID 0000-0002-3596-0146.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БИОТОПЛИВА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

*И. В. Логущ, О. М. Кирик, Р. В. Шатров*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы влияния состава альтернативного топлива для дизельных двигателей на показатели работы тракторного дизеля Д-21. Исследовано влияние на показатели теплового расчета двигателя и на процесса сгорания альтернативного топлива. Проведен тепловой расчет двигателя при работе на смеси различного состава для определения возможного влияния на мощность двигателя.

Зная характер изменения цикловой подачи и элементарного состава топливной смеси, можно проанализировать их влияние на изменение теплотворной способности смеси ( $H_u$ ), коэффициент избытка воздуха ( $\alpha$ ) и другие показатели работы двигателя. Полученные расчетно-экспериментальные данные по топливу могут быть проверены экспериментально при стендовых испытаниях двигателя.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, дизельное топливо, растительное масло, керосин, цетановое число, теплотворная способность, изменение мощности двигателя.

### COMPARISON ANALYSIS OF INFLUENCE OF BIOGAS ON THE DIESEL PERFORMANCE

*I. V. Lohush, O. M. Kyryk, R. V. Shatrov*

**Abstract.** The influence of alternative fuel composition for diesel engines on the performance of D-21 tractor diesel is considered. The influence on the thermal calculation of the engine and on the combustion process of alternative fuel is investigated. The thermal calculation of the engine is carried out when working on a mixture of different composition to determine the possible influence on the engine power.

Knowing the nature of the change in cycle feed and the elemental composition of the fuel mixture, we can analyze their effect on the change in the calorific value of the mixture ( $H_u$ ), the coefficient of excess air ( $\alpha$ ) and other engine performance. The obtained design and

UDC 339.13:656.025.4/.6(477)

## EMPLOYMENT OF STUDENTS IN HIGHER EDUCATIONAL STUDY COMPARED TO NORMAL REGULATION OF EMPLOYMENT

L. E. Piskunova, T. O. Zubok, B. V. Kislytsky

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

Corresponding authors: [tanyzubok@gmail.com](mailto:tanyzubok@gmail.com).

Article history: Received: March 2019. Received in the revised form: April 2019. Accepted: August 2019.

Bibl. 23, fig. 0, tabl. 0.

**Abstract.** Some of the most widespread situations are discussed, which in practice often raise the question: to take a student of full-time part-time or consider the company as the main place of his work, who and how will conduct a work book.

During studying between full-time students and educational institutions, there is no employment relationship and no employment contract. Therefore, such training is not the main work of the student.

Minor student workers have the same labor rights and responsibilities as other employees.

The full and shorter duration of a working week is established by a collective agreement depending on the results of the certification of workplaces in accordance with the Procedure for conducting certification of workplaces under labor conditions, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine from 01.08.92, No. 442.

**Key words:** the Labor Code of Ukraine, the State Department for Labor Legislation Supervision, the Instruction of the procedure for conducting labor books, labor legislation, work under an employment contract, a work record, a combination of work, a monetary expression, the employment of minors.

### Introduction

The development of science and technology, the latest technology requires highly skilled workers. Therefore, today the situation when a student begins to work before the end of the educational institution on many sides is justified. Especially if a student works in a specialty. Also, given the socio-economic situation in the country, when parents are no longer able to help children-students, young people are forced to seek employment. And more and more often there are issues of a legal nature regarding the regulation of labor relations with students who combine work with study.

### Formulation of problem

Several widespread situations are considered, which in practice often cause law questions regarding the regulation of labor relations with students who combine work with study.

To accept a student of full-time education on a part-time work or to consider the enterprise the main place of his work? The question is fundamental, as it is related to the conduct of a work book.

The clarifications provided by the State Department for the Supervision of Compliance with Labor Law have changed year by year. The Department substantiates the position that full-time students can be hired only on a conditional basis. This opinion is based on the Law of Ukraine "On Employment of the Population", which stipulates that persons studying in secondary schools and higher educational establishments are in work persons.

Based on the latest explanations normative regulation of employment of day-care students, the main points of the state regulation of the employment of students are highlighted.

The current labor law does not contain a definition of the concept of the main place of work or part-time work. However, the work of a student who attends full-time study forms can not be considered as part-time. As for full-time students, during the studying between them and educational institutions there is no employment relationship and no employment contract. Therefore, such studying is not the main work of the student.

Minor student workers have the same labor rights and responsibilities as other employees. However, when employing first-year students, employers must monitor whether there are among them minors who are provided with special employment and labor requirements.

Article 45 of the Constitution of Ukraine stipulates that the worker is guaranteed the length of working time established by law. Law relations, which determine the length, composition, mode and procedure for recording working time, are regulated by the Labor Code of Ukraine (hereinafter - the Labor Code) and other normative-legal acts.

### Purpose of research

The purpose of the paper is to consider some of the most common situations, which in practice often raise questions, as well as suggest some recommendations, taking into account the unresolved law relationship in this matter.

Firstly, an explanation regarding the normative regulation of the employment of full-time undergraduate students, which existed during the last ten years.

The first question that arises immediately is to take a student of full-time part-time or consider the company as the main place of his work. The question is fundamental, since it is connected with the conduct of the labor book, and the Code of Labor Laws of Ukraine (hereinafter - the Labor Code) does not give a concrete answer, moreover, it does not mention it at all.

### Results of research

Article 43 of the Constitution of Ukraine defines the right of every citizen to work, including the possibility of earning a living for work, which he freely chooses or freely agrees to. In accordance with Article 2 of the Labor Code, the state guarantees the right of citizens to work. For the work performed by the employee (citizen), the owner or his authorized body pays his salary - a remuneration, calculated, as a rule, in monetary terms (Article 94 of the Labor Code, Article 1 of the Law of Ukraine "About payment of labor" dated March 24, 1995, No. 108/95 -BR)

In pp. 7 clause 1 of Art. 1 Law of Ukraine "On Employment of the Population" dated 05.07.2012 No. 5067-VI (hereinafter - the Law № 5067-VI) stipulates that employment is not prohibited by law the activities of persons connected with the satisfaction of their personal and social needs in order to receive income (wages) in monetary or other form. And according to Part 1 of Art. 4 Publication No. 5067-VI also covers the number of full-time students enrolled in higher education and combines work with the work. In addition, the Law of Ukraine "On Education" dated May 23, 1991 No. 1060-XII (Part 14, Clause 1, Article 51) and the Law of Ukraine "On Higher Education" dated July 1, 2014, No. 1556-VII (clause 3, p. 1 item 62) students have the right to work in accordance with the established procedure at extra-curricular time.

In subparagraph 7 paragraph 1 of art. 1 Law of Ukraine "On Employment of the Population" dated 05.07.2012 No. 5067-VI (hereinafter - the Law № 5067-VI) stipulates that employment is not prohibited by law the activities of persons connected with the satisfaction of their personal and social needs in order to receive income (wages) in monetary or other form. And according to Part 1 of Art. 4 Publication No. 5067-VI also covers the number of full-time students enrolled in higher education and combines education with work. In addition, the Law of Ukraine "On Education" dated May 23, 1991 No. 1060-XII (Part 14, Clause 1, Article 51) and the Law of Ukraine "On Higher Education" dated July 1, 2014, No. 1556-VII (clause 3, p. 1 art. 62) students have the right to work in accordance with the established procedure at extra-curricular time.

The current labor law does not contain a definition of the concept of the main place of work or part-time work. However, the work of a student who attends full-time study forms can not be considered as part-time. After all, in accordance with clause 1 of the Regulations on the conditions of work of the part-time employees of state enterprises, institutions and organizations, approved by a joint order of the Ministry of Labor, Ministry of Justice and

the Ministry of Finance of 28.06.1993 number 43, part-time is considered to be an employee that has, except his main, other regular paid work on the terms of an employment contract, the time off from the main work at the same enterprise, institution, organization or citizen (entrepreneur, private person) for hire.

The right to work for an employee is realized through the conclusion of an employment contract on work in an enterprise, an institution, an organization or with an individual (Article 2 of the Labor Code). As far as full-time students are concerned, during the studying between them and the educational institutions (in this case, between the National University of Life and Environmental Sciences (hereinafter - NUBiP)) there is no employment relationship and no employment contract. Therefore, such studying is not the main work of the student. Consequently, his work (in the case of employment) can not be regarded as being performed in addition to his main work, that is, a combination. In addition, the position that the work of an employment contract of persons who combine it with a full-time form of study is not a part-time, is set forth in the letter of the Ministry of Social Policy from 05/25/2015 № 198/06 / 186-15. It actually referred to paragraph 3 of paragraph 14 of the Verkhovna Rada of Ukraine "On the Practice of the Use of Labor Legislation by the Courts" of December 24, 1999, No. 13, which stipulates that work under an employment contract of persons who combine it with a full-time form of study, is not part-time and is paid on a general basis. The same position is set out in the letter of the Ministry of Social Policy of Ukraine dated July 25, 2014 № 301/13 / 116-14 concerning the recruitment of students. It states, in particular, that labor laws do not provide for restrictions on the combination of university students, including those studying in full-time (full-time) forms of study, work and education. Therefore, the employer has the right to employ such employees, including on a full-time basis. Consequently, the work of an employment contract of persons who combine it with full-time education is not a part-time job, and therefore involves keeping a work record in accordance with the general procedure and is the main place of work for such persons.

The question would not be so ambiguous if universities were obliged to keep work books (if any) or to open them to students who did not have a seniority before entering the university. Therefore, each educational institution decides on the issue of a work book at its discretion: some require it from the students (if any), while others are not interested at all whether the student worked before entering the university and whether he has a work record. In NUBiP Ukraine, these issues are solved by all regulatory documents. Upon entering the university, if the student presents a work book with preliminary records, the work book remains in the student's personal affair, and in the case of a student's employment, all entries are made by the higher education institution, according to paragraph 2.16 of the Instructions: "For students, students of courses, students, postgraduates and clinical residents who have work books, the educational institution (scientific institution) makes recordings about the time of study in day-time departments (including preparatory) of higher educational establishments. The reason for such records is the orders of the educational institution (scientific

institution) about admission to studies and deductions from among students, students, postgraduate students, clinical residents. " We will not dwell on the issue of another algorithm for calculating the scholarship.

If a student of full-time study at a job tells that he has submitted a work book to an educational institution, then it is more likely to be more convenient for him to hire a job on the terms of conciliation. However, this issue can also be dealt with differently depending on the circumstances. So, if you are obliged to apply for a work-book at the entrance to an educational institution (if it is available), then get it back, as mentioned above, it will be possible only after the completion of the training. In this case, the student is better off to work for a part-time job.

If the educational institution does not require a work-book, but accepts it on the initiative of the apprentice, then there is no hurry to record the study record there. This is especially true for non-state educational institutions whose students do not receive scholarships and, as a rule, begin to work at the first courses of study. Based on the interests of the student, such schools can give a work book (of course, if there is no record of entry into the studies), realizing that the record of training they can do at any time, and the student who works at the enterprise as the main the place of work, in the future there will be reasons to rely on social benefits (for example, it will affect the size of the payment card disability). Here, only from the employer and the student will depend on what conditions the latter will be employed.

We want to stay isolated on the employment of minors. Students, that work, have the same labor rights and responsibilities as other employees. However, when employing first-year students, employers must monitor whether there are among them minors who are subject to special employment and labor requirements.

Yes, Art. 50 Labor Code provides that the normal working hours of workers cannot exceed 40 hours per week. Part two of this article allows the possibility of establishing collective time agreements at enterprises and organizations with less duration of working time.

The guarantees provided by the legislator concerning the maximum length of working time apply to hired employees of enterprises of all forms of ownership. In accordance with Article 51 of the Labor Code, the reduced working hours are set:

- For workers aged 16 to 18 years - 36 hours a week, for people aged 15 to 16 (students aged 14 to 15 working during the holidays) - 24 hours a week. For students who work during the school year in their free time, the duration of working time cannot exceed half the maximum duration of working time provided for in par. 1 of this item for persons of the corresponding age;

- for workers employed in work with harmful working conditions - no more than 36 hours per week. The list of manufactures, shops, professions and positions with harmful working conditions, the work of which gives the right to a shorter working week, is determined by the decision of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 21.02.2001 No. 163.

It should be borne in mind that, in accordance with the order of the Ministry of Labor and Social Policy of Ukraine of 23.03.2001 №122, the reduced duration of the working week is established by a collective agreement depending

on the results of certification of workplaces in accordance with the Procedure for conducting certification of workplaces under the terms of work, approved by the decree Cabinet of Ministers of Ukraine from 01.08.92 № 442.

At the same time, it should be noted that a student who studies in a permanent (special) department of an educational institution can perform his / her duties only during his / her free time:

on weekdays - after classes (in the evening or during "windows" in the schedule of classes), on weekends or during the holidays.

Students who are studying on an individually defined schedule must make sure that there is no "overlap" with the time of individual training or examinations. Therefore, in our university, students who translate into an individual chart receive a paper version of an individual chart and, as a matter of necessity, bypass teachers, receive tasks, and determine the time of attestation. With the introduction of the MOODLE distance learning at the university, it was much easier to learn from an individual curriculum, and to teach and supervise the learning process.

In Part 1 of Art. 56 of the Labor Code defined that an agreement between the employee and the owner or the body authorized by him may be established both during hiring and subsequently part-time or part-time working weeks, and in Part 2 of this article it is established that wages in these cases is carried out in proportion to the time worked or depending on the output. That is, the mode of work of students will depend on the schedule of studying, and the payment of labor - on the duration of the performance of labor duties.

Part-time can be set as: part-time working day (ie, reducing the duration of daily work for a predetermined number of hours); part-time working week (in which the normal working day is maintained, but the number of working days per week decreases); a combination of part-time working day and part-time working week (for example, a working day of 5 hours at 4 working days per week).

Please note that part-time work can be set after an employer's and student's agreement for a certain period or without a time limit.

Of course, in the obligatory order part-time work is set up for: pregnant women; women with a child under the age of fourteen or a child with a disability; caring for a sick family member according to a medical opinion. None of these categories are students. But, for example, according to art. 186 Labor Code guarantees, established by Art. 56 Labor Code, also apply to parents raising children without a mother (in particular, in case of prolonged stay of a mother in a hospital), as well as guardians (trustees), one of the foster parents, one of the parent-educators, which is possible for some students.

Persons who work part-time, enjoy the same rights as those who work under normal working hours. They are given a vacation of the same duration, provided weekends and holidays, the time of work is credited to the length of service. According to Art. 57 Labor Code the time for the beginning and end of daily work (change) is provided by the rules of the internal labor regulations and the schedules of variability in accordance with the legislation. According to Art. 142 Labor Code Rules of the internal labor

regulations are approved by labor collectives on the basis of the submission of the owner or authorized by him and the elective body of the primary trade union organization (trade union representative) on the basis of standard rules. In addition, Art. 7 of the Law of Ukraine "On Collective Agreements and Agreements" dated July 1, 1993 No. 3356-XII stipulates that the obligations of the parties to regulate production, labor, socio-economic relations, in particular, with regard to the regime of work and the length of working time, are set out in a collective agreement.

Therefore, we emphasize once again that these issues should be written in an employment contract. When having a few jobs alternating the shifts must be uniform in accordance with the order established by the rules of internal labor regulations. Switching from one shift to another, as a rule, should take place every working week in hours defined by the variables. The duration of the interruption in the work between the changes must be not less than the duration of the working time twiced in the previous change (including the time of the break for lunch). The appointment of an employee to work during two changes in a row is prohibited (Articles 58, 59 of the Labor Code). In practice, unfortunately, these requirements are not fulfilled by the employer. And students do not follow the requirements regarding the length of the work shift. Themselves are begging a working day without interruptions, a few changes in a row. Of course, at their age, such a load is not yet reflected on health. More than once, students, having listened to several lectures, immediately go to work, then stay on the night shift, and in the morning, on classes, especially on the first, they try to sleep. Accordingly, about what kind of learning can be talked.

### Conclusions

1. On the basis of the foregoing, we draw conclusions: the work of a student studying on a full-time form of study can not be regarded as a combination, that is because learning is not the main work of the student; student workers have the same labor rights and responsibilities as other employees; while employing first-year students, employers must monitor whether there are among them minors for whom the legislation provides special requirements for employment and fulfillment of labor duties; the student's work regime will depend on the schedule of training, and the wage will depend on the duration of the labor duties.

2. Based on Art. 7 of the Law of Ukraine "On Collective Contracts and Agreements", which stipulates that the obligations of the sides to regulate production, labor, socio-economic relations, in particular with regard to the regime of work and the length of working time, are set out in a collective agreement. Therefore, emphasizing once again that these issues should be voiced and written in an employment contract.

### References

1. The Law of Ukraine "On Occupational Safety" in the wording of November 21, 2002.
2. The Law of Ukraine "On Compulsory State Social Insurance against Accident at Work and Occupational Disease that Caused Disability".
3. Legislation of Ukraine on labor protection (a collection of normative documents., 4 t. - K.: State Committee of Ukraine for Supervision of Labor Protection, Osnova, 1995.
4. The Law of Ukraine "On Education" No. 1060-XII of 23.05.1991 (subparagraph 14, paragraph 1, Article 51) and the Law of Ukraine "On Higher Education" dated July 1, 2014, No. 1556-VII (paragraph 3 of clause 1 Article 62)
5. Law of Ukraine "On Employment of the Population" of 1 March 1991 No. 803-XII
6. Article 15 of the Law of Ukraine "On Vacations" dated November 15, 1996 No. 504/96-VR).
7. The Code of Labor Laws of Ukraine (Revision of 10.11.2018, basis -2542-VIII)  
(Article 2, Part 2 of Article 24, Articles 38, 39, 40, Part 1, Article 48, Article 50, Article 51, Part 1, Article 56, Article 94, Article 187- 200; st.201-204;) st.216-217; p.6 pp. 1 pp. 232; Part 6 of the Art. 235,238.
8. Art. 1 3Y "About payment of labor" dated March 24, 1995, № 108/95-BP).  
Part 1 of Art. 4 lesson № 5067-VI
9. pp. 7 clause 1 of Art. 1 Law of Ukraine "On Employment of the Population" dated 05.07.2012 No. 5067-VI (hereinafter - the Law № 5067-VI)
10. Letter of the Ministry of Social Policy of 05.05.2015 № 198/06 / 186-15.
11. Letter of the Ministry of Social Policy of Ukraine dated July 25, 2014 № 301/13 / 116-14
12. Letter from the State Department for Supervision of Compliance with the Labor Law of August 8, 2002, No. 010-777.
13. Clause 1.4. Instruction on the procedure for conducting work books of workers (approved by the order of the Ministry of Labor of Ukraine, Ministry of Justice of Ukraine, Ministry of Social Protection of the Population of Ukraine dated July 29, 1993 No. 58)
14. Letter from the State Department for Supervision of Compliance with the Labor Law of August 20, 2003 No. 013-1229-22
15. Resolution of the Plenary Session of the Supreme Court of Ukraine "On the Practice of the Application by the Courts of Labor Payments Legislation" of December 24, 1999, No. 13.
16. Part 3, Clause 14 of the Resolution of the Supreme Court of Ukraine "On the Practice of the Use by the Courts of the Law on Remuneration of Work" of December 24, 1999, No. 13.
17. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 28 June 1997. No. 634 "On Approval of the Procedure, Duration and Conditions for the Provision of Annual Vacations for Workers Studying at Higher Educational Institutions with Evening and Extramural Forms of Education, where the educational process has its own peculiarities"
18. State sanitary norms and rules "Hygienic classification of labor on the indicators of harmfulness and danger factors of the production environment, the severity and intensity of the labor process", approved by the order of the Ministry of Health of Ukraine from 08.04.2014 number 248.

19. Order of the Ministry of Health of Ukraine of 25.05.2006 № 319.

20. Order of the Ministry of Labor and Social Policy of Ukraine dated March 23, 2001 №122

21. The procedure for the certification of workplaces under the terms of work, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine from 01.08.92, No. 442.

22. [https://www.sop.com.ua/article/654-triandid-robochogo-chasu?utm\\_source=Email&utm\\_medium=letternews&utm\\_campaign=letternews\\_SOP02032018&ustp=F](https://www.sop.com.ua/article/654-triandid-robochogo-chasu?utm_source=Email&utm_medium=letternews&utm_campaign=letternews_SOP02032018&ustp=F)

23. Fundamentals of labor protection: the textbook / Zaporozhets O.I.; ed. prof. OI Zaporozhets. Kyiv: Publishing Center of the Central Library, 2018. 264 p.

### Список літератури

1. Закон України "Про охорону праці" в редакції від 21 листопада 2002 р.

2. Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності".

3. Законодавство України про охорону праці (збірник нормативних документів. У 4 т. К.: Держнаглядохоронпраці; Основа, 1995.

4. Законом України «Про освіту» від 23.05.1991 № 1060-XII (ч. 14 п. 1 ст. 51) та Законом України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 № 1556-VII (пп. 3 п. 1 ст. 62).

5. Законом України «Про зайнятість населення» від 1 березня 1991 р. № 803-XII

6. ст.153акону України «Про відпустки» від 15 листопада 1996 р. № 504/96-ВР).

7. Кодекс законів про працю України (Редакція від 11.10.2018, підстава -2542-VIII) (ст. 2; ч. 2 ст. 24; ст. 38, 39, 40; ч. 1 ст. 48; ст. 50; ст. 51; ч. 1 ст. 56; ст. 94; ст. 187–200; ст.201-204; ) ст.216-217; п.6 ч. 1ст. 232; ч. 6 ст. 235,238.

8. ст. 1 ЗУ «Про оплату праці» від 24.03.1995 № 108/95-ВР). ч. 1 ст. 4 ЗУ № 5067-VI

9. пп. 7 п. 1 ст. 1 ЗУ «Про зайнятість населення» від 05.07.2012 № 5067-VI (далі – ЗУ № 5067-VI )

10. Лист Мінсоцполітики від 25.05.2015 № 198/06/186-15.

11. Лист Мінсоцполітики від 25.07.2014 № 301/13/116-14.

12. Лист Державного департаменту нагляду за додержанням законодавства про працю від 8 серпня 2002 р. № 010-777.

13. п. 1.4 Інструкція про порядок ведення трудових книжок працівників( затвердженої наказом Міністерства праці України, Міністерства юстиції України, Міністерства соціального захисту населення України від 29 липня 1993 р. № 58)

14. Лист Державного департаменту нагляду за додержанням законодавства про працю від 20 серпня 2003 р. № 013-1229-22

15. Постанова Пленуму Верховного Суду України «Про практику застосування судами законодавства про оплату праці» від 24 грудня 1999 р. № 13.

16. ч.3 п.14 постанови Верховного Суду України «Про практику застосування судами законодавства про оплату праці» від 24.12.1999.

17. Постанова Кабінету Міністрів України від 28червня 1997р. № 634 «Про затвердження Порядку, тривалості та умов надання щорічних відпусток працівникам, які навчаються у вищих навчальних закладах з вечірньою та заочною формами навчання, де навчальний процес має свої особливості»

18. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджені наказом МОЗ України від 08.04.2014 № 248.

19. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 25.05.2006 № 319.

20. Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 23.03.2001 №122.

21. Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.92 № 442.

22. [https://www.sop.com.ua/article/654-trivalst-robochogo-chasu?utm\\_source=Email&utm\\_medium=letternews&utm\\_campaign=letternews\\_SOP02032018&ustp=F](https://www.sop.com.ua/article/654-trivalst-robochogo-chasu?utm_source=Email&utm_medium=letternews&utm_campaign=letternews_SOP02032018&ustp=F)

23. Основи охорони праці: підручник. Запорожець О.І; за ред. проф. О.І. Запорожця. Київ: Видавничий центр ЦУЛ, 2018. 264 с.

### ПРАЦЕВЛАШТУВАННЯ СТУДЕНТІВ ВНЗ У ПОРІВНЯННІ З НОРМАТИВНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ПРАЦЕВЛАШТУВАННЯ

*Л. Е. Пискунова, Т. О. Зубок, Б. В. Кислицький*

**Анотація.** Розглянуто кілька найпоширеніших ситуацій, які на практиці найчастіше викликають питання правового характеру щодо регулювання трудових правовідносин зі студентами, які поєднують роботу з навчанням.

Приймати студента денної форми за сумісництвом чи вважати підприємство основним місцем його роботи? Питання є принциповим, оскільки пов'язане із веденням трудової книжки.

Під час навчання між студентами денної форми навчання і навчальними закладами не виникають трудові стосунки і не підписується трудовий договір. Тому таке навчання не є основною роботою студента.

Неповнолітні студенти- працівники мають такі самі трудові права та обов'язки, як і інші працівники.

**Ключові слова:** Кодекс законів про працю України, Державний департамент нагляду за додержанням законодавства про працю, Інструкції про порядок ведення трудових книжок, трудове законодавство, робота за трудовим договором, трудова книжка, сумісництво, грошовий вираз, працевлаштування неповнолітніх, НУБіП України.

### РАБОТОУСТРОЙСТВО СТУДЕНТОВ ВУЗ В СРАВНЕНИИ С НОРМАТИВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

*Л. Е. Пискунова, Т. О. Зубок, Б. В. Кислицький*

**Аннотация.** Рассмотрены несколько распространённых ситуаций, которые на практике чаще всего вызывают вопрос правового характера по поводу регулирования трудовых отношений со студентами, которые объединяют работу с учёбой. Принимать студента дневной формы по совместительству или считать предприятие основным местом его работы? Вопрос очень важен, поскольку связан с ведением трудовой книги.

Во время учёбы между студентами дневной формы обучения и учебными заведениями не возникают трудовые отношения и не заключается трудовой договор. Поэтому такое обучение не является основной работой студента.

Несовершеннолетние студенты-работники имеют такие же трудовые права и обязанности, как и другие работники.

**Ключевые слова:** Кодекс законов о труде Украины, Государственный департамент надзора за соблюдением законодательства о труде, Инструкции о порядке ведения трудовых книжек, трудовое законодательство, работа по трудовому договору, трудовая книжка, совместительство, денежное выражение, трудоустройство несовершеннолетних.

**Л. Е. Піскунова** ORCID 0000-0002-6297-587X.

**Т. О. Зубок** ORCID 0000-0001-8217-866X.

**Б. В. Кислицький** ORCID 0000-0001-6258-189X.

УДК 621.222

## ВПЛИВ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАКТОРНИХ ГІДРОЦИЛІНДРІВ НА ЇХ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

О. В. Надточій, Л. Л. Тітова

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: titovall@ukr.net.*

*Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.*

*Бібл. 10, рис. 5, табл. 1.*

**Анотація.** Проведено теоретичний аналіз впливу силового режиму роботи гідроциліндра на його працездатність. Визначено п'ятикратне підвищення величини реакцій з боку кришки та гільзи циліндра залежно від положення поршня гідроциліндра задньої навіски трактора. Визначені основні причини зношення робочих поверхонь тертя у вертикальній площині, що призводять до утворення прогину гідроциліндра і, як наслідок, збільшення швидкості зношення та скорочення ресурсу.

**Ключові слова:** гідроциліндр, відмови, радіальна реакція, працездатність, контактні напруження, сила тертя, гідравлічний тиск.

### Постановка проблеми

У силових гідравлічних приводах сільськогосподарської техніки застосовуються гідроциліндри, робота яких полягає в перетворенні енергії, отриманої через робочу рідину від насоса, в механічну енергію зворотно-поступального руху для переміщення різних навісних та причіпних знарядь.

За даними останніх досліджень, частка поступових відмов гідроциліндрів тракторів ЮМЗ, МТЗ на 70% від загального ремонтного фонду пов'язана зі зношеністю його деталей. При цьому 80% -ний гамма-ресурс нових гідроциліндрів складає близько 5000 годин роботи трактора, що майже в 2 рази нижче ресурсу, зазначеного в документації розробниками [1-3]. При цьому безвідмовність гідроциліндра безпосередньо визначається герметизуючою здатністю його ущільнюючих вузлів і навантажувальною здатністю довгомірних елементів (штоку, циліндра).

### Аналіз останніх досліджень

Умови експлуатації гідроциліндра навіски трактора характеризуються двома групами факторів: зовнішніми (тиск, температура, вологість і

запиленість навколишнього повітря) і внутрішніми (чистота робочої рідини в гідросистемі, її тиск, температура, в'язкість, щільність (питома вага)). Робочий процес гідроциліндра залежить від кута його нахилу до поверхні тяжіння (горизонту) і робочим переміщенням штока [4, 5]. Він включає в себе інтенсивність роботи гідроциліндра в часі та швидкість руху штока. До навантажень, що діють на гідроциліндр в загальному випадку, слід віднести статичні і динамічні навантаження, а також навантаження, зумовлені експлуатаційною деформацією гідроциліндра і кінематикою приводу.

Очевидно, що з позиції надійності гідроциліндра всі перераховані вище величини мають значення при оцінці показників, головним чином, таких властивостей надійності, як безвідмовність і довговічність.

### Мета досліджень

Домінуючий вплив на надійність гідроциліндрів надають експлуатаційні фактори, в тому числі силові взаємодії деталей тертя.

### Результати досліджень

Розглянемо умови роботи деталей силових гідроциліндрів на прикладі гідроциліндра ЦГ-100.40x200.01-03, встановленого на навіску трактора ЮМЗ, МТЗ, який має такі технічні характеристики: максимальний гідравлічний тиск оливи -  $P_r = 16$  МПа; діаметр поршня -  $d_n = 100$  мм; хід поршня -  $S = 200$  мм; діаметр штока -  $d_{ш} = 40$  мм; діаметр пальця шарніра  $d_{шш} = 25$  мм; тягове зусилля на штоку -  $P_{ГЦ} = 105,5$  кН; номінальна швидкість руху поршня -  $V_{П} = 0,15$  м/с.

Приклади можливих положень ланок гідроциліндра при підйомі вантажу від початкового



$$R_{uc}^{\max} = \frac{0.25 \cdot \pi \cdot (d_{II}^2 - d_{III}^2) \cdot P_{\Gamma}^{\max}}{1 + f \cdot f_{uc} \cdot d_{mu}/50} \quad (5)$$

Зважаючи на значення коефіцієнті тертя деталей штокового і поршневого вузлів, а саме  $f = 0,1$  (тертя сталь по сталі із змащуванням) і  $f_{uc} = 0,15$  (тертя сталь по сталі без змащування) в шарнірному з'єднанні підставивши в (5) отримуємо, що при максимальному тиску гідравлічної рідини  $P_{\Gamma}^{\max} = 16$  МПа максимальне значення реакції  $R_{uc}^{\max} = 104720$  Н.

Тоді складові, які діють уздовж ( $R_p$ ) і впоперек ( $R_B$ ) важеля визначаємо:

$$\begin{aligned} R_p &= R_{uc}^{\max} \cdot \cos(\alpha) = \\ &= 104720 \cdot \cos(39.26) = 81077 \text{ Н,} \\ R_B &= R_{uc}^{\max} \cdot \sin(\alpha) = 104720 \cdot \sin(39.26) = \\ &= 66072 \end{aligned} \quad \text{Н} = \text{const.} \quad (6)$$

Для довільного положення важеля навіски

$$\begin{aligned} R_p &= \frac{R_B}{\tan(\alpha)} \cdot \\ \sum (F_i)_x &= R_p \cdot \cos(\alpha) + R_B \cdot \sin(\alpha) - \\ &- 0.25 \cdot \pi (d_{II}^2 - d_{III}^2) \cdot P_{\Gamma} + 2 f R = \\ &= \frac{R_B \cdot \cos(\alpha)}{\tan(\alpha)} + R_B \cdot \sin(\alpha) + \\ &+ 2 \cdot f \cdot R - 0.25 \cdot \pi (d_{II}^2 - d_{III}^2) \cdot P_{\Gamma} = 0 \end{aligned} \quad ; \quad (7)$$

Тиск в гідросистемі  $P_{\Gamma}$  протягом робочого руху поршня змінюється виходячи з (7) наступним чином:

$$P_{\Gamma} = \frac{\frac{R_B}{\sin(\alpha)} + 2 f R}{0.25 \cdot \pi (d_{II}^2 - d_{III}^2)} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sum (F_i)_x &= R_{uc}^{\max} - \\ &- 0.25 \cdot \pi (d_{II}^2 - d_{III}^2) \cdot P_{\Gamma} + 2 f R = 0 \\ \sum (F_i)_y &= R_{II} - R_K = 0; \quad R_{II} = R_K = R; \\ \sum (M_i)_B &= R \cdot (50 + S_x) - \\ &- M_{mp}^C = R \cdot (50 + S_x) - \\ &- 0.5 \cdot R_{uc} \cdot f_{uc} \cdot d_{mu} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Прирівнявши (9) і (11) маємо рівність:

$$\begin{aligned} 0.125 \cdot \pi (d_{II}^2 - d_{III}^2) \cdot P_{\Gamma} f_{uc} d_{mu} &= \\ &= R(50 + S_x + f f_{uc} d_{mu}) \end{aligned} \quad (12)$$

звідки

$$R = \frac{0.125 \cdot \pi (d_{II}^2 - d_{III}^2) \cdot P_{\Gamma} f_{uc} d_{mu}}{(50 + S_x + f f_{uc} d_{mu})},$$

Підставляючи вираз (8) з врахуванням (6) у вираз (12):

$$\begin{aligned} 0.125 \cdot \pi (d_{II}^2 - d_{III}^2) \cdot \\ \cdot \frac{R_B / \sin(\alpha) + 2 f R}{0.25 \cdot \pi (d_{II}^2 - d_{III}^2)} \cdot f_{uc} \cdot d_{mu} &= \\ R = \frac{R_B / \sin(\alpha) + 2 f R}{(50 + S_x + f f_{uc} d_{mu})} \cdot f_{uc} \cdot d_{mu} \end{aligned} \quad (13)$$

$$d_{II} := 100 \quad d_{III} := 40 \quad d := 25 \quad f := 0.1 \quad f_{uc} := 0.15$$

$$i := 0..10$$

$$R := \frac{33036 \cdot f_{uc} \cdot d}{\sin(\alpha) (50 + S + f \cdot f_{uc} \cdot d - f)} \quad R_{uc} := \frac{66073}{\sin(\alpha)} - 2 \cdot f \cdot R \quad P_{\Gamma} := \frac{\frac{66073}{\sin(\alpha)} + 2 \cdot f \cdot R}{0.25 \cdot \pi \cdot (d_{II}^2 - d_{III}^2)} \quad F_{тр} := f \cdot R$$

|     |                       |                   |                       |                   |        |                  |        |
|-----|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|--------|------------------|--------|
| R = |                       | R <sub>uc</sub> = |                       | F <sub>тр</sub> = |        | P <sub>Γ</sub> = |        |
|     | 0                     |                   | 0                     |                   | 0      |                  | 0      |
| 0   | 3.265·10 <sup>3</sup> | 0                 | 8.689·10 <sup>4</sup> | 0                 | 326.5  | 0                | 13.369 |
| 1   | 2.028·10 <sup>3</sup> | 1                 | 7.561·10 <sup>4</sup> | 1                 | 202.8  | 1                | 11.584 |
| 2   | 1.456·10 <sup>3</sup> | 2                 | 6.983·10 <sup>4</sup> | 2                 | 145.6  | 2                | 10.678 |
| 3   | 1.142·10 <sup>3</sup> | 3                 | 6.697·10 <sup>4</sup> | 3                 | 114.2  | 3                | 10.22  |
| 4   | 951.457               | 4                 | 6.592·10 <sup>4</sup> | 4                 | 95.146 | 4                | 10.049 |
| 5   | 829.656               | 5                 | 6.633·10 <sup>4</sup> | 5                 | 82.966 | 5                | 10.104 |
| 6   | 752.213               | 6                 | 6.816·10 <sup>4</sup> | 6                 | 75.221 | 6                | 10.377 |
| 7   | 707.312               | 7                 | 7.164·10 <sup>4</sup> | 7                 | 70.731 | 7                | 10.901 |
| 8   | 691.35                | 8                 | 7.74·10 <sup>4</sup>  | 8                 | 69.135 | 8                | 11.773 |
| 9   | 708.345               | 9                 | 8.685·10 <sup>4</sup> | 9                 | 70.835 | 9                | 13.208 |
| 10  | 782.181               | 10                | 1.043·10 <sup>5</sup> | 10                | 78.218 | 10               | 15.849 |

Рис. 3. Лістинг розрахунку реакцій шарніру і гільзи та сил тертя.

Fig. 3. Listing of calculation of reactions and the hinge sleeve and the friction forces.

Після нескладних перетворень (13) отримаємо:

$$R = \frac{R_B f_{uc} d_{nu}}{2 \sin(\alpha) (2 f_{fu} \cdot d_{nu} + 50 + S_x - f)} = \frac{33036 f_{uc} d_{nu}}{\sin(\alpha) (2 f_{fu} \cdot d_{nu} + 50 + S_x - f)} \quad (14)$$

З рівняння (9) враховуючи (6) і (8) маємо наступний вираз:

$$R_{uc} = \frac{66072}{\sin(\alpha) (2 f_{fu} \cdot d_{nu} / 50 + S_x - f)} \quad (15)$$

На рис. 4 і рис. 5 представлені залежності реакцій шарніру  $R_{uc}$ , кришки і гільзи  $R_{II} = R_K = R$  та сили тертя між штоком і кришкою гідроциліндра ( $F_{mp} = fR$ ) і зміну робочого тиску  $P_r$  гідросистеми залежно від ходу поршня  $S$  гідроциліндра, отримані з врахуванням (14), (15) та (8).

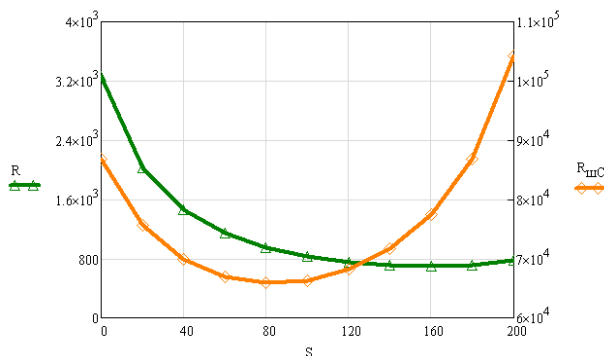


Рис. 4. Залежність значень реакцій шарніру та реакцій кришки і гільзи.

Fig. 4. Dependence of the values of the joint reactions and the reactions of the cap and the sleeve.

Даний рисунок демонструє, що мінімального значення реакція  $R_{uc}$  і тиск в гідросистемі  $P_r$  досягаються при положенні поршня  $S = 80$  мм і становить 691,35 Н (табл. 1). Це зв'язано з тим, що при цих положеннях поршня, кут між віссю штока і важелем навіски трактора складає кут близький до 90°, реакція шарніра  $R_{uc}$  при цьому кількісно рівна реакції підйому навіски  $R_{uc} = R_B$ .

При значеннях кута між віссю штока і важелем навішування трактора, відмінному від 90°, гідроциліндру необхідно подолати більший опір для піднімання навіски, а для цього необхідне підвищення тиску в гідросистемі  $P_r$ , що в свою чергу призводить до збільшення і реакції  $R_{uc}$ .

Максимальні значення реакції  $R_{uc}$  і тиску в гідросистемі  $P_r$  досягаються на кінці підйому навіски трактора. В цьому положенні значення сили тертя і реакції кришки і гільзи  $R$  мінімальні. Ці значення відповідають ходу поршня  $S = 160$  мм. Максимальні ж значення сили тертя  $F_{mp}$  і реакції

кришки і гільзи  $R$  досягаються на початку підйому навіски – при максимально близькій відстані між поршнем і кришкою.

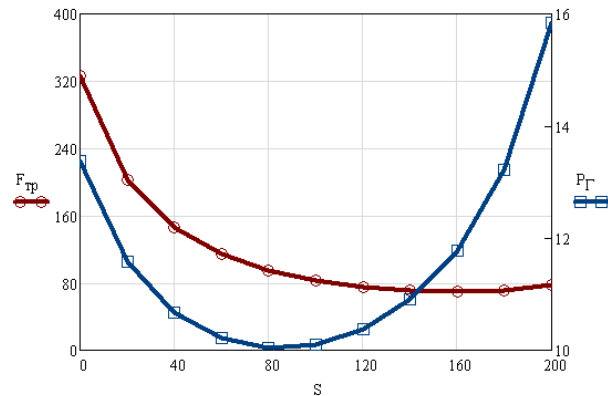


Рис. 5. Залежність значень сили тертя та тиску в гідросистемі.

Fig. 5. Dependence of the values of the friction force and hydraulic pressure.

Однак, більше половини ходу циліндра, при положеннях поршня від 86,52 до 200 мм (табл. 1), величина сил реакцій кришки і гільзи  $R_{II} = R_K = R$  змінюється незначно і має середнє значення, рівне приблизно 700 Н. Таким чином, значення сил реакцій  $R$  і сила тертя  $F_{mp}$  деталей штокового і поршневого ущільнюючих вузлів змінюються в процесі всього робочого циклу гідроциліндра, що призводить до нерівномірного зносу робочих поверхонь зон тертя.

Слідуючи методиці [6] оцінимо рівень максимальних контактних напружень в зоні тертя «передня кришка циліндра - шток».

Паспортні значення з'єднання, що контактує: діаметр отвору кришки  $d_{KP} = 40^{+0.05}$  мм; довжина зони контакту  $l = 35$  мм; діаметр штока гідроциліндра  $d_{ш} = 40^{-0.032}_{-0.1}$  мм; середнє значення

$$\Delta = \left( \frac{40 + (40 + 0.05)}{2} \right) - \left( \frac{(39 - 0.032) + (39 - 0.1)}{2} \right) = 40.025 - 39.934 = 0.091$$

мм, а відношення середніх діаметрів кришки і штока

$$a = \frac{40.025}{39.934} = 1.0023.$$

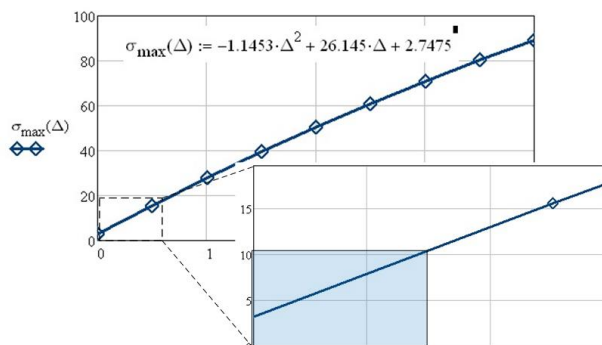
Для максимального значення реакції  $R_{max} = 3265$  Н (рис. 3, рис. 4) величина зусилля для циліндрів однакового розміру стиснення при відсутності зазору ( $a = 1$ ) складе:

$$\sigma_{CT} = \frac{R_{max}}{l \cdot d_{ш}} = \frac{3265}{35 \cdot 40} = 2,33 \text{ МПа},$$

Максимальні контактні напруження по Герцу визначаємо за залежністю:

$$\sigma_{max} = 0.6 \cdot \sigma_0' \sqrt{\sigma_{CT} \cdot E} \quad (16)$$

Безрозмірна величина  $\sigma_0'$  визначається із графіка [6] для значення циліндра в циліндричному увігнутому гнізді.



**Рис. 6.** Залежність максимальних контактних навантажень від зазору між штоком і отвором циліндру.

**Fig. 6.** Dependence of maximum contact loads of clearance between the rod and cylinder bore.

На рис. 6 приведено наближені залежності максимальних контактних напружень від зазору (між штоком і кришкою циліндра).

Виконаний розрахунок для варіанту з'єднання: «сталь40Х – сірий чавун СЧ 21-40». Для цього з'єднання  $E = 1,24 \cdot 10^5$  МПа.

З рис. 6 слідує, що при  $a = 1,0023$  (початковий зазор  $\Delta = 0,092$  мм) максимальні контактні напруги рівні  $\sigma_{\max} = 2,774$  МПа; при  $a = 1,0062$  ( $\Delta = 0,30$  мм) напруги зростають до 10,44 МПа, тобто на 276% (майже втричі).

### Висновки

Таким чином, з проведеного теоретичного аналізу випливає, що на працездатність гідроциліндра значний вплив робить силовий режим роботи, який призводить до виникнення значних реакцій з боку кришки та гільзи циліндра. При цьому величина реакцій в передньому положенні поршня практично майже п'ять разів більше реакцій, що реалізуються в задньому положенні. Все це зумовлює виникнення у вертикальній площині значне зношення робочих поверхонь деталей, які контактують і збільшення зазорів в рухомих ущільнювальних вузлах. У свою чергу зростання зазорів призводить з часом до утворення значного прогину гідроциліндра у вертикальній площині, в результаті якого реакції в зоні тертя підвищуються, а це призводить до збільшення швидкості зношення і скорочення ресурсу. Виходом з цього положення може бути подальший аналіз матеріалів для заміни штатного ущільнення на полімерне, для зниження максимальних контактних напружень і, як наслідок, збільшення ресурсу роботи гідроциліндра.

### Список літератури

1. Дьяченко В. Г. Теория двигателей внутреннего сгорания: учеб. для вузов. Харьков: ХНАДУ, 2009. 340 с.
2. Иванов Р. В. Диагностирование ДВС по параметру мощности механических потерь: автореф. дис. Канд. техн. наук. Волгоград, 2010. 40 с.
3. Ждановский Н. С. Термодинамический анализ параметров конца сжатия при пуске дизеля. Энергомашиностроение. 2017. №8. С. 18-19.
4. Дробышевский Ч. В., Боровиков В. Ф., Фахрутдинов А. Г., Лазурко В. П. Оценка термодинамических параметров заряда на пусковых режимах и возможности пуска. Двигателестроение. 2019. №11. С. 9-10.
5. Болдырев И. В. Математическая модель пуска двигателя. Двигателестроение. 2014. №6. С. 14-16.
6. Сараева И. Ю. Исследование закона распределения случайной величины компрессии // Автомобильный транспорт. 2011. №29. С. 199-206.
7. Суранов Г. И. Уменьшение износа автотракторных двигателей при пуске. Москва. Колос, 2012. 143 с.
8. Понизовский А. Ю. Оценка технического состояния цилиндропоршневой группы автотракторных дизелей по разным расходам воздуха на впуске и выпуске в пусковом режиме: автореф. дис. Канд. техн. наук. Новосибирск, 2010. 111 с.
9. Пичугин А. И. Повышение эффективности диагностики цилиндро-поршневой группы автомобильных двигателей с помощью совершенствования методов и средств распознавания ее состояния. Автореф. дис. канд. техн. наук. Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2011. 23 с.
10. Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

### References

1. Dyachenko V. G. (2009). Theory of internal combustion engines: textbook. for universities. Kharkov: KHNADU, 340.
2. Ivanov R. V. (2010). Diagnosis of internal combustion engines by the parameter of the power of mechanical losses: abstract dis. Cand. tech. sciences. Volgograd, 40.
3. Zhdanovsky N. S. (2017). Thermodynamic analysis of compression end parameters at diesel start Power engineering. No. 8. 18-19.
4. Drobyshevsky Ch. V., Borovikov V. F., Fakhrutdinov A. G., Lazurko V. P. (2019). Evaluation of the thermodynamic parameters of the charge in starting conditions and the possibility of starting. Engine building. No. 11. 9-10.

5. Boldyrev I. V. (2014). Mathematical model of engine starting. Engine building. No. 6. 14-16.
6. Saraeva I. Yu. (2011). Investigation of the distribution law of a random value of compression. Automobile Transport. No. 29. 199-206.
7. Suranov G. I. (2012). Reduced wear on tractor engines during start-up. Moscow. Kolos, 143.
8. Ponizovsky A. Yu. (2010). Assessment of the technical condition of the cylinder-piston group of automotive diesel engines for various air flow rates at the inlet and outlet in the starting mode: abstract dis. Cand. tech. sciences. Novosibirsk, 111.
9. Pichugin A. I. (2011). Improving the efficiency of diagnosis of a cylinder-piston group of automobile engines by improving methods and means of recognizing its condition. Abstract. dis. Cand. tech. Sciences. Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova. Saratov. 23.
10. Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

**Key words:** hydraulic cylinder, failure, radial response, efficiency, contact voltage, friction force, hydraulic pressure.

**О. В. Надточій** ORCID 0000-0002-1849-9538.  
**Л. Л. Тітова** ORCID 0000-0001-7313-1253.

#### ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАКТОРНЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ НА ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

*А. В. Надточій, Л. Л. Тітова*

**Аннотация.** Проведен теоретический анализ влияния силового режима работы гидроцилиндра на его работоспособность. Определено пятикратное повышение величины реакций со стороны крышки и гильзы цилиндра в зависимости от положения поршня гидроцилиндра задней навески трактора. Определены основные причины износа рабочих поверхностей трения в вертикальной плоскости, приводящие к образованию прогиба гидроцилиндра и, как следствие, увеличение скорости износа и сокращения ресурса.

**Ключевые слова:** гидроцилиндр, отказ, радиальная реакция, работоспособность, контактные напряжения, сила трения, гидравлическое давление.

#### INFLUENCE OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF TRACTOR HYDROCYLINDERS ON ITS WORKERSHIP

*O. V. Nadtochy, L. L. Titova*

**Abstract.** The theoretical analysis of influence of the power mode of the hydraulic cylinder on its efficiency is carried out. A fivefold increase in the value of the reaction from the side of the cap and the cylinder sleeve is determined, depending on the position of the piston of the hydraulic cylinder of the tractor's rear end. The main causes of the wear of the working surfaces of friction in the vertical plane are determined, which leads to the formation of the deflection of the hydraulic cylinder and, as a consequence, an increase in the rate of wear and loss of the resource.

УДК 005.342:62-192

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ В СИСТЕМІ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

А. В. Новицький, З. В. Ружи́ло, О. О. Котречко

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: Novytskyy@nubip.edu.ua, ruzhylo@nubip.edu.ua*

*Історія статті: отримано – серпень 2019, акцептовано – листопад 2019.*

*Бібл. 32, рис. 0, табл. 1.*

**Анотація.** В статті розкрито сутність та визначені характерні ознаки формування та реалізації наукових досліджень в системі розвитку інноваційних процесів. Вони включають: удосконалення вже існуючих технологій та техніки; підготовку інженерно-технічних працівників, фахівців сервісної служби та операторів машин, обґрунтування їх професійно важливих якостей; послідовне використання принципово нових знань для забезпечення ефективності та надійності машин.

Перспективним напрямком забезпечення ефективності використання техніки є постійний моніторинг, оцінка та забезпечення показників її надійності на основі використання логіко-імітаційного моделювання та сучасних інформаційних технологій.

Розглянуто положення системи «людина-машина», коли вона поступово переходить в непрацездатний стан внаслідок «старіння» елементів і вузлів машини, а також втрати рівня працездатності персоналу при накопиченні втоми, зниження уваги і кваліфікації при управлінні складною технікою.

Представлена аналітична залежність для проведення кількісної оцінки втрати працездатності соціотехнічної системи при зниженні її надійності внаслідок старіння техніки і втоми оператора.

Запропоновано перспективний спосіб термічної обробки деталей, які виготовляються зі сталі 65Г. Використання перспективного способу підвищить довговічність робочих органів засобів для приготування і роздавання кормів. За рахунок вказаного способу зменшуються внутрішні напруження, стабілізується структура металу, значно покращуються показники пластичності і ударної в'язкості ножів, які виготовлені зі сталі 65Г.

**Ключові слова:** надійність, система, машина, інноваційні процеси, соціотехнічна система.

### Постановка проблеми

Українські аграрії в останні роки все більше звертають увагу на сучасні технології, а тому

машинобудівні заводи проводять переоснащення під сучасні потреби, пропонують якісну та технологічну техніку. Перед агропромисловим комплексом України стоїть важлива проблема підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки, а також зменшення втрат продукції при її функціонуванні [23]. Підвищення надійності сільськогосподарської техніки можливе за рахунок використання нових елементів та принципових схем реалізації конструктивних рішень на стадії проектування та виготовлення, а також своєчасного забезпечення працездатності агрегатів та вузлів в процесі експлуатації.

### Аналіз останніх досліджень

В нашій державі, для реалізації завдань з ефективного виробництва продукції тваринництва особливе місце займає годівля повноцінними кормовими сумішами. Існуючі засоби для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) характеризуються різноманітністю конструкцій як самих машин, так і окремих механізмів, що суттєво впливає на їх надійність. На поточний момент в Україні виробництвом сучасних засобів для приготування і роздавання кормів займається кілька машинобудівних підприємств: ВАТ «Брацлавський завод сільськогосподарських машин», ВАТ «Уманьферммаш» та ВАТ «Галещина Машзавод» [1, 29]. Рівень надійності вітчизняних ЗПРК, в значній мірі, досягається завдяки використанню основних вузлів і агрегатів від провідних світових виробників [8, 9]. Але, як показує аналіз, спроби створити вітчизняні ЗПРК на рівні кращих зарубіжних зразків закінчились дрібносерійним виробництвом. Вирішення організаційних і технічних питань, покращення експлуатаційних та зоотехнічних показників представлених об'єктів досліджень, можна розглянути на прикладі аналізу та синтезу основних механізмів ЗПРК. У цій ситуації сільськогосподарські виробники вимушені купувати імпортні ЗПРК, які досить дорогі в обслуговуванні і не завжди адаптовані

до існуючих приміщень тваринницьких ферм та умов експлуатації.

В останні роки в наукових статтях проводиться порівняльний аналіз багатофункціональних роздавачів-змішувачів з різними робочими органами та структурними схемами операцій, розглядаються напрями подальшого удосконалення конструкцій окремих механізмів [2, 9, 19, 20, 24, 30] та підвищення довговічності робочих органів [10, 26, 27].

Іншим перспективним напрямком забезпечення ефективності використання техніки є постійний моніторинг, оцінка та забезпечення показників їх надійності на основі використання логіко-імітаційного моделювання [12, 13, 15, 25, 29] та сучасних інформаційних технологій [8, 11, 14].

### Мета досліджень

Мета досліджень полягає у підвищенні надійності засобів для приготування і роздавання кормів як соціотехнічних систем в системі розвитку інноваційних процесів.

### Результати досліджень

В сучасних умовах, посилення конкурентоспроможності та надійності техніки на ринку та досягнення сталого розвитку заводу-виробника можливе за умов ефективної реалізації усіх основних складових інноваційного потенціалу: наукової, виробничо-технологічної, маркетингової, кадрової, матеріально-технічної, фінансової, інформаційної та інших.

Незважаючи на те, що в тваринництві використовуються різні технології приготування і роздавання кормів, а відповідно різні ЗПРК для їх реалізації, великі аграрні холдинги та компанії використовують машини іноземного виробництва, переважно Seko, De Laval, Marmix, SilokingSporti, Walker, Tatoma та багато інших [1, 29].

Але поряд з великою кількістю заводів-виробників та цілою гаммою сучасних ЗПРК, споживачів сільськогосподарської техніки цікавить питання їх обґрунтованого вибору, ефективного і надійного використання, сервісного обслуговування, підтримання працездатності [27, 28].

Аграрний ринок сільськогосподарської техніки останнього десятиліття характеризується тим, що більшість світових виробників та продавців техніки істотно скорочують перелік своїх брендів на користь більш якісної передпродажної підготовки та обґрунтованого після продажного обслуговування. Аналіз показує, що однією із стратегій відомих міжнародних компаній, є поступовий перехід від продажу окремих продуктів, тобто техніки, агрегатів, деталей, витратних матеріалів до реалізації технічних рішень [26]. Сьогодні, ці технічні рішення включають цілий спектр напрямів: навчання операторів, додаткове сервісне обслуговування, постачання запасних частин та витратних матеріалів.

Представники асоціації «Український клуб аграрного бізнесу» та компанії-лідери на аграрному ринку України, включаючи AGCO Corporation, New Holland, CASE IH, CLAAS, AgroGeneration розглядаючи тренди та прогнози розвитку техніки також вказують на те, що у 2019-2020 роках фокус їх уваги буде сконцентровано на наступних напрямках: технології; сертифікація техніки; інвестиції; стратегія розвитку дилерських мереж; кадри; запити аграрних холдингів [5].

Представлена інформація ще раз підтверджує, що відсутність по ряду позицій техніки вітчизняного виробництва, якісного сервісного обслуговування, дефіцит кадрів інженерно-технічних працівників та операторів машин змушує не лише великі холдинги та компанії, але й менші аграрні підприємства купувати більш дорогі, але конкурентні сільськогосподарські машини, які активно супроводжуються системою дилерського обслуговування у всіх регіонах України [5, 26]. Саме тому, при оновленні парку машин для приготування і роздавання кормів у тваринництві, аграрні підприємства роблять свій вибір на тих ЗПРК, які не лише ефективні та надійні у використанні, але й супроводжуються заводом-виробником на протязі всіх життєвих циклів машини. Тобто, холдинг, підприємство або ж фермер, який придбав сільськогосподарську машину, повинні стати складовою задекларованого заводом-виробником технічного рішення.

Але гарантом реалізації технічних рішень, обов'язковою їх складовою, яка дає йому можливість подальшого розвитку і перспективи є науковий супровід в межах розвитку інноваційних процесів та їх досліджень як соціотехнічних систем.

В умовах глобалізації економічного розвитку, Україні в сфері аграрного виробництва необхідно орієнтуватись на стратегії розвитку передових країн світу, а наукові дослідження та інноваційні процеси спрямовувати за наступними напрямками: удосконалення вже існуючих технологій та техніки; підготовка інженерно-технічних працівників, фахівців сервісної служби та операторів машин, обґрунтування їх професійно важливих якостей; послідовне використання принципово нових знань для забезпечення ефективності та надійності машин [6, 8, 16, 25, 29].

Шляхи реалізації проблем і технічних питань, які розглядаються в представлених дослідженнях, можна розглянути на прикладі аналізу та синтезу моделей забезпечення надійності ЗПРК як складних технічних систем, включаючи системи «людина-машина» (СТС «ЛМ»), «людина-машина-тварина» (СТС «ЛМТ»), людина-машина-рослина (СТС «ЛМР») та пропозицій щодо підвищення довговічності робочих органів.

Незважаючи на значні досягнення зарубіжних і вітчизняних вчених в галузі розрахунку, оцінки та підвищення надійності сільськогосподарської техніки, можна зазначити, що для механічних систем таких досліджень поки що проведено недостатньо. Це, по-перше, можна пояснити тим, що елементна база в механічних системах менш гнучка в порівнянні з електронними та радіоелектронними. Другим не менш важливим аргументом є те, що в останні

десятиліття, в період коли сільськогосподарська техніка ускладнюється, стає багатофункціональною і об'єднується в комплекси машин та обладнання, розрахунки на надійність систем мають також враховувати вплив людини-оператора.

Сучасна ідеологія забезпечення надійності соціотехнічних систем повинна включати результати обґрунтування структури машини, нормування номенклатури і кількості запасних частин, рекомендації періодичності проведення ремонтно-профілактичних дій, вплив людини-оператора.

Авторами статті були проведені дослідження [4, 17], в яких було розглянуто розмічений граф станів і переходів системи «людина-машина», коли вона поступово переходить в непрацездатний стан внаслідок «старіння» елементів і вузлів машини, а також втрати рівня працездатності персоналу при накопиченні втоми, зниження уваги і кваліфікації при управлінні складною технікою. Умови функціонування системи «людина-машина» приведені до марківських потоків розподілу часу роботи і відновлення, а розв'язок задачі був забезпечений введенням додаткових фіктивних станів [4, 17, 32].

Після ряду перетворень, була отримана функція готовності [4, 17], яка відповідає ймовірності знаходження системи «людина-машина» в працездатному стані:

$$K_r(t) = P_0(t) = A_0 + B_0 \exp(-S_2 t) + C_0 \exp(\exp(-S_3 t)) + D_0 \exp(\exp(-S_4 t)) \quad (1)$$

Підставляючи в отриману формулу (1) значення часу  $t=0$  (початок експлуатації системи), отримаємо значення коефіцієнту готовності  $K_r(t) = 1$ , що відповідає фізичній сутності задачі і початковій умові роботи, коли система починає функціонування перебуваючи у справному стані.

Для другої можливої ситуації функціонування системи, коли час прямує до нескінченності  $t \rightarrow \infty$ , функція готовності  $K_r(t)$  прийме наступне своє фінішного значення:

$$K_r(t \rightarrow \infty) = A_0 = \frac{\lambda'_{11} \mu \lambda'_{11}}{S_4 S_2 S_3} \quad (2)$$

$\lambda'_{11}, \lambda''_{11}$  – інтенсивності, що характеризують формування відмов;

$\mu$  – інтенсивність відновлення;

$A_0, B_0, C_0, D_0$  – деякі константи, що потребують визначення [4, 17];

$S_2, S_3, S_4$  – корені полінома, які в кінцевому представленні через інтенсивності подій  $\lambda_i$  і  $\mu$ .

Використання аналітичної залежності (1) дає можливість провести кількісну оцінку втрати працездатності соціотехнічної системи при зниженні її надійності внаслідок старіння техніки і втоми оператора, що нею керує.

Забезпечення зоотехнічних вимог, зниження втрат та підвищення надійності технологічного процесу при проведенні робіт з подрібнення, змішування, роздавання і дозування кормових сумішей на тваринницьких фермах залежить не лише від професійного рівня фахівців, які забезпечують їх експлуатацію та відновлення працездатності, але й від матеріалу та особливостей конструкції робочих органів ЗПРК.

З метою підвищення довговічності робочих органів подрібнювачів-змішувачів та інших ЗПРК, пропонується використати перспективний спосіб термічної обробки деталей, які виготовляються зі сталі 65Г [31]. При позитивній стійкості проти зношування, ножі, які виготовлені з представленої марки сталі мають низькі значення ударної в'язкості і міцності при згині, що є причиною їх аварійного руйнування при попаданні з фуражним зерном твердих матеріалів. Відомий спосіб термічної обробки сталі 65Г (ГОСТ 14959-79) включає її гартування в оливі при температурі нагрівання  $t=800^\circ\text{C}$  і відпуск при температурі  $820^\circ\text{C}$ .

Задекларований спосіб термічної обробки сталей передбачає гартування сталі 65Г в оливі при температурі нагрівання  $t=820^\circ\text{C}$  та відпуск при температурі  $t=400^\circ\text{C}$ , який відрізняється тим, що після гартування проводять охолодження у розплаві наступного складу, мас. %: NaCl - 10, KNO<sub>3</sub> - 35, NaNO<sub>2</sub> - 25, H<sub>2</sub>O - 30 із ізотермічною витримкою при температурі ізотерми  $t=360^\circ\text{C}$  протягом 1,5 години. Термічна обробка ножів ЗПРК включає наступні операції: нагрівання до температури аустенізації  $t=820^\circ\text{C}$ ; охолодження в розплаві з подальшою витримкою при температурі ізотерми  $t=360^\circ\text{C}$  на протязі  $\tau=1,5$  години; кінцеве охолодження на повітрі.

За результатами запропонованої термічної обробки ножів, які виготовляються зі сталі 65Г встановлено, що за рахунок вказаного способу зменшуються внутрішні напруження, стабілізується структура металу і, як наслідок, значно покращуються показники пластичності і ударної в'язкості (таблиця 1) [31].

**Таблиця 1.** Порівняльна характеристика робочих органів, які пройшли термічну обробку за перспективним способом [31].

**Table 1.** Comparative characteristics of working bodies that have been heat treated in a promising way [31].

| Вид термообробки               | $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\sigma_B$ , МПа | $\delta$ , % | $\psi$ , % | КСУ, Дж/см <sup>2</sup> | HRC | Прогин при руйнуванні, f, мм | Міцність при згині, МПа |
|--------------------------------|----------------------|------------------|--------------|------------|-------------------------|-----|------------------------------|-------------------------|
| Відома термічна обробка        | 1450                 | 1670             | 8            | 48         | 29                      | 46  | 4                            | 2600                    |
| Запропонована термічна обробка | 1610                 | 1850             | 12           | 60         | 40                      | 48  | 12                           | 3400                    |

Попередніми дослідженнями встановлено, що за рахунок створення рівновісної структури, стійкість ножів ЗПРК проти зношування за перспективним способом зміцнення сталі 65Г є вищою на 20-22% в порівнянні з існуючим.

### Висновки

1. Розвиток сільськогосподарської техніки слід розглядати в фокусі розвитку наступних інноваційних процесів: сучасні технології; сертифікація техніки; науковий супровід досліджень; розвиток дилерських мереж; підготовки кадрів.

2. Проведений аналіз досліджень та представлені аналітичні залежності слід рахувати як один із кроків реалізації інноваційних процесів з метою підвищення надійності соціотехнічних систем.

3. Подальший розвиток повинна отримати розробка принципів і методів професійної підготовки операторів соціотехнічних систем, яка включає професійний відбір, навчання, проектування діяльності оператора на різних рівнях управління.

### Список літератури

1. Andrey. Novitskiy Professional Reliability of Personnel in System of Development of Innovative Processes. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2, P. 93-102.

2. Atanov I. V., Kapustin I. V., Grinchenko V. A., Gritsai D. I., Kapustina E. I. Improving efficiency of feeding cattle. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. T. 7. №4. pp. 1927-1932.

3. Boiko A. I., Savchenko V. M., Krot V. V. Charts of conditions and mathematical modelling of transition of nozzles into various possible conditions. *Технічні системи і технології тваринництва - Технічний сервіс машин для рослинництва. Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка*, 2017, Вип. 181. С. 173-178.

4. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 3. 271. p. 165-174.

5. <https://www.growthow.in.ua/rynok-sil-hospptekhniki-trendy-i-prohnozy-na-2019-2020/>.

6. Ivan Rogovskii, Liudmyla Titova, Andriy Novitskii, Victor Rebenko. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for rural development. Jelgava*, 2019. P. 291-298.

7. Khmelovskiy V. Process support preparation and distribution of feed for cattle on family farms. *Machinery & Energetics*. 2018, Vol. 9, No. 3, 224-232.

8. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex

agricultural machinery. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106-121.

9. Vasyl Khmelovskiy, Svitlana Rogach, Oksana Tonkha, Yuriy Rosamaha. quality evaluation of mixing fodder by mobile combined units. *Engineering for rural development. Jelgava*, 22. -24.05.2019. P. 299-304.

10. Andriy Novitskiy. Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 19. No 3. 123-128.

11. Адамчук В. В., МIRONENKO В. Г., КОСИК П. О. Перспективи розвитку механізованого рослинництва. Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС. Восьма міжнародна науково-практична конференція. *Тези доповідей (Чернігів-Жукин, 24-28 червня 2013р.)*. - Чернігів, Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. С. 240-243.

12. Андрей Новицкий, Александр Банный. Логико-вероятностное моделирование надежности сложной сельскохозяйственной техники. *Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin, 2016. vol. 14, №3. P. 187-196.

13. Андрей Новицкий. Исследование вероятности безотказной работы средств для приготовления и раздачи кормов как систем «Человек-Машина». *Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin, 2015. Vol. 17, № 3. P. 335-341.

14. Аулін В. В., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Мартиненко О. Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. *Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві*. Харків. 2015. Вип. 158. С.252-262.

15. Бойко А. І., Думенко К. М., Павлюченко І. С. Перспективні напрямки забезпечення надійності посівних агрегатів як технічних систем. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 2013, Вип. 43, част. І. С. 3-6.

16. Бойко А. І., Новицький А. В. Сучасні проблеми забезпечення надійності машин для приготування і роздавання кормів. *ХНТУСГ ім. Петра Василенка «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва»*. Харків., *Вісник ХНТУСГ, Випуск 100*. 2010. С. 119-126.

17. Бойко А. І., Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Визначення функції готовності систем «людина – машина» при зростанні інтенсивностей відмов. *Machinery & Energetics. Journal of Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No.2.

18. Бойко А. І., Новицький А. В., Ружи́ло З. В., Ружи́ло А. З. Вплив оператора на надійність систем «людина-машина-середовище» (на прикладі засобів для приготування і роздавання кормів). *Харків. Вісник ХНТУСГ. Вип. 114*. 2011. С. 103-108.

19. Голиков В. А., Артамонов В. Н. Определение технико-экономических показателей измелителей-смесителей-раздатчиков кормов. *Международная*

агроинженерия. Научно-технический журнал. Алматы, 2012. Выпуск 4. С. 18-26.

20. Гурочкіна В. В. Інноваційний потенціал підприємства: сутність та система захисту [електронний ресурс] *Економіка: реалії часу. науковий журнал*. 2015. № 5 (21). с.51-57.: <http://economics.opu.ua/files/archive/2015/n5.html>.

21. Каталог. Ножи для кормосмесителей. 18 с.

22. Концепція Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 р.: проект / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://minagro.gov.ua/apk?nid=16822>.

23. Ловейкін В. С., Хмельовський В. С., Гудова А. В. Підвищення ефективності роботи мобільних змішувачів-роздавачів кормів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація і автоматизація виробничих процесів*. Суми. 2016. Вип. 10/2 (30). С. 107-111.

24. Новицький А. В. Метод оцінки роботоздатності кормоподібнюючих машин. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. К.: НАУ, 1998. Т. IV. С. 63-68.

25. Новицький А. В., Засулько А. А., Хмельовська С. З. Оцінка та підвищення рівня надійності ножів засобів для приготування і роздавання кормів. *Збірник тез доповідей VII-ї Міжнародної наукової конференції «Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК» в рамках роботи XXXI Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2019» (04-07 червня 2019 року)*. НУБіПУ. Київ. 2019. С. 82-83.

26. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Класифікація робочих органів типу «ніж» засобів для приготування і роздавання кормів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. К., 2017. Вип. 262 ( 2017). С. 287-296.

27. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. К., 2017. Вип. 264 ( 2017). С. 293-303.

28. Новицький А. В., Ружило З. В. Моніторинг забезпечення молочного скотарства машинами та обладнанням. *Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»*. Харків, 2014, Вип. 1. С.56-63.

29. Погорілий Л., Ясенецький В., Лінник М. Сучасна техніка для приготування кормів на фермах ВРХ. *Техніка АПК*. 1999. №4. С. 31-33.

30. Спосіб термічної обробки сталевих деталей : пат. 121471 Україна : МПК C21D 1/56. № с21d 1/56. заявл. 31.05.2017 , опубл. 11.12.2017 Бюл. №23.

31. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем. Москва: «Дрофа». 2008. 240 с.

Innovative Processes. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow. Vol. 18. No 2, R. 93-102.

2. Atanov I. V., Kapustin I. V., Grinchenko V. A., Gritsai D. I., Kapustina E. I. (2016). Improving efficiency of feeding cattle. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. Т. 7. №4. pp. 1927-1932.

3. Boiko A. I., Savchenko V. M., Krot V. V. (2017). Charts of conditions and mathematical modelling of transition of nozzles into various possible conditions. *Tekhnichni sistemi i tekhnologii tvarinnystva - Tekhnichniy servic cars for roslinnystva*. *Vysnik KNTUSG im. P.Vasilenka*, Vip. 181. С. 173-178.

4. Boyko A., Novitskiy A. (2018). Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & energetics*. Kyiv. Ukraine. Vol. 9. No. 3. 271. p. 165-174. <https://www.growhow.in.ua/rynok-sil-hospstekhniky-trendy-i-prohnozy-na-2019-2020/>.

5. Ivan Rogovskii, Liudmyla Titova, Andriy Novitskii, Victor Rebenko. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for rural development*. Jelgava, 291-298.

6. Khmelovskiy V. (2018). Process support preparation and distribution of feed for cattle on family farms. *Machinery & Energetics*. Vol. 9, No. 3, 224-232.

7. Novitskiy A., Karabinhosh S. (2018). Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics* . Kyiv. Ukraine. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106-121.

8. Vasyl Khmelovskiy, Svitlana Rogach, Oksana Tonkha, Yuriy Rosamaha. (2019). Quality evaluation of mixing fodder by mobile combined units. *Engineering for rural development*. Jelgava, 22.-24.05. 299-304.

9. Andrew Novitskiy. (2017). Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Vol. 19. No. 3. 123-128.

10. Adamchuk V.V., Mironenko V.G., Kosik P.O. (2013). Prospects for the development of mechanized crop production. *Mathematical and imitation modeling of systems. MODS. Eighth International Scientific and Practical Conference. Theses of previews (Chernigiv-Zhukin, 24-28 April 2013)*. - Chernigiv, Chernigiv, Chernig. ul., P. 240-243.

11. Andrey Novitsky, Alexander Banny. (2016). Logical and Probabilistic Modeling of Complex Agricultural Machinery Reliability. *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin, Vol. 14, №3. P. 187-196.

12. Andrey Novitsky. (2015). Study of the probability of failure-free operation of means for the preparation and distribution of feed as systems "Man-Machine". *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin, Vol. 17, № 3. P. 335-341.

14. Aulin B. V., Lisenko S. V., Golub D. V., Grinkiv A. V., Martinenko O. D. (2015). Theoretical-physical research and development to diagnostic information about technical aggregates of mobile silicon technology. *The*

## References

1. Andrey, Novitskiy. (2018). Professional Reliability of Personnel in System of Development of

*Chronicle of the Kharkiv National Technical University of the Silk Roads. Resource-saving technologies, materials and equipment for repair works. Kharkiv. Vipe. 158. P. 252-262.*

15. Boyko A. I., Dumenko K. M., Pavlyuchenko I. S. (2013). Perspective straightforwardness of field units reliability as technical systems. *Polar Division of the Ministry of Science and Technology. Design, production and operation of silk-vessel machines*, ViP. 43, part I. P. 3-6.

16. Boyko A. I., Novitsky A. V. (2010). Current problems of the reliability of machines for the adaptation and distribution of feed. *KNTUSG im. Petr Vasilenko "Problems of reliability of machines and mechanical properties of the silk-soilian hospitality"*. Kharkiv, Visnik KNTUSG, Issue 100. P.119-126.

17. Boyko A. I., Novitsky A. V., Ruzhilo Z. V. (2019). Definition of the function of readiness of the system "man-machine" at the increase of failure rates. *Machinery & Energetics. Journal of Production Research*. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No. 2.

18. Golikov V.A., Artamonov V.N. (2012). Determination of technical and economic indicators of shredders-smixers-feed dispensers. *International Agricultural Engineering. Scientific and technical journal*. Almaty, Issue 4. P. 18-26.

19. Gurochkina V. V. (2015). Innovative potential of the enterprise: pipping and protection system [electronic resource] *Economy: real time*. 2015. No. 5 (21). P. 51-57.:

<http://economics.opu.ua/files/archive/2015/n5.html>

20. Catalogue. Knives for feed mixers. 18 p.

21. Concept of the State Program for development of agricultural sector of economy for the period up to 2020: project / [Electron resource]. - Access mode: <http://minagro.gov.ua/apk?nid=16822>.

22. Loveykin V. S., Khmelovskiy V., Khmelovskiy V. S., Gudova A. B. (2016). Promotion of the efficiency of mobile snatching and fodder production. *Chronicle of the Sumy National Agrarian University. Series: mechanization and automation of production processes*. Sumi. VIP. 10/2 (30). P. 107-111.

23. Novitskiy A.V. (1998). Method of assessment of robotsdatnosti fodder-podrubnuyuchih machines. *Mechanization of silk-spodarskogo vibratsiya*. C.: NAU, T. IV. P. 63-68.

24. Novitsky A.V., Zasunko A. A., Khmelivska S. Z. (2019). The assessment and promotion of the knives' strife for fodder intake and distribution. *The collection of the thesis of the Doping Reviews of the 7th International Science Conference "Innovations in Organic Products Production in the Agro-Industrial Complex" within the framework of the XXXI International Agro-Industrial Exhibition "AGRO 2019" (04-07 of June 2019)*. NUBiPU. Kyiv. C. 82-83.

25. Novitsky A. V., Novitsky Y. A. (2017). Classification of working organisms of the "Nizh" type for fodder intake and distribution. *Science bulletin of the National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine. Series: Agricultural engineering and power engineering*. K., VIP. 262 P. 287-296.

26. Novitsky A. V., Novitsky Y. A. (2017). Technical evaluation of the consumer quality of agricultural

machinery. *Science book of the National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine. Series: Agricultural engineering and power engineering*. K. VIP. 264 ( 2017). P. 293-303.

27. Novitsky A.V., Ruzhilo Z.V. (2014). Monitoring of dairy cattle breeding provision with machines and equipment. *Science Journal "Technichnyy servis agrislovogo, fox and transport complexes"*. Kharkiv, VIP. 1. P.56-63.

28. Pogoriliy L., Yasenetsky V., Linnik M. (1999). Modern techniques for the preparation of feed on cattle farms. *Agricultural machinery*. №4. P. 31-33.

29. Method of thermal treatment of steel parts (2017). *pat. 121471 Ukraine: MPK C21D 1/56. No. c21d 1/56. declared. 31.05.2017 , op.: 11.12.2017 Bulletin No. 23.*

30. Ushakov I.A. (2008). Course of System Reliability Theory. Moscow: "Bustard". 2008. 240 p.

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В СИСТЕМЕ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

А. В. Новицкий, З. В. Ружило, А. А. Котречко

**Аннотация.** В статье раскрыта сущность и определены характерные признаки формирования и реализации научных исследований в системе развития инновационных процессов. Они включают: совершенствование уже существующих технологий и техники; подготовка инженерно-технических работников, специалистов сервисной службы и операторов машин, обоснование их профессионально важных качеств; последовательное использование принципиально новых знаний для обеспечения эффективности и надежности машин.

Перспективным направлением обеспечения эффективности использования техники является постоянный мониторинг, оценка и обеспечение показателей их надежности на основе использования логико-имитационного моделирования и современных информационных технологий.

Рассмотрены положения системы «человек-машина», когда она постепенно переходит в неработоспособное состояние вследствие «старения» элементов и узлов машины, а также потери уровня работоспособности персонала при накоплении усталости, снижение внимания и квалификации при управлении сложной техникой.

Представлена аналитическая зависимость для проведения количественной оценки потери работоспособности социотехнической системы при снижении ее надежности вследствие старения техники и усталости оператора.

Предложен перспективный способ термической обработки деталей, изготавливаемых из стали 65Г. Использование перспективного способа повысит долговечность рабочих органов средств для приготовления и раздачи кормов. За счет указанного способа уменьшаются внутренние напряжения, стабилизируется структура металла, значительно улучшаются показатели пластичности и ударной вязкости ножей, изготовленных из стали 65Г.

**Ключевые слова:** надежность, система, машина, инновационные процессы, социотехническая система.

ENSURING THE RELIABILITY OF AGRICULTURAL  
MACHINERY IN SYSTEM OF DEVELOPMENT OF  
INNOVATIVE PROCESSES

*A. V. Novitskiy, Z. V. Rozhilo, O. O. Kotrechko*

**Abstract.** In the article the essence is revealed and characteristic features of formation and realization of scientific researches in system of development of innovative processes are defined. They include: improvement of already existing technologies and techniques; training of engineers and technicians, service technicians and machine operators, justification of their professionally important qualities; consistent use of fundamentally new knowledge to ensure the efficiency and reliability of machines.

A promising area of ensuring the efficiency of machinery use is continuous monitoring, evaluation and provision of reliability indicators based on the use of logical simulation modeling and modern information technologies.

The provisions of the "human-machine" system are considered when it gradually becomes inoperable due to the "aging" of machine elements and units, as well as the loss of the level of staff performance during the accumulation of fatigue, reduction of attention and skills in the management of complex equipment.

The analytical dependence for a quantitative estimation of the loss of working capacity of the social and technical system at decrease of its reliability due to the aging of equipment and operator's fatigue is presented.

A perspective method of heat treatment of parts made of 65G steel is proposed. The use of the perspective method will increase the durability of working bodies of means for preparation and distribution of forages. Due to this method internal stresses are reduced, metal structure is stabilized, plasticity and impact toughness of knives made of 65G steel are significantly improved.

**Key words:** reliability, system, machine, innovation processes, social and technical system.

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

**З. В. Ружило** ORCID 0000-0003-3582-8687.

**О. О. Котречко** ORCID 0000-0003-0658-0555.



УДК 621.664: 669.01(075)

## ELABORATION OF HIGH QUALITY STRUCTURAL STEELS

Ye. G. Aftandilants

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

*Article from specialty 133 – industry engineering.*

*Corresponding authors: [aftyev@yahoo.com](mailto:aftyev@yahoo.com).*

*Article history: Received: March 2019. Received in the revised form: April 2019. Accepted: August 2019.*

*Bibl. 6, fig. 8, tabl. 2.*

**Abstract.** On the basis of complex analytic and experimental studies of processes of crystallization from liquid state and recrystallization basic physical-chemical and phase parameters of structural steels, containing up to 0,4 wt.% C; 3% Si, Mn and Cr; 0,035% N; 0,3% V, were defined and qualitative regularities of their influence were established. These regularities give possibility to forecast analytically chemical compositions and conditions of heat treatment of castings and forgings of structural steels with required combination of casting and mechanical properties, hardenability, fatigue strength, cold resistance, toughness of destruction, abrasive wear resistance, heat stability and stability to reverse temper brittleness. The results of investigations implemented have shown, that low- and medium-alloy by manganese, silicon, and chromium structural steels in combination with nitride-vanadium hardening possess essential potential of physical-mechanical properties, which is realized at complex optimization of their chemical composition, deoxidization, types and conditions of heat treatment. The influence of these factors is so extreme and ambiguous that can be effectively optimized only by machine experiment of determined dependencies, presenting themselves as theoretical basis of computer metallography of structural steels. Study of many structural steels shows, that computer elaboration of their chemical composition, conditions of deoxidization and heat treatment ensure the creation new class of cost - efficient alloy steels with unique combination of strength, plastic and exploitation properties. Some examples of optimum heat treatment regimes of castings and forgings for a achieving such properties are presented.

**Key words:** structural steel, chemical composition, heat treatment, mechanical properties, hardenability, fatigue strength, cold resistance, toughness of destruction, abrasive wear resistance.

## Introduction

The accumulated practical experience shows, that it's possible to improve quite effectively the properties of cast steels by complex optimization of alloying, modifying and heat treatment. However it requires the significant volume of experimental work. Herewith the most rational

combination of the expenditure of alloying and modifying elements and the level of property improvement is not always achieved.

## Formulation of problem

In the considerable number of studies separate aspects of the value of alloying and modification parameters, and heat treatment in the forming of structure and properties of parameters, and heat treatment in the forming of structure and properties of structural steels are viewed, but the publications on complex mathematical model of their optimizations are absent.

## Analysis of recent research results

The known results of mathematical modeling present, as a rule, statistical processing of experimental data and characterize basically the influence of chemical composition and conditions of production on some parameters of phase transformations, structure and properties. These dependencies are not sufficient for the optimization of cast steel properties, because they give information just on quantitative influence of one or another factor on the function of response and do not explain the substance of such an influence. Such algorithms reflect the achieved level of foundry production, but do not provide the effective search of new optimum solutions for many-sided industry environment.

The next step in managing the process of the forming of structural steel properties should be the transition from formal regressive dependencies chemical composition - steel properties to the equations, which include structure parameters in initial factors. These parameters depend on chemical composition, conditions of solidification and regimes of heat treatment. Therefore the purpose of present work is to establish quantitative regularities of the influence of structural parameters on such basic properties of cast structural steels, as fluidity (castability), shrinkage (contraction), crack stability, tensile and yield strength, relative elongation and narrowing, hardenability, cold-resistance, fatigue strength and abrasive wear-resistance.

### Results of research

As the object of studies the most widely used in industry carbon, low - and medium-alloy steels, containing up to 0,4 % of carbon, up to 3 % Si, Mn, Cr, up to 0,3 % V and 0,03 % N were chosen.

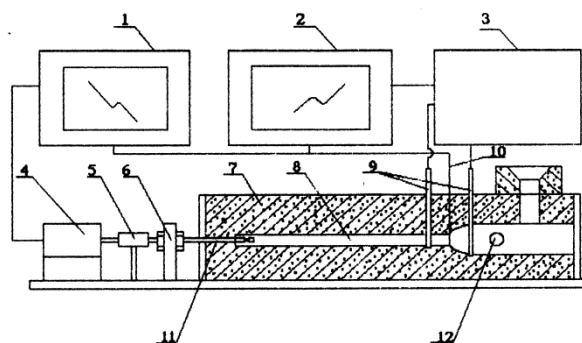
Quantitative laws, at probability more than 95 %, we approximated by polynomes of the first and higher degrees.

Coming from the fact, that casting properties of steel are defined basically by physical properties of a melt, heat-power conditions of solidification and dispersity of forming dendrite structure, we have established, that:

- castability with correlation factor 0,637 and error 13,8% is determined by properties of liquid metal, heat conduction of steel at temperature of solidus, crystallization heat, dispersity of dendrite structure and value of superheat of melt over temperature of liquidus;
- density with correlation factor 0,709 and error 1,2% with an exception of crystallization heat and in addition to parameters, indicated for castability is defined by interval of crystallization;

- foundry contraction and its components with correlation factor from 0,828 to 0,993 and error from 0,18% to 9,6% are defined by value of superheat over temperature of liquidus, crystallization heat, heat conduction of steel at temperature of solidus, dispersity of dendrite structure and alloying degree of austenite;

- characteristics of crack stability, determined on a specially developed unit (Fig. 1), including temperature boundaries of interval of heat-brittle and deformation in it, pressure and relative elongation of crack formation, with correlation factor from 0,72 to 0,989 and error from 0,7 to 26% are defined by parameters of foundry contraction, dispersity of dendrite austenitic structures.



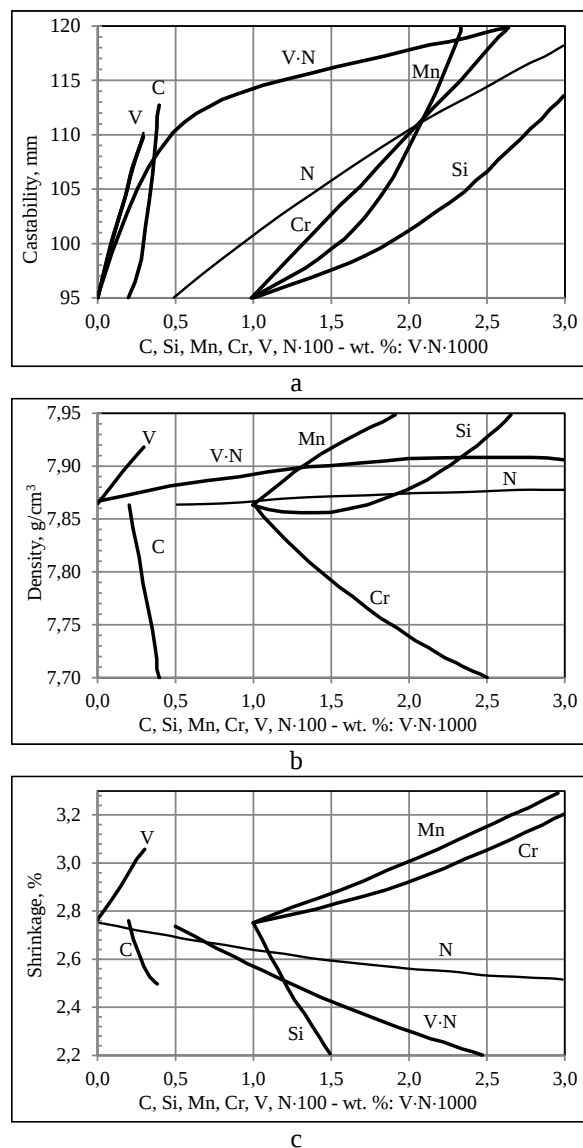
**Fig. 1.** The device for complex control of parameters of cracks formation in cast steels.

1,2 - potentiometers; 3 - measuring bridge; 4 - transformer of linear deformation in electric potential; 5 - indicator of linear deformation; 6 - elastic plate; 7 - damp - sand-clay mould; 8 - casting; 9 - electrodes; 10 - thermo-couple; 11 - tie rod; 12 - bolts for one-side bracing of casting contraction.

The analysis of influence of C, Si, Mn, Cr, N and V shows, that the most essential influence renders N and V (Fig. 2, 3).

As a result of investigation of physico-mechanical properties of steels the following dependencies were determined:

- hardenability with correlation factor 0,981 to 0,934 and error 12,8% - on the size of austenite's grain and alloying degree of austenite;



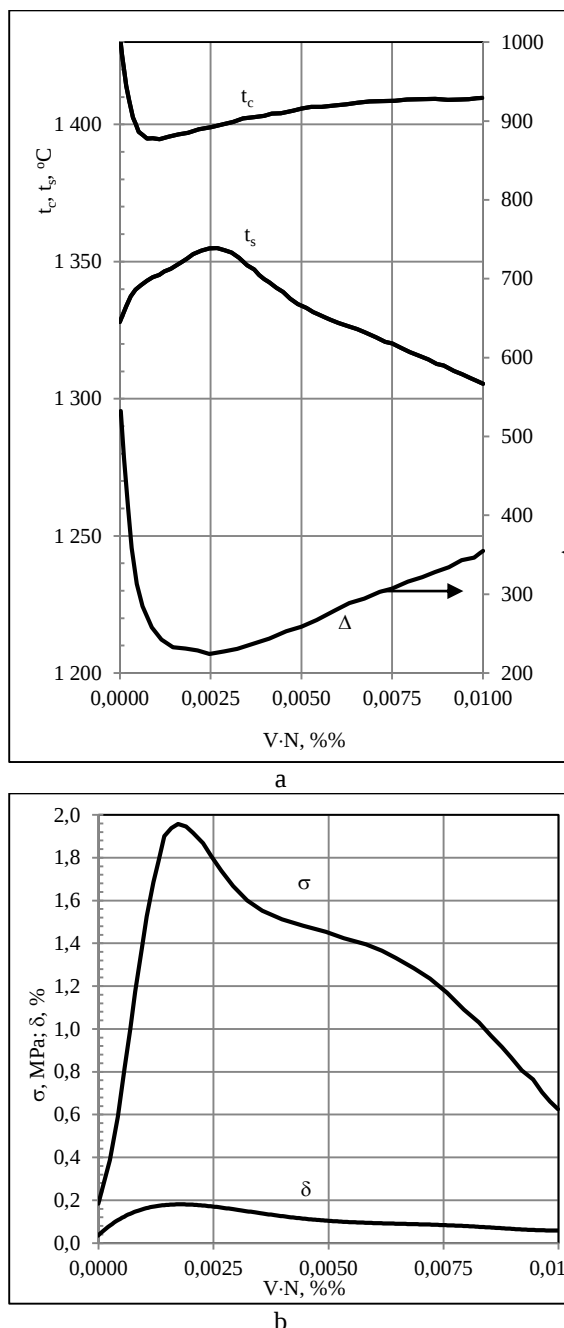
**Fig. 2.** The influence of contents of elements on the castability (a), density (b) and casting shrinkage (c) of steels.

The pouring at 1550°C. The base is - steel containing 0.2%C, 1Si, 1 Mn, 1Cr.

- strength, plastic properties and impact toughness high temperature tempering of steels with correlation factor from 0,824 to 0,934 and error from 5,32% to 12,3% - on the size of austenite's grain and content of nitride-vanadium phase in it, alloying degree of ferrite, solubility and diffusion mobility of carbon and nitrogen in it, quantity of precipitated carbide and nitride phases;

- characteristics of cold-resistance at temperatures to - 60 °C, including ultimate tensile strength and fluidity, relative elongation and narrowing, micro destruction resistance and coefficient of pressure intensity in crack's orifice, with correlation factor from 0,779 to 0,981 and error from 5,02 to 18% - on diffusion mobility of carbon and nitrogen; temperature of brittleness with correlation factor 0,934 and error 12,5% in addition to above parameters - on the size of austenite's grain, content of

nitride-vanadium phase in it and of carbon and nitrogen - in ferrite, value of energy of binding of dislocations with interstitial atoms and atoms of formation of new surfaces in ferrite and on grain's boundaries, as for work on crack formation, in addition, - on the size of austenite's grain and alloying degree of ferrite by elements of substitution; work on crack spreading - on content of nitride - vanadium phase in austenite;



**Fig. 3.** The influence of contents of nitrogen and vanadium on crack resistance.

a -  $t_c$ ,  $t_s$  - temperature boundaries of heat-brittle interval;  $\Delta$  - deformation in heat-brittle interval;

b -  $\sigma$ ,  $\delta$  - stress and relative elongation of crack formation, accordingly.

The pouring at 1550 °C. The base is - steel containing 0.2%C, 1Si, 1 Mn, 1Cr.

-the number of cycles of fatigued crack formation in normalized steels with correlation factor 0,707 and error 2,31% - on the content of carbides in ferrite at temperature of ending of diffusion disintegration of austenite, the number of cycles of spreading, with correlation factor 0,704, error 7,2% - on the content of vanadium nitrides in ferrite, alloying degree and energy of binding of dislocations with interstitial impurities, formation of new surface in ferrite and on its boundaries. In case of high temperature tempering the process of formation of fatigued cracks is determined by such characteristics of secondary structure, as alloying degree of ferrite, solubility of carbon and nitrogen in it and their diffusion mobility. As for spreading, in addition, - by the size of austenite's grain and content of nitride-vanadium phase in it with correlation factor from 0,887 to 0,888 and error from 3,72 to 9,6%;

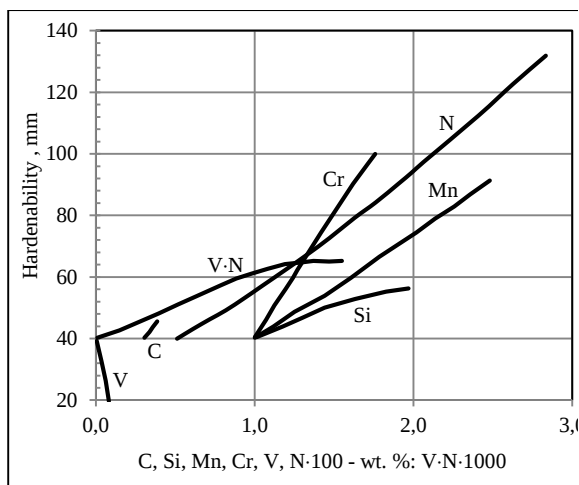
-abrasive wear-resistance of hardened and low-tempered steels with structure of martensite with correlation factor 0,854 and error 10,6% - on alloying degree of solid solution, length of martensite's needles and content of nitride- vanadium phase. In case of high temperature tempering steels with correlation factor 0,754 and error 18,3% - on homogeneity of distribution and dispersity of carbide and nitride-vanadium phases;

- the characteristics of heat resistance, including mechanical properties, characteristic of destruction at increased temperatures, parameters of creep and long-term strength with factors of correlation from 0,734 to 0,962 and error from 11,6 to 18,6 % - on influence of alloying elements on solubility and diffusion mobility of carbon and nitrogen at temperatures of high temper and exploitation, determining dispersity and uniformity of precipitation carbide and nitride phases at heat treatment and their stability to coagulation in conditions of creep;

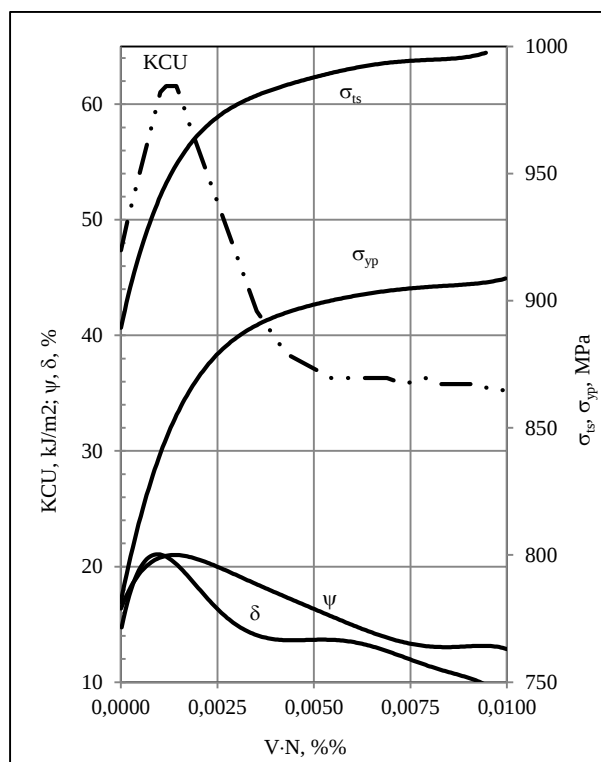
- the resistance to development of convertible tempered brittleness with factor of correlation 0,729 and error of 13,5 % - on the contents of phosphorus on borders of ferrite grain and intergrain energy of formation of new surface.

The analysis of influence of elements on physical-mechanical properties of structural steels shows, that the most essential action renders the microalloying of steel by nitrogen and vanadium (Fig. 4-8), which is connected with their effective influence on thermo - kinetic parameters of phase transformations during formation of secondary structures, stabilization of austenite's of grain at austenizing heating and development of chemical heterogeneity.

The nitride - matrix interfaces and zones of a stressed state near nitride particles are so effective drains of the interstitial elements and vacancies with substitutional elements, interacting with them, as well as with places of segregation of a carbide phase that in the event of rational microalloying by nitrogen and vanadium we practically attain the considerable dispersity of microstructure elements, reduction of the chemical and structural nonhomogeneity, including the grain boundary one.



**Fig. 4.** The influence of contents of elements on the hardenability of steels. The face hardening from 950 °C; The base is - steel containing (wt.%): 0.3C, 1Si, 1Mn, 1Cr.

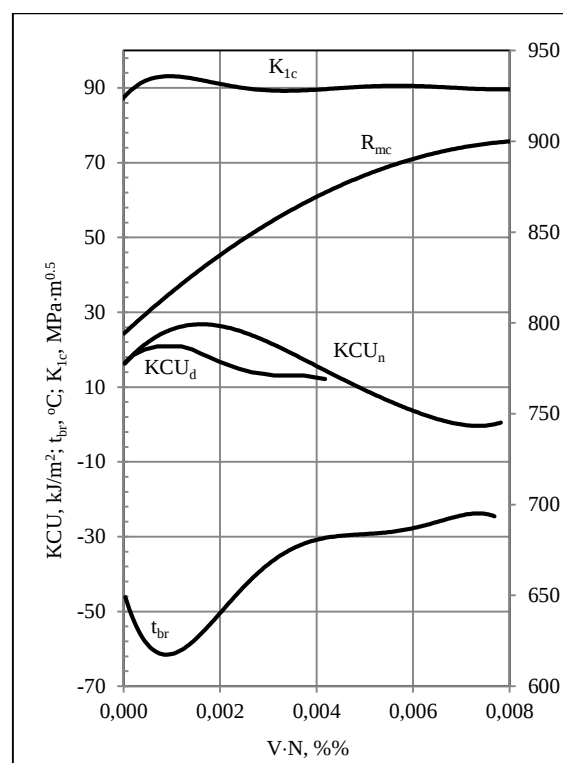


**Fig. 5.** The influence of nitrogen and vanadium contents on mechanical properties of steels after hardening from 950 °C and tempering at 650 °C during 2 hour.

The base is - steel containing 0.2% C, 1 Si, 1 Mn, 1 Cr.

Taking into consideration the predominant precipitation of vanadium nitride in solid solution, in comparison with other phases, new principles of optimization of alloying, deoxydation and heat treatment of cast structural steels have been elaborated. On the basis of these principles the cast carbon- and low-alloy steels, containing nitrogen and vanadium, with yield strength increased by 80-120 MPa in normalized and by 200 - 300 MPa in quenched and tempered states, without decrease

of plastic properties, with fatigue limit increased by 100 - 120 MPa, have been developed (Table 1).



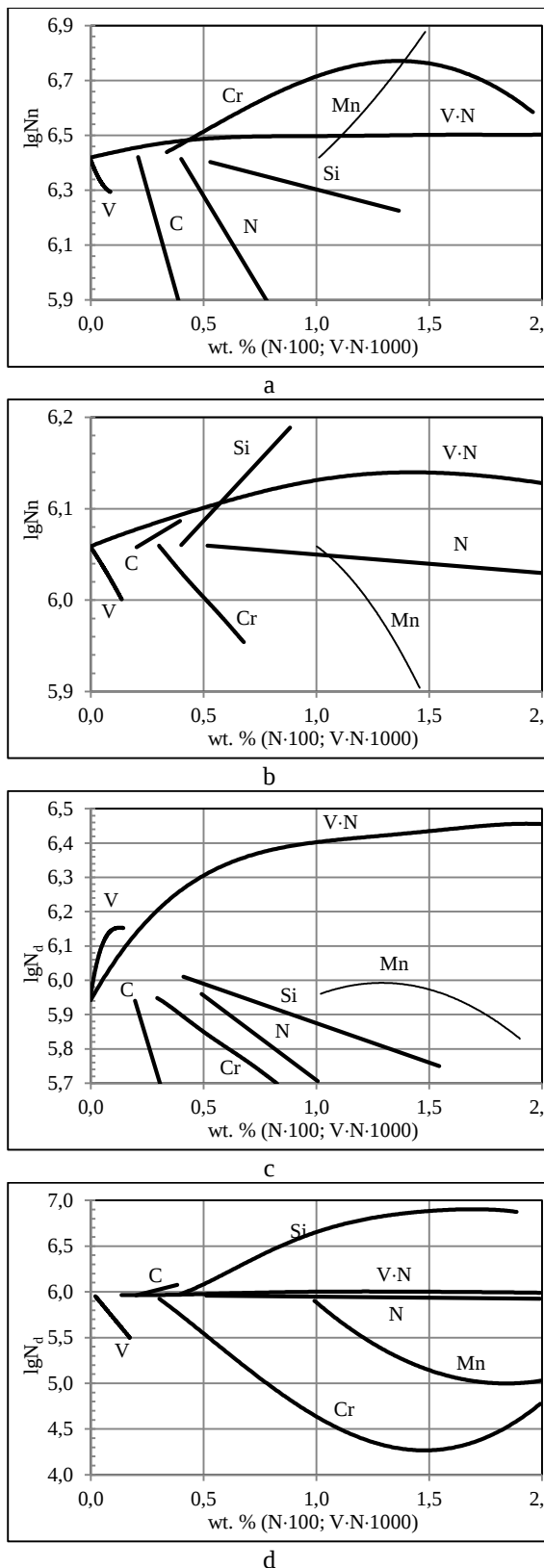
**Fig. 6.** The influence of nitrogen and vanadium on the cold-resistance of steels at minus 60 °C.

The base is - steel containing 0.2% C, 1 Si, 1 Mn, 1 Cr.

**Table 1.** Mechanical Properties of Carbon and Low-Alloy Structural Steels<sup>1</sup>

| C      | Si   | Mn   | Cr   | $\sigma_{ts}$      | $\sigma_{ys}$ | $\delta$ | $\psi$ | KCU               |
|--------|------|------|------|--------------------|---------------|----------|--------|-------------------|
| Wt., % |      |      |      | MPa                |               | %        |        | MJ/m <sup>2</sup> |
| 0.26   | 0.36 | 0.62 | 0.10 | 573 <sup>2</sup>   | 299           | 28       | 49     | 0.69              |
|        |      |      |      | 632                | 392           | 28       | 59     | 0.75              |
|        |      |      |      | 595 <sup>3</sup>   | 350           | 19       | 52     | 0.76              |
|        |      |      |      | 800                | 629           | 18       | 48     | 0.50              |
| 0.40   | 0.37 | 0.65 | 0.30 | 1300 <sup>4</sup>  | -             | 0.6      | 0.5    | 0.15              |
|        |      |      |      | 1765               | -             | 0.8      | 0.9    | 0.23              |
|        |      |      |      | 1220 <sup>5/</sup> | -             | 2.0      | 4.0    | 0.17              |
|        |      |      |      | 1600               | 560           | 3.0      | 5.0    | 0.25              |
|        |      |      |      | 760 <sup>3</sup>   | 795           | 12       | 43     | 0.70              |
| 0.30   | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 870                | -             | 14.0     | 44     | 0.90              |
|        |      |      |      | 560 <sup>2</sup>   | 390           | 17       | 34     | 0.4               |
|        |      |      |      | 724                | 475           | 17       | 36     | 1.4               |
|        |      |      |      | 636 <sup>3</sup>   | 540           | 12       | 34     | 0.46              |
| 0.23   | 0.35 | 1.05 | 0.22 | 985                | 865           | 14       | 43     | 0.70              |
|        |      |      |      | 567 <sup>2</sup>   | 375           | 22.5     | -      | 0.70              |
|        |      |      |      | 665                | 445           | 23.0     | 36.0   | 0.80              |
|        |      |      |      | 675 <sup>3</sup>   | 496           | 18.0     | 43.5   | 0.65              |
| 0.23   | 0.35 | 1.05 | 0.22 | 840                | 725           | 18.5     | -      | 0.72              |
|        |      |      |      | 840                | 725           | 18.5     | -      | 0.72              |

1 - the numerator shows the properties of steels without additions and the denominator shows the properties of steels after modifying by nitrogen and vanadium; 2 - normalizing; 3 - hardening + high - temperature tempering; 4 - hardening; 5 - hardening + low - temperature tempering.



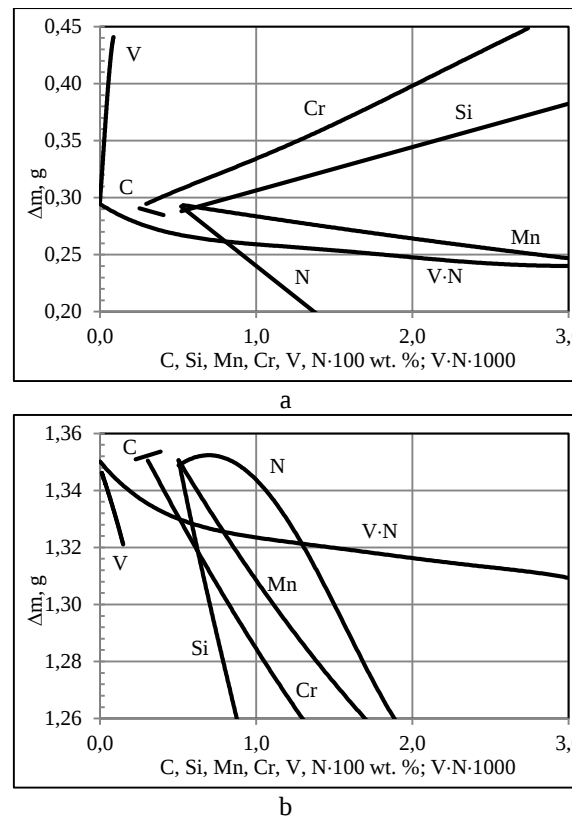
**Fig. 7.** The influence of element contents on the process of nucleation (a, b) and distribution (c, d) of fatigue cracks in normalized above-spring beams at load force 0.2MN (a, c) and high temperature tempering automatic coupling bodies at load force 0.15MN (b, d) of freight cars.

The base is - steel containing (wt.%):

0.2C, 0.4Si, 1Mn, 0.3Cr.

Normalization and hardening at 950 °C;

Tempering at 650 °C.



**Fig. 8.** The influence of contents of elements on the abrasive wear-resistant of steels in unfasted sand  
a – Hardening at 950 °C; Tempering at 350 °C.  
b – Hardening at 950 °C; Tempering at 650 °C.

The base is - steel containing (wt.%):0.2C, 0.5Si, 0.5Mn, 0.3Cr.

Speed movement of a sample – 0.385 metre/second. Pressure – 0.2 MPa. Time of friction – 1 hour.

For example, low - alloy Cr, Mn, Si steel, containing N and V, destined for the manufacture of automatic coupling bodies, above-spring beams and lateral frames of freight cars, guarantees the following level of properties:  $\sigma_{ts} > 840$  MPa;  $\sigma_{ys} > 700$  MPa;  $\delta > 10$  %;  $\psi > 25$  %;  $KCU^{60} > 0.25$  MJ/m<sup>2</sup>;  $K_{Ic}^{60} > 100$  MPa·m<sup>0.5</sup>. The stability of reproduction of mechanical properties of steels, containing V and N is increased in 2-3 times as much.

The optimization of the process of the production of structural steels with nitrogen and vanadium gives possibility to reduce the content of alloying elements for achievement of required operational properties of castings. For example, low - alloy chromium steels, containing N and V, are successfully applied for the production of fittings for oil and gas wells instead of steel,

alloyed by 1-5% Cr and 2-5% Mo and have, after heating during 100000 hours at 500 - 550 °C long-term rupture-strength of 150 and 70 MPa accordingly, and wear resistance higher than the Hadfield steel. Manufacturing of caterpillar links and tractor rolls of such steels instead of the Hadfield steels and carbon steel, containing 0.12% V, ensure the increase of wear resistance accordingly 1.9 and 2.4 times as much (Table 2).

**Table 2.** Exploitation test of agricultural tractors

| Type of roll strengthening                                                                   | Accrued operating time, motohours | Wear, mm | Average rate of wear, $10^{-3}$ mm/motohour |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------|---------------------------------------------|
| Serial rolls of carbon steel containing 0.45-0.50% C and 0.07-0.15% V                        | 5000                              | 14.0     | 2.80                                        |
| Surface borading of rolls by boron carbide                                                   | 6500                              | 12.1     | 1.85                                        |
| Bimetallic rolls with surface layer of wear-resistant cast iron, containing 16% Cr and 2% Mo | 3000                              | 4.2      | 1.40                                        |
| The rolls of steel (30XAΦЛ) containing 0.30-0.35% C, 1% Cr, V+N                              | 6500                              | 7.7      | 1.18                                        |

### Conclusions

1. On the basis of complex analytic and experimental studies of the influence of chemical composition on processes of crystallization and recrystallization basic physico-chemical and phase parameters, determining formation of structure and properties of cast structural steels, containing in general up to 0,4 wt.% carbon, up to 3% of manganese, silicon and chromium, up to 0,035% of nitrogen, up to 0,3% of vanadium were defined, as well as qualitative regularities of their influence. Obtained qualitative regularities ensure the possibility of analytic forecasting of chemical compositions and conditions of heat treatment of cast structural steels with the required combination of casting and mechanical properties, hardenability, fatigue strength, cold-resistance, toughness of destruction, abrasive wear-resistance, heat-resistance, and stability to reverse temper brittleness.

2. The results of the implemented investigations have shown, that low- and medium-alloy cast structural steels containing manganese, silicon, and chromium in combination with nitride-vanadium hardening possess essential potential of physico-mechanical properties, which is realized by complex optimization of their chemical composition, deoxidization, types and conditions of heat treatment. The influence of these factors is so highly extreme and ambiguous, that can be effectively optimized only by machine experiment of determined dependencies, presenting them as theoretical basis of computer metallography of cast structural steels.

3. An example of study of many structural steels shows, that computer elaboration of their chemical composition, conditions of deoxidization and heat

treatment ensures the creation of new class of efficiently alloyed steels with unique combination of strength, plastic and exploitation properties.

### References

1. Yavoisky V. I., Bliznyukov S. A., Vishkarev A. F. (1979). Inclusions and gases in steels. Moscow. Metallurgy.
2. Averin V. V., Revyakin A. V., Fedorchenko V. I., Kozina L. N. (1976). Nitrogen in metals. Moscow. Metallurgy.
3. Andronov V. N., Chekin B. V., Nesterenko S. V. (1977). Liquid metals and slags. Handbook. Moscow. Metallurgy.
4. Banny O. A., Budberg P. B., Alisova S. P. (1986). State diagrams of binary and multicomponent iron-based systems: Ref. ed. Moscow. Metallurgy.
5. Kolachev B. A. (1985). Hydrogen fragility of metals. Moscow. Metallurgy.
6. Durynin V. A., Solntsev Yu. P. (2006). Research and improvement of production technology with the aim of increasing the resource of steel products from large forgings of responsible purpose. Sanct-Peterburg: Himizdat.

### Список літератури

1. Явойский В. И., Ближнюков С. А., Вишкарёв А. Ф. Включения и газы в сталях. Москва. Металлургия, 1979. 272 с.
2. Аверин В. В., Ревякин А. В., Федорченко В. И., Козина Л. Н. Азот в металлах. Москва. Металлургия, 1976. 224 с.
3. Андронов В. Н., Чекин Б. В., Нестеренко С. В. Жидкие металлы и шлаки. Справочник. Москва. Металлургия, 1977. 128 с.
4. Банных О. А., Будберг П. Б., Алисова С. П. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справ. изд. Москва. Металлургия. 1986. 440 с.
5. Колачев Б. А. Водородная хрупкость металлов. Москва. Металлургия, 1985. 216 с.
6. Дурьнин В. А., Солнцев Ю. П. Исследование и совершенствование технологии производства с целью повышения ресурса стальных изделий из крупных поковок ответственного назначения. Санкт-Петербург. Химиздат, 2006. 272 с.

### РОЗРОБКА ВИСОКОЯКІНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

Є. Г. Афтанділіанц

**Анотація.** На підставі комплексних аналітичних і експериментальних досліджень процесів кристалізації з рідкого стану і перекристалізації в твердому визначені основні фізико-хімічні і фазові параметри конструкційних сталей, що містять до 0,4 мас.% С; 3% Si, Mn і Cr; 0,035% N; 0,3% V і встановлені якісні закономірності їх впливу. Ці закономірності дають можливість аналітично прогнозувати хімічні склади і

умови термічної обробки виливків і поковок з конструкційних сталей з необхідною комбінацією ливарних і механічних властивостей, прогартуваності, втомної міцності, холодостійкості, ударної в'язкості, абразивної зносостійкості, термостійкості і стійкості до розвитку зворотної відпускнуї крихкості. Результати проведених досліджень показали, що низько- і середньолеговані марганцем, кремнієм і хромом конструкційні сталі в поєднанні з нітрид-ванадієвим зміцненням мають значний потенціал фізико-механічних властивостей, який реалізується при комплексній оптимізації їх хімічного складу, розкислення, виду і умов термічної обробки. Вплив цих факторів екстремальний і настільки неоднозначний, що може бути ефективно оптимізований тільки комп'ютерним експериментом за встановленими залежностями, які є теоретичною основою комп'ютерного металознавства конструкційних сталей. Дослідження численних конструкційних сталей показує, що комп'ютерна розробка їх хімічного складу, умов розкислення і термічної обробки забезпечує створення нового класу економнолегованих сталей з унікальним поєднанням міцності, пластичності та експлуатаційних властивостей. Наведені приклади оптимальних режимів термічної обробки виливків і поковок для досягнення таких властивостей.

**Ключові слова:** конструкційна сталь, хімічний склад, термічна обробка, механічні властивості, прогартуваність, втомна міцність, холодостійкість, в'язкість руйнування, зносостійкість.

компьютерным экспериментом по установленным зависимостям, которые являются теоретической основой компьютерного металловедения конструкционных сталей. Исследование многочисленных конструкционных сталей показывает, что компьютерная разработка их химического состава, условий раскисления и термической обработки обеспечивает создание нового класса экономнолегированных сталей с уникальным сочетанием прочностных, пластических и эксплуатационных свойств. Приведены примеры оптимальных режимов термической обработки отливок и поковок для достижения таких свойств.

**Ключевые слова:** конструкционная сталь, химический состав, термическая обработка, механические свойства, прокаливаемость, усталостная прочность, хладостойкость, ударная вязкость, абразивная износостойкость.

**Ye. G. Aftandiliants** ORCID 0000-0002-0317-7683.

## РАЗРАБОТКА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

*Е. Г. Афтандилианц*

**Аннотация.** На основании комплексных аналитических и экспериментальных исследований процессов кристаллизации из жидкого состояния и перекристаллизации в твердом определены основные физико-химические и фазовые параметры конструкционных сталей, содержащих до 0,4 мас.% C; 3% Si, Mn и Cr; 0,035% N; 0,3% V и установлены качественные закономерности их влияния. Эти закономерности дают возможность аналитически прогнозировать химические составы и условия термической обработки отливок и поковок из конструкционных сталей с необходимой комбинацией литейных и механических свойств, прокаливаемости, усталостной прочности, хладостойкости, ударной вязкости, абразивной износостойкости, термостойкости и стойкости к развитию обратимой отпускной хрупкости. Результаты проведенных исследований показали, что низко- и среднелегированные марганцем, кремнием и хромом конструкционные стали в сочетании с нитрид-ванадиевым упрочнением обладают значительным потенциалом физико-механических свойств, который реализуется при комплексной оптимизации их химического состава, раскисления, вида и условий термической обработки. Влияние этих факторов экстремально и настолько неоднозначно, что может быть эффективно оптимизировано только



УДК 621.81

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ДЖЕРЕЛА ШУМУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МЕЗ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСАХ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

С. М. Виговський, І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 05.26.01 – охорона праці.

Кореспонденція автора: [rogovskii@nubip.edu.ua](mailto:rogovskii@nubip.edu.ua).

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.

Бібл. 10, рис. 1, табл. 0.

**Анотація.** Формування шуму на робочому місці механізатора обумовлене взаємодією окремих джерел шуму, якими є агрегати і вузли машин і устаткування, що застосовуються в технологічних процесах. У подібних технологічних процесах систему джерел шуму можна розглядати як замкнуту фізичну систему. Замикання відбувається або нескінченно віддаленою областю, в якій шум повністю поглинається, або граничними поверхнями, від яких шум може частково відбиватися і апроксимуватися вторинними джерелами шуму. З іншого боку відомо, що рівень шуму, що виникає від декількох некогерентних джерел, працюючих одночасно, розраховується на підставі принципу енергетичного підсумовування випромінюванні окремих джерел.

В статті розроблена математична модель формування шуму на робочому місці при взаємодії джерел шуму, обумовлених окремими вузлами і агрегатами машин і самими машинами, що входять в технологічний комплекс, дозволяє визначити процеси встановлення стаціонарних рівнів енергії шуму і розрахувати рівень шуму на робочому місці механізатора.

**Ключові слова:** модель, шум, небезпека, виробництво, процес, зерносклад.

### Постановка проблеми

Формування шуму на робочому місці механізатора обумовлене взаємодією окремих джерел шуму, якими є агрегати і вузли машин і устаткування, що застосовуються в технологічних процесах [1]. У подібних технологічних процесах систему джерел шуму можна розглядати як замкнуту фізичну систему. Замикання відбувається або нескінченно віддаленою областю, в якій шум повністю поглинається, або граничними поверхнями, від яких шум може частково відбиватися і апроксимуватися вторинними джерелами шуму [2].

### Аналіз останніх досліджень

Розглянемо розрахункову схему, приведену на рис. 1. Нехай маємо  $n$  локальних областей. У кожній області є джерело з рівнем енергії шуму (вібрацій)  $E_n$ . Розглянемо як змінюється рівень енергії шуму (вібрацій) у виділеній області  $k$  при взаємодії джерел. Вважатимемо, що система  $n$  областей замкнута [3].

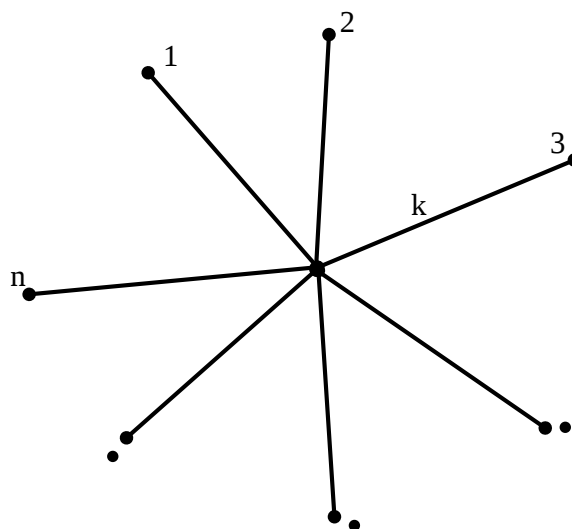


Рис. 1. Розрахункова схема замкнутої системи джерел шуму(вібрації) 1, 2, 3, ... ,.....  $n$  – джерела енергії шуму.

Рис. 1. Розрахункова схема замкнутої системи джерел шуму(вібрації) 1, 2, 3, ... ,.....  $n$  – джерела енергії шуму.

Джерело шуму області (виділена) взаємодіє з навколишніми джерелами шуму областей 1, 2, 3...  $n$  тому зміна характеристик одного з джерел 1, 2, 3...  $n$  призводить до зміни рівня енергії шуму (вібрацій) в області  $k$  [4]. Енергія шуму (вібрацій)  $E_n$  переноситься у виділену область з яким-небудь коефіцієнтом  $\lambda_n$  тоді в області матиме місце випадок

реалізації некогерентних джерел, працюючих одночасно, з відповідними рівнями енергії [5, 6].

$E_n$  – енергетична характеристика  $n$ -джерела.

$$\lambda_{1,1} E_1, \lambda_{1,2} E_2, \dots, \lambda_{1,n} E_n \quad (1)$$

Таким чином, завдання звелось до визначення рівня енергії шуму і локальної області  $k$  якщо відомо, що в цій області існує нерівномірне поле джерел, що мають рівні шумів (вібрацій) [7-10].

### Мета досліджень

Мета досліджень обґрунтувати зменшення взаємодії джерела шуму сільськогосподарських МЕЗ за параметрами охорони праці на виробничих процесах зберігання зерна.

### Результати досліджень

Виділимо в локальній області  $k$  довільну замкнуту підобласть  $k_1$  об'ємом  $V_1$  і замкнутою поверхнею  $F$ . У підобласті виділимо деякі прошарки з рівномірно розподіленою енергією  $\Delta E$ , які знаходяться на відстані  $\Delta r$  один від одного. У підобласті  $k_1$  введемо декартові координати  $x, y, z$  з довільним початком відліку. Тоді потік енергії шуму  $Q$  що проходить через одиницю площі в одиницю часу, пропорційний градієнту енергії.

$$q = m \frac{\Delta E}{\Delta r}, \quad (2)$$

де  $m$  - коефіцієнт пропорційності.

Загальна кількість енергії шуму  $Q$  яка витікає через замкнуту поверхню  $F$  підобласті  $k_1$  за час  $\Delta t = t_2 - t_1$  дорівнює

$$q_1 = \int_{t_1}^{t_2} \int_F m \frac{dE}{dn_1} dF dt, \quad (3)$$

де  $n_1$  - зовнішня нормаль до поверхні  $F$ .

Останній вираз переписемо у вигляді

$$q_1 = \int_{t_1}^{t_2} \int_F m \vec{\nabla} dF dt \quad (4)$$

Нехай  $f(\vec{r}, t)$  де  $\vec{r} = \vec{r}(x, y, z)$  - радіус вектору, є щільність розподілу рівнів енергії шумів  $\lambda_1 E_1, \lambda_2 E_2, \dots, \lambda_n E_n$  в локальній області  $k$  тоді в об'ємі  $V$  області  $k$  за час  $\Delta t$  буде реалізуватися кількість енергії шуму (вібрацій)

$$q_2 = \int_{t_1}^{t_2} \int_V f(\vec{r}, t) dV dt \quad (5)$$

Вказані процеси супроводжуються зміною рівня енергії шуму в кожній виділеній області  $n$  причому загальна зміна рівня енергії шуму в області об'ємом  $V$  за час  $\Delta t$

$$q_3 = \int_{t_1}^{t_2} \int_V E \frac{\partial E}{\partial t} dV dt, \quad (6)$$

де  $E$  - коефіцієнт пропорційності.

Використовуючи співвідношення балансу енергії

$$q_2 - q_1 = q_3 \quad (7)$$

отримаємо, що різниця енергії шуму  $q_2$  що утворюється в  $k$  і енергії шуму  $q_1$  що виходить з області  $k$  через поверхню  $F$  є залишок енергії шуму у виділеній області  $k$  об'ємом  $V$ .

Підставляючи (4), (5), (6) у (7), отримаємо

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_V f(\vec{r}, t) dV dt - \int_{t_1}^{t_2} \int_F m \vec{\nabla} dF dt = q_2 = \int_{t_1}^{t_2} \int_V \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} dV dt.$$

Перетворюючи другий доданок лівої частини останньої рівності по формулі Остроградського, визначимо

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_V \left[ f(\vec{r}, t) + \text{div}(m \text{ grad } E) - \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \right] dV dt = 0 \quad (8)$$

В силу довільності вибору інтервалу часу  $\Delta t$  і об'єму  $V$  рівність (8) виконується тоді і тільки тоді, коли

$$f(\vec{r}, t) + \text{div}(m \text{ grad } E) - \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

Вважаючи, що область  $k$  однорідна відносно коефіцієнта  $m$  і нормуючи коефіцієнт перед  $\frac{\partial E}{\partial t}$ , знайдемо

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{m}{\varepsilon} \Delta^2 E + \frac{f(\vec{r}, t)}{\varepsilon}$$

Додавши  $\vec{\nabla} \vec{\nabla} E$  до обох частин останнього виразу, отримаємо

$$\frac{dE}{dt} = \frac{f(\vec{r}, t)}{\varepsilon} + \left( \frac{m}{\varepsilon} \vec{\Delta} + \vec{\nabla} \right) \vec{\nabla} E$$

Перетворивши

$$\frac{f(\vec{r}, t)}{\varepsilon} = \varphi, \quad \frac{m}{\varepsilon} \vec{\Delta} + \vec{\nabla} = \vec{\psi}$$

Знайдемо

$$\frac{dE}{dt} = \vec{\psi} \vec{\nabla} E + \varphi$$

Виразимо останню рівність у безрозмірних рівнях енергії, для чого поділимо рівність на нормуючий рівень енергії  $E_0$  і помножимо на 10

$$10 \frac{d}{dt} \frac{E}{E_0} + \overrightarrow{\psi} \overrightarrow{\nabla} \left( 10 \frac{E}{E_0} \right) + 10 \frac{\varphi}{E_0}$$

За визначенням безрозмірного рівня енергії

$$L = 10 \lg \frac{E}{E_0}$$

Продиференціювавши обидві частини, знайдемо

$$\left. \begin{aligned} 10 \frac{d}{dt} \frac{E}{E_0} &= \frac{E}{E_0} \frac{dL}{dt} \\ 10 \overrightarrow{\nabla} \frac{E}{E_0} &= \frac{E}{E_0} \overrightarrow{\nabla} L \end{aligned} \right\}$$

Використовуючи рівняння останньої системи, визначимо

$$\frac{E}{E_0} \frac{dL}{dt} = \frac{E}{E_0} \overrightarrow{\psi} \overrightarrow{\nabla} L + 10 \frac{\varphi}{E_0}$$

Припустимо, що  $\varphi = 0,1\varphi_1 E$  тоді

$$\frac{dL}{dt} = \overrightarrow{\psi} \overrightarrow{\nabla} L + \varphi_1 \quad (10)$$

Вираз (10) визначає фізичний процес вирівнювання безрозмірного рівня енергії шуму, якщо в локальній області є джерела шуму (вібрації).

З іншого боку відомо, що рівень шуму, що виникає від декількох некогерентних джерел, працюючих одночасно, розраховується на підставі принципу енергетичного підсумовування випромінювання окремих джерел. В зв'язку з цим повернемося до реалізовуючого процесу (1), тоді сумарний безрозмірний рівень енергії від  $k$  некогерентних джерел

$$L_{\Sigma K} = 10 \lg \sum_{j=1}^n 10^{0,1\lambda_{jk} L_j} \quad (11)$$

Слід зауважити, що вклад  $k$ -го джерела в сумарну характеристику відбувається повністю, тобто  $\lambda_{kk} = 1$ .

Проведемо нескладне математичне перетворення рівності (11). Поділивши обидві частини (11) на 10 і потенціюючи, отримаємо

$$10^{0,1L_{\Sigma K}} = \sum_{j=1}^n 10^{0,1\lambda_{jk} L_j} \quad (12)$$

$$\text{або } a^{L_{\Sigma K}} = \sum_{j=1}^n a^{0,1\lambda_{jk} L_j},$$

де  $\lg a = 0,1$

Поділивши (12) на  $L_{\Sigma K}$  знайдемо

$$1 = \sum_{j=1}^n a^{\lambda_{jk} L_j - L_{\Sigma K}}$$

Розклавши праву частину, що стоїть під знаком суми, в ряд з урахуванням перших двох членів, визначимо

$$(n-1) + \ln a \sum_{j=1}^n (\lambda_{jk} L_j - L_{\Sigma K}) = 0 \quad (13)$$

Допустимо, що процес стаціонарний, тоді

$$\frac{dL}{dt} = 0, \quad \overrightarrow{\psi} \overrightarrow{\nabla} L = \sum_{j=1}^n (\lambda_{jk} L_j - L_{\Sigma K}) \quad (14)$$

Остання операція виправдана тим, що безперервний градієнт замінюється дискретним значенням різниці рівнів енергії шумів по вибраним напрямкам. Після цього знайдемо з (10) з урахуванням (14) того, що

$$\varphi_1 + \sum_{j=1}^n (\lambda_{jk} L_j - L_{\Sigma K}) = 0 \quad (15)$$

Порівнюючи (15) і (13), визначимо, що

$$\varphi_1 = \frac{n-1}{\ln a} \quad (16)$$

З урахуванням зроблених допущень, встановлення рівноважного процесу рівня шуму (вібрацій) описується звичайним диференціальним рівнянням першого порядку

$$\frac{dL_{\Sigma K}}{dt} = \frac{n-1}{\ln a} + \sum_{j=1}^n (\lambda_{jk} L_j - L_{\Sigma K}), \quad (17)$$

де  $n$  - кількість джерел шуму (вібрацій);

$L_j$  - рівень шуму в локальній області;

$\lambda_{jk}$  - коефіцієнт, що враховує поширення шуму (вібрацій) з області  $j$  у область  $k$ .

Рівняння (17) є математичною моделлю процесу взаємодії замкнутої системи джерел шуму (вібрацій).

Повністю область з  $n$  - випромінювачів описується системою рівнянь

$$\frac{dL_{\Sigma K}}{dt} = \frac{n-1}{\ln a} + \sum_{j=1}^n (\lambda_{jk} L_j - L_{\Sigma K}) \quad (18)$$

$$K = 1, 2, 3, \dots, n$$

Математична модель (18) описує замкнуту систему джерел шуму (вібрацій). Причому в сільськогосподарському виробництві практично завжди система замикається.

Якщо устаткування у відкритому просторі знаходиться на відстані близько 10 характерних геометричних розмірів устаткування від захисних поверхонь, тоді можна прийняти, що шум, що випромінюється устаткуванням, йде в нескінченність і не повертається.

Якщо устаткування знаходиться в приміщенні на відстані менше 10 характерних геометричних розмірів

устаткування від стін і захисних поверхонь (не фанерованих спеціальним шумопоглинаючим матеріалом), то стіни і поверхні, що захищають, можна прийняти за вторинні джерела шуму.

### Висновки

1. Таким чином, розроблена математична модель формування шуму на робочому місці при взаємодії джерел шуму, обумовлених окремими вузлами і агрегатами машин і самими машинами, що входять в технологічний комплекс, дозволяє визначити процеси встановлення стаціонарних рівнів енергії шуму і розрахувати рівень шуму на робочому місці механізатора.

### Список літератури

1. Ivanovs S., Bulgakov V., Nadykto V., Kuvachov V. Theoretical investigation of turning ability of two-machine sowing aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 314-322.

2. Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk V., Nowak J. Theoretical investigation of steering ability of movement of asymmetric swath header-and-tractor aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 301-308.

3. Knapczyk A., Francik S., Pedryc N., Hebda T. Bibliometric analysis of research trends in engineering for rural development. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 700-707.

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

5. Виговський С. М., Rogovskii І. Л. Інженерні заходи забезпечення охорони праці при експлуатації МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація та автоматизація виробничих процесів. Суми, 2016. Вип. 10/3 (31). С. 168–173.

6. Виговський С. М., Rogovskii І. Л. Логічна модель процесу перебігу подій-небезпек в заходах охорони праці при експлуатації МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК [Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK]. Київ. 2017. Вип. 275. С. 325–335.

7. Виговський С. М., Rogovskii І. Л. Вдосконалення навчання з охорони праці при експлуатації МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК.

Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 26–30 березня 2018 року. Київ. 2018. С. 180–183.

8. Виговський С. М., Rogovskii І. Л. Підвищення безпеки праці при забезпеченні стійкості руху МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Збірник тез доповідей XIV Міжнародної наукової конференції «Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018» (19-22 травня 2018 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2018. С. 136–138.

9. Виговський С. М., Rogovskii І. Л. Імітаційне моделювання фізичних небезпек на виробничих процесах при експлуатації МЕЗ на зерноскладах. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, 189-194.

10. Виговський С. М., Rogovskii І. Л. Стійкість сільськогосподарських мез за параметрами охорони праці на виробничих процесах зберігання зерна. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 2, 169-174.

### References

1. Ivanovs S., Bulgakov V., Nadykto V., Kuvachov V. (2018). Theoretical investigation of turning ability of two-machine sowing aggregate. 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, 314-322.

2. Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk V., Nowak J. (2018). Theoretical investigation of steering ability of movement of asymmetric swath header-and-tractor aggregate. 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, 301-308.

3. Knapczyk A., Francik S., Pedryc N., Hebda T. (2018). Bibliometric analysis of research trends in engineering for rural development. 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, 700-707.

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

5. Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L. (2016). Engineering measures to ensure safety in the operation of the IES at the granaries of agricultural enterprises. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: mechanization and automation of production processes. The amount of, Vol. 10/3 (31). 168-173.

6. Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L. (2017). Logical process model flow of events-dangers in the activities of occupational safety in the operation of the extraction plant

on silos of agribusiness. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 275. 325-335.

7. Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L. (2018). Improvement of education on labor protection during operation of the IES at the granaries of agricultural enterprises. Problems and prospects of development of technical and bioenergetic environmental management systems. XVIII International conference of scientific and pedagogical workers, scientific employees and postgraduates: abstracts. Kyiv, Ukraine, 26-30 March 2018. Kyiv. 180-183.

8. Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L. (2018). Improving workplace safety while ensuring the sustainability of the movement MEZ on the granaries of agricultural enterprises. The book of abstracts XIV International scientific conference "Rational use of energy in technology. TechEnergy 2018" (19-22 May 2018). National University of life and environmental Sciences of Ukraine. Kyiv. 136-138.

9. Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L. (2019). Simulation of physical hazards in production processes when operating the extraction plant on silos. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, 189-194.

10. Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L. (2019). Sustainability of agricultural MEZ in parameters of labor protection on production processes of grain storage. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 2, 169-174.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ИСТОЧНИКА ШУМА  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЭС ПО  
ПАРАМЕТРАМ ОХРАНЫ ТРУДА НА  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ХРАНЕНИЯ  
ЗЕРНА

*С. М. Выговский, И. Л. Роговский*

**Аннотация.** Формирование шума на рабочем месте механизатора обусловленное взаимодействием отдельных источников шума, которыми являются агрегаты и узлы машин и оборудования, применяемых в технологических процессах. В подобных технологических процессах систему источников шума можно рассматривать как замкнутую физическую систему. Замыкание происходит или бесконечно удаленной областью, в которой шум полностью поглощается, или граничными поверхностями, от которых шум может частично отражаться и аппроксимоваться вторичными источниками шума. С другой стороны известно, что уровень шума, возникающий от нескольких некогерентных источников, работающих одновременно, рассчитывается на основании принципа энергетического суммирования излучении отдельных источников.

В статье разработана математическая модель формирования шума на рабочем месте при взаимодействии источников шума, обусловленных отдельными узлами и агрегатами машин и самими машинами, входящих в технологический комплекс,

позволяет определить процессы установления стационарных уровней энергии шума и рассчитать уровень шума на рабочем месте механизатора.

**Ключевые слова:** модель, шум, опасность, производство, процесс, зерносклад.

PROCESS MODEL OF INTERACTION OF NOISE  
SOURCE AGRICULTURAL MEZ IN PARAMETERS  
OF LABOR PROTECTION ON PRODUCTION  
PROCESSES OF GRAIN STORAGE

*S. M. Vygovskii, I. L. Rogovskii*

**Abstract.** The formation of noise at the workplace of the operator due to the interaction of the individual noise sources, which are the units and components of machinery and equipment used in technological processes. In such processes the system noise sources can be considered as a closed physical system. Circuit occurs or the infinitely remote region where the noise is absorbed, or boundary surfaces, of which the noise can be partially reflected and approximates secondary sources of noise. On the other hand it is known that the noise level arising from several nekogerentnogo sources operating simultaneously is calculated on the basis of the principle of energy summation of the individual radiation sources.

In the article the mathematical model of the formation of noise at the workplace the interaction of sources of the noise caused by individual nodes and aggregates of machinery by the machinery included in the technological complex allows to define the processes establishing the stationary energy levels of the noise and calculate the noise level at the workplace of the machine operator.

**Key words:** model, noise, danger, manufacture, process, granary.

**С. М. Выговський** ORCID 0000-0002-0357-3141.

**І. Л. Роговський** ORCID 0000-0002-6957-1616.



УДК 658.531:631.3

## АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ КОЕФІЦІЄНТУ ГОТОВНОСТІ І ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Ю. О. Черник

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: [chernik@gmail.com](mailto:chernik@gmail.com).

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.

Бібл. 17, рис. 6, табл. 2.

**Анотація.** При розробці технологічних карт збирання урожаю не враховується термін експлуатації комбайна і його технічний стан. Не врахування попереднього терміну експлуатації комбайнів і ймовірних значень показників технічного стану приводить до суттєвих прорахунків при прогнозуванні термінів жнив. Для машин коротко сезонного використання найбільш значимі із показників надійності як ремонтпридатних систем слугують статистичні або ймовірні значення показників наробітку між черговими відмовами і тривалості простоїв на відмовах. Комплексним показником роботоздатності відновлювальних систем (об'єктів) використовують коефіцієнти технічної готовності  $K_g$  який розраховується як відношення середнього наробітку між відмовами до середнього наробітку між відмовами плюс середнього простою по усуненню відмов.

Автором представлено, що при плануванні термінів жнив необхідно враховувати строк експлуатації комбайнів і вносити поправки в показники продуктивності із врахуванням ймовірного зниження показника технічного стану через коефіцієнт готовності.

В статті визначено, що питоме зниження продуктивності на одиницю зменшення коефіцієнта готовності для комбайнів складає тридцять тон на молоту ранніх зернових.

**Ключові слова:** система, готовність, коефіцієнт, комбайн.

### Постановка проблеми

При розробці технологічних карт збирання урожаю не враховується термін експлуатації комбайна і його технічний стан [1]. Не врахування попереднього терміну експлуатації комбайнів і ймовірних значень показників технічного стану приводить до суттєвих прорахунків при прогнозуванні термінів жнив [2, 3]. Для машин коротко сезонного використання найбільш значимі із показників надійності як ремонтпридатних систем слугують статистичні або ймовірні значення показників наробітку між черговими відмовами і

тривалості простоїв на відмовах [4-6]. Згідно [7, 8] комплексним показником робото здатності відновлювальних систем (об'єктів) використовують коефіцієнти технічної готовності  $K_g$  який розраховується як відношення середнього наробітку між відмовами до середнього наробітку між відмовами плюс середнього простою по усуненню відмов [9].

### Аналіз останніх досліджень

Оскільки число досліджуваних комбайнів було постійним (10 комбайнів), то для відновлюваних об'єктів визначено потрібний обсяг досліджень кількість зафіксованих відмов, або сумарно кількість відпрацьованих мотогодин для розрахунку показників надійності із заданою точністю [10-12]. Нагляд за роботою комбайнів виконувався за планом  $NM(\check{C}\Sigma, T\Sigma)$  [13], згідно якого одночасно досліджувалися  $N=10$  комбайнів [14, 15]. Після кожної відмови робото здатність комбайна відновлювалася  $\check{C}\Sigma=80$  відмов, або при досягненні сумарного наробітку по всіх комбайнах досягла  $T\Sigma=257$  мотогодин [16]. Умові проведення досліджень ротангом сезону  $\check{C}\Sigma=80 \times 109$ ;  $T\Sigma=257$  мотогод  $\ll 1500$  мотогод [17].

### Мета досліджень

Визначення напрямків розроблення аналітичних положень і моделі коефіцієнту готовності та терміну експлуатації зернозбиральних комбайнів.

### Результати досліджень

Для планів  $[NM\check{C}\Sigma]$   $[NMT\Sigma]$  розраховуємо вибірку оцінку наробітку на відмову комбайна №1 за термін жнив першого року експлуатації:

$$\hat{T}_o = \frac{S}{m} = \frac{241}{13} = 18.53 \text{ мотогодин} \quad (1)$$

Вибіркову оцінку середньої тривалості відновлень:

$$\hat{T}_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{B_i} = \frac{58}{13} = 4,46 \text{ мото-годин} \quad (2)$$

Точкову оцінку коефіцієнта готовності для комбайна №1 за термін жнив першого року експлуатації розраховуємо за формулою:

$$K_{\Gamma}^1 = \hat{T}_0 / (\hat{T}_0 + \hat{T}_B) = \frac{18,53}{18,53 + 4,46} = 0,81 \quad (3)$$

Точкова оцінка коефіцієнтів готовності для комбайнів за термін жнив першого року експлуатації відповідно для комбайнів №2 -  $K_{\Gamma}=0,58$ ; №3  $K_{\Gamma}=0,73$ ; №4  $K_{\Gamma}=0,51$ ; №5  $K_{\Gamma}=0,76$ ; №6  $K_{\Gamma}=0,59$ ; №7  $K_{\Gamma}=0,76$ ; №8  $K_{\Gamma}=0,57$ ; №9  $K_{\Gamma}=0,58$ ; комбайн №10 - був знятий з експлуатації через відмову двигуна через 60 м.-год.

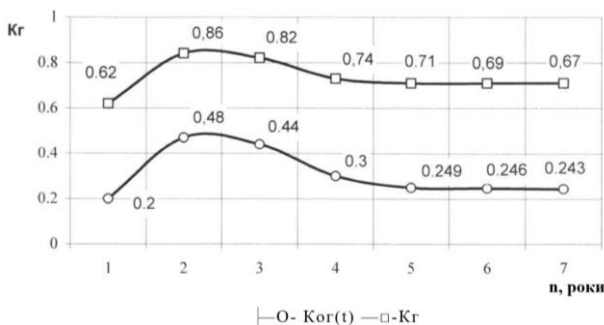
Середнє значення коефіцієнта готовності для дев'яти комбайнів визначаємо із формули:

$$K_{\Gamma}^1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{\Gamma_i} = \frac{5,85}{9} = 0,65 \quad (4)$$

Закономірність зниження середнього значення коефіцієнта готовності із зростанням строків експлуатації показано на рис. 1 і поліномом четвертої степені:

$$K_{\Gamma} = -0,0043x^4 + 0,0784x^3 - 0,5072x^2 + 1,3051x - 0,3009$$

$$R^2 = 0,9862$$



**Рис. 1.** Закономірності зміни стаціонарного коефіцієнта готовності і нестационарного коефіцієнта оперативної готовності.

**Fig. 1.** The patterns of change in the stationary coefficient of readiness and non-stationary coefficient of operational readiness.

За п'ять років експлуатації після 2015 року значення коефіцієнта готовності знизилася від значення  $K_{\Gamma 2}=0,86$  до  $K_{\Gamma 7}=0,64$ , тобто на 26%. Середньосезонне значення зниження коефіцієнта готовності складало  $DK_{\Gamma}=0,044$ , або 5,2% щорічно.

Згідно оцінки передбачаємо, що статистичних показників коефіцієнта готовності закономірності зміни із зростанням строків експлуатації близькі до розподілу Вейбулла.

Для другого року експлуатації ЗК визначимо:

1. Стаціонарний коефіцієнт готовності для другого року експлуатації:

$$K_{\Gamma} = \frac{\mu}{\mu + w} = \frac{0,25}{0,25 + 0,040} = 0,86; \quad (5)$$

2. Нестационарний коефіцієнт готовності на зміну роботи:

$$K_{\Gamma}(f_3) = \frac{\mu}{\mu + w} + \frac{w}{\mu + w} e^{-(w+\mu)t_3} =$$

$$= \frac{0,25}{0,25 + 0,040} + \frac{0,040}{0,25 + 0,040} e^{-(0,25+0,040)} =$$

$$= 0,87 + 0,16e^{-3,17} = 0,86 + 0,16 \frac{1}{23,8} =$$

$$= 0,86 + 0,16 * 0,042 = 0,86 + 0,006 =$$

$$= 0,866 \approx 0,87$$

3. Стаціонарний коефіцієнт оперативної готовності за зміну:

$$K_{o,t}(f_3) = \frac{\mu}{\mu + w} e^{-wt} = 0,86e^{-0,041*14} =$$

$$= 0,86e^{0,54} = 0,86 \frac{1}{1,77} = 0,86 * 0,56 = 0,48$$

4. Нестационарний коефіцієнт оперативної готовності за зміну роботи:

$$K_{o,t}(\tau, t) = \left( \frac{\mu}{\mu + w} + \frac{\mu}{\mu + w} e^{-(w+\mu)t_3} \right) e^{-wt} =$$

$$= 0,87 * 0,56 = 0,49$$

Стаціонарний і нестационарний коефіцієнт відрізняється на 0,01, а стаціонарний коефіцієнт готовності ( $K_{\Gamma}$ ) і стаціонарний коефіцієнт оперативної готовності ( $K_{or}(t)$ ) відрізняються  $\Delta K_{\Gamma} = K_{\Gamma} - K_{or}(t) = 0,86 - 0,48 = 0,39$ .

Визначаємо основні характеристики розподілу Вейбулла для коефіцієнта готовності із збільшенням строків експлуатації.

$$\bar{T}_n \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)}{w} - \text{середнє значення наробітку між відмовами} \quad (9)$$

$$f(t_3) = m\omega(\omega \cdot t)^{m-1} e^{-(\omega t)^m} - \text{щільність розподілу} \quad (10)$$

$$F(t_3) = 1 - e^{-wt} - \text{функція розподілу імовірності відмов} \quad (11)$$

$$D\bar{T}_n = \frac{1}{w^2} \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right] - \text{дисперсія.} \quad (12)$$

Розрахунки характеристик розподілу Вейбулла для другого року експлуатації ЗК (як приклад):

$$\bar{T}_{n2} \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{27}\right)}{0,04} = \frac{\Gamma(1,34)}{0,04} = \frac{0,8892}{0,04} = \text{мото-год.}$$

$$= 22,23$$

$$f_2(t_3) = 2,70 * 0,04(0,04 * 14)^{2,70-1} e^{-(0,04*14)^{2,70}} =$$

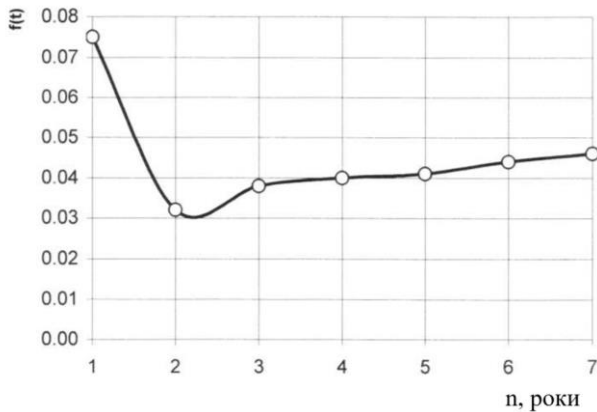
$$= 2,7 * 0,04 * 0,373 * 0,82 = 0,033$$

$$F_2(t_3) = 1 - 2,71^{-(0,04*14)^{2,7}} = 1 - 0,82 = 0,18$$

$$D\bar{T}_{n2} = \frac{1}{0,04^2} \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{2,7}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,7}\right) \right] = 625 * 0,1289 = 78$$

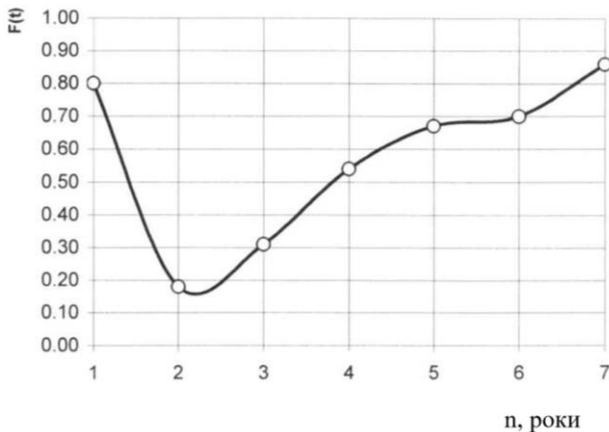
Закономірності зміни стаціонарного коефіцієнта готовності і нестаціонарного коефіцієнта оперативної готовності в залежності від строків експлуатації показані на рис. 1.

Закономірності зміни щільності розподілу  $K$ , та функції розподілу імовірності відмови показані на рис. 2, рис. 3.



**Рис. 2.** Щільність розподілу значень наробітку між відмовами із збільшенням строків експлуатації.

**Fig. 2.** The density distribution of values of operation time between failures with increasing time of operation.



**Рис. 3.** Функція розподілу імовірності відмови протягом зміни із збільшенням строків експлуатації.

**Fig. 3.** Distribution function of the probability of failure during the shift with increasing time of operation.

Основні характеристики розподілу Вейбулла роботи комбайнів із збільшенням строків експлуатації зведені в таблицю 1.

Із рисунка видно, що розбіжність між експериментальними та розрахунковими значеннями  $K_t$  (по розподілу Вейбулла не значні (до 3%).

При кількості інформації  $N=25$  і відсутності статистичного ряду середнє квадратичне відхилення визначаємо із формули:

$$\sigma_{k2}^1 = \sqrt{\frac{1}{N-1} (t_i - t_{cp})^2} = \sqrt{0,020} = 0,141 \quad (13)$$

**Таблиця 1.** Характеристики розподілу Вейбулла роботи комбайнів із збільшенням строків експлуатації.

**Table 1.** Characteristics of Weibull raspadsk work combines with increasing time of operation.

| Роки експлуатації ЗК | T     | $\sigma_{k2}$ | f(t) | N   |
|----------------------|-------|---------------|------|-----|
| 1                    | 10,79 | 0,075         | 0,80 | 14  |
| 2                    | 22,93 | 0,032         | 0,18 | 78  |
| 3                    | 19,65 | 0,038         | 0,31 | 94  |
| 4                    | 14,42 | 0,040         | 0,54 | 141 |
| 5                    | 11,65 | 0,041         | 0,67 | 89  |
| 6                    | 11,21 | 0,044         | 0,70 | 82  |
| 7                    | 10,3  | 0,046         | 0,86 | 73  |

Значення коефіцієнта готовності за термін живих першого року експлуатації складає:

$$K_{k2}^1 = 0,65 \pm 0,141$$

Визначимо коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{\sigma_{k2}^1}{K_{k2}^1} = \frac{0,141}{0,61} = 0,34 \quad (14)$$

По відомому коефіцієнту варіації  $v_p=0,34$  із таблиці 2 знаходимо параметри і коефіцієнти розподілу Вейбулла.

$$v=3,22; \quad K_b=0,896; \quad C_b=0,306$$

Знаходимо параметр зменшення:

$$C = \bar{K}_r - aK_b = 0,61 - 0,418 = 0,198 \quad (15)$$

Визначаємо верхню довірчу границю для коефіцієнта готовності:

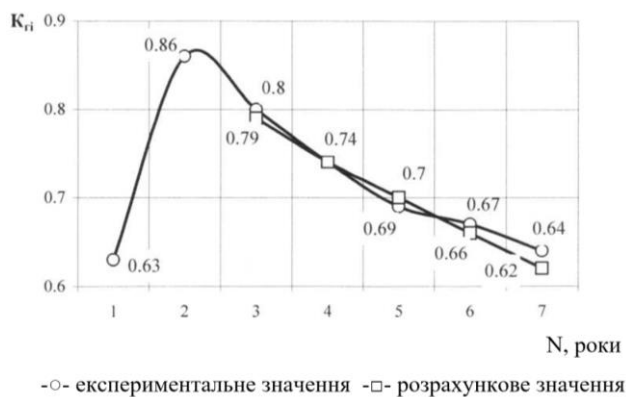
$$\begin{aligned} K_{\epsilon} &= (\bar{K}_r - C)^{3,22\sqrt{Z_1}} + C = \\ &= (0,61 - 0,198)^{3,22\sqrt{1,14}} + 0,198 = \\ &= 0,412 * 1,04 + 0,198 = 0,63 \\ K_H &= (\bar{K}_r - C)^{3,22\sqrt{Z_3}} + C = \\ &= (0,61 - 0,198) * 0,96 + 0,198 = 0,59 \end{aligned} \quad (16)$$

Аналіз темпів зміни показника вибіркової оцінки коефіцієнта готовності дозволяє зробити висновок, що термін довговічності основних агрегатів, систем, механізмів комбайнів вичерпуються строком експлуатації протягом п'яти-шести років та сумарним виробітком 1200-1400 мотогод. при середньому виробітку за сезон 200-280 мотогод. Після зазначеного строку експлуатації в роках та виробітку в мотогод. показник наробітку між відмовами знижується від 25 мотогод. до 12-13 мотогод., тривалість простоїв по відмовах стабілізується в межах 6 годин, а показник коефіцієнта готовності знижується до 0,67...0,64 рис. 4.

Імовірну величину коефіцієнта готовності на термін живих після другого можна розрахувати по емпіричній залежності:

$$K_{r1} = K_{r2} \cdot e^{-(0,015+0,005 \cdot x_{\text{в}})^3} \quad (17)$$

де  $x_{\text{в}}$  - рік експлуатації ЗК.



**Рис. 4.** Зміна коефіцієнтів готовності комбайна в залежності від строків експлуатації.

**Fig. 4.** Change of the coefficients of availability of the harvester, depending on the time of operation.

Наприклад для третього року експлуатації:

$$K_{r3} = 0,86 \cdot e^{-(0,015+0,005 \cdot 3)} =$$

$$= 0,86 \cdot \frac{1}{1,093} = 0,86 \cdot 0,91 = 0,79$$

Середнє значення зниження коефіцієнта готовності за сезон експлуатації (в межах семи сезонів експлуатації) можна визначити а формулою:

$$\gamma_{Kc} = \frac{K_r \max - K_1 \min}{n - 2} =$$

$$= \frac{0,86 - 0,64}{7 - 2} = 0,044 \frac{1}{\text{сезон}} \quad (18)$$

В межах нормативних затрат на відновлювальні ремонти комбайнів і підтримування їх роботоздатності під час жнив після другого сезону експлуатації спостерігається щорічне зниження коефіцієнта готовності на 0,036.

Вплив коефіцієнта готовності на продуктивність комбайна визначається через його вплив на коефіцієнт використання часу зміни.

Через коефіцієнт готовності визначається введений нами відносний показник технічного стану Z, який входить безпосередньо у рівняння за яким визначається коефіцієнт використання часу зміни. Нами прийнято, що величина Z із зростанням років використання комбайна збільшується лінійно. Зміна відносного показника технічного стану показана на рис. 5.

Продуктивність (в тонах) комбайнів із збільшенням строків експлуатації через зниження коефіцієнта готовності зменшується:

$$\gamma_Q = \frac{Q_r \max - Q_r \min}{n - 2} =$$

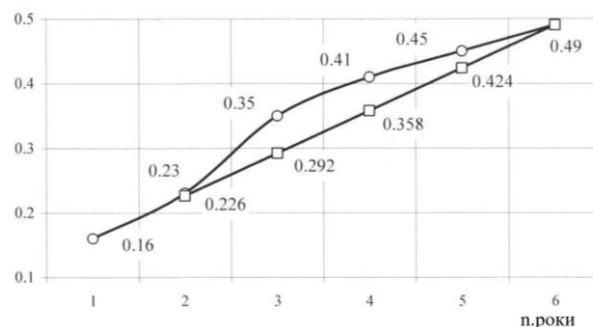
$$= \frac{1133 - 605}{7 - 2} = 106 \text{ тон} / \text{сезон} \quad (19)$$

Зниження коефіцієнта готовності на 0,01 стає причиною зменшення продуктивності комбайна на 21,2 т/сезон.

Визначимо питоме зниження продуктивності на одиницю зменшення коефіцієнта готовності:

$$\Delta \gamma = \frac{Q_2 \max - Q_7 \min}{K_{1,2} \max - K_{1,7} \min} =$$

$$= \frac{\Delta Q}{\Delta K_r \cdot 100} = \frac{563}{0,18 \cdot 100} = 31,3 \text{ тон} \quad (20)$$



**Рис. 5.** Зміна відносного показника технічного стану 2 із збільшенням строків експлуатації.

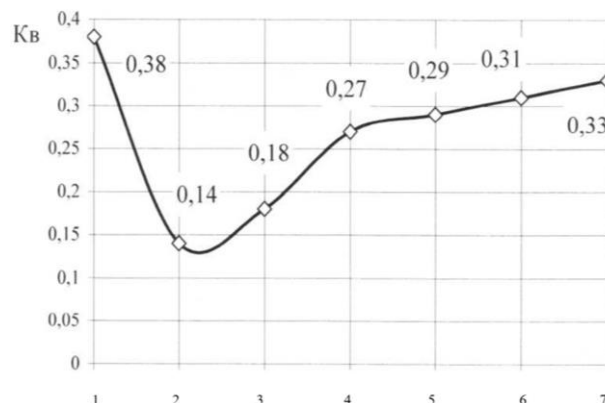
**Fig. 5.** Change in the relative index of the technical condition of 2 with increasing time of operation.

За результатами експериментальних досліджень (табл. 2) відносний показник технічного стану за строк експлуатації сім років змінюється від значень 0,16 (другий рік експлуатації) до значення 0,49 (сьомий рік експлуатації) рис. 5.

**Таблиця 2.**

**Table 2.**

| Роки експлуатації ЗК | Експеримент | Модель | Відхилення, % |
|----------------------|-------------|--------|---------------|
| 1                    | 0           | 0      | 0             |
| 2                    | 0,16        | 0,16   | 0             |
| 3                    | 0,23        | 0,226  | 1,7           |
| 4                    | 0,35        | 0,292  | 19,8          |
| 5                    | 0,41        | 0,358  | 14,52         |
| 6                    | 0,45        | 0,424  | 6,1           |
| 7                    | 0,49        | 0,490  | 0             |



**Рис. 6.** Залежність коефіцієнта відновлення від строків експлуатації.

**Fig. 6.** The dependence of the recovery factor from life

За отриманими експериментальними даними чинники, що входять в рівняння мають значення Z<sub>2</sub>=0.16, K<sub>2</sub>=0.066, тобто рівняння буде таким:

$$Z=0.16+0.066(ni-2) \quad (21)$$

де  $n_1$  - порядковий номер року експлуатації.

Якщо коефіцієнт готовності ЗК із збільшенням строків експлуатації зменшується, то коефіцієнт відновлення зростає рис. 6. (табл. 2).

Якщо тривалість простоїв по усуненню відмов після третього року експлуатації змінюється в максимальному значенні на 22%, то коефіцієнт відновлення зростає на 135%.

### Висновки

1. При плануванні термінів живих необхідно враховувати строк експлуатації комбайнів і вносити поправки в показники продуктивності із врахуванням імовірного зниження показника технічного стану через коефіцієнт готовності.

2. Визначено, що питоме зниження продуктивності на одиницю зменшення коефіцієнта готовності для комбайнів складає  $\approx 30$  тон намоту ранніх зернових.

### Список літератури

1. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61.

2. 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.

3. 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.

4. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Математичний апарат опису маршруту технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 337–346.

5. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184.

6. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 103–114.

7. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБІП України. 2016. 360 с.

8. Роговський І. Л. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.

9. Роговський Іван. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Tom 16. №3. P. 296–302.

10. Rogovskii I. L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403–411.

11. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. 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.

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

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

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

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

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

17. Роговський І. Л. Аналітичність механізму відновлення працездатності сільськогосподарських машин на основі залишкового ресурсу. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 2, 175–179.

### References

1. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Analytical position determination of the coefficient of dynamic parameters of the technical condition of combine

harvesters. Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. *Doslidnitske*. Vol. 21 (35). 55-61.

2. *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. Vol. 258. 380-390.

3. *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. Vol. 262. 353-361.

4. *Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L.* (2017). Mathematical apparatus of the description of the route maintenance of combine harvesters in accordance with the detection of combinations of failures. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kiev. Vol. 275. 337-346.

5. *Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan.* (2017). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. *MOTROL*. Lublin. Vol. 19. No 3. 179-184.

6. *Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan.* (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA*. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. 103-114.

7. *Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L.* (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. *Kiev. NULESU*. 360.

8. *Rogovskii, I. L.* (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. *Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko*. Kharkov. Vol. 159. 224-232.

9. *Rogovskii Ivan.* (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. *Motrol: Motorization and power industry in agriculture*. Tom 16. № 3. 296-302.

10. *Rogovskii, I. L.* (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kiev. Vol. 262. 403-411.

11. *Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan.* (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*. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. 105-115.

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

13. *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.

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

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

16. *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.

17. *Rogovskii I. L.* (2019). Analytic mechanism of recovery of agricultural machinery based on residual resource. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 2, 175-179.

#### АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ И СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Ю. А. Черник

**Аннотация.** При разработке технологических карт уборки урожая не учитывается срок эксплуатации комбайна и его техническое состояние. Не считая предыдущего срока эксплуатации комбайнов и вероятных значений показателей технического состояния приводит к существенных просчетов при прогнозировании сроков жатвы. Для машин кратко сезонного использования наиболее значимые из показателей надежности как ремонтпридатных систем служат статистические и вероятные значения показателей наработки между очередными отказами и продолжительности простоев на отказах. Комплексным показателем работоспособности восстановительных систем (объектов) используют коэффициенты технической готовности  $K_g$ , который рассчитывается как отношение средней наработки между отказами к средней наработки между отказами плюс среднего простоя по устранению отказов.

Автором представлено, что при планировании сроков уборки необходимо учитывать срок эксплуатации комбайнов и вносить поправки в показатели производительности с учетом вероятного снижения показателя технического состояния через коэффициент готовности.

В статье определено, что удельное снижение производительности на единицу уменьшение коэффициента готовности для комбайнов составляет тридцать тонн намолота ранних зерновых.

**Ключевые слова:** система, готовность, коэффициент, комбайн.

ANALYTICAL MODEL OF AVAILABILITY AND  
OPERATING LIFE OF COMBINE HARVESTERS*Yu. O. Chernik*

**Abstract.** In the development of technological maps of harvest is not considered the life of the processor and its technical condition. Not counting the previous period of operation of combines and probable values of indicators of technical condition leads to significant errors in the prediction of the timing of the harvest. For machines brief seasonal the most important indicator of reliability as remontoprigoden systems are statistical and the probable values of the developments between regular failures and downtime on the bounce. A comprehensive indicator of health recovery systems (objects) using the coefficients of technical readiness  $K_g$ , which is calculated as the ratio of mean time between failures for mean time between failures plus the average idle time for elimination of failures.

The author presents in the planning of harvesting time necessary to consider the life of the harvesters and to amend the performance indicators taking into account the likely decrease in this indicator of technical condition through the availability.

The article identifies that the specific decrease in productivity per unit reduction of the coefficient of readiness for combines is thirty tons of early grain threshing.

**Key words:** system availability, efficiency, food processor.

**Ю. О. Черник** ORCID 0000-0002-9654-9051.



УДК 631.1.004

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМАТИВІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: [rogovskii@nubip.edu.ua](mailto:rogovskii@nubip.edu.ua).

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.

Бібл. 12, рис. 3, табл. 0.

**Анотація.** В статті розроблено науковий підхід, що включає систему взаємопов'язаних методів, в сукупності спрямованих на об'єктивне обґрунтування раціональних величин міжремонтних нормативів сільськогосподарських машин з позиції єдиних методологічних принципів в умовах ринкових відносин і зростання конкуренції в галузі сільськогосподарського машинобудування.

Розроблено метод розрахунку показника «ймовірність безвідмовної роботи» і обґрунтування міжремонтних нормативів машин на його основі, що передбачає можливість підбору раціональних значень ризиків споживача і постачальника при визначенні допустимих з точки зору безпеки міжремонтних нормативів машин.

Запропоновано метод розрахунку показника «середнє напрацювання на відмову» і визначення раціональних величин міжремонтних нормативів, що враховує комбінований критерій (напрацювання / календарний термін) постановки машин в ремонт. Відповідно до цього методу передбачено незалежне встановлення раціональних величин напрацювання та строку експлуатації машин у міжремонтний період.

**Ключові слова:** методологія, коефіцієнт готовності, ефективність, сільськогосподарська машина.

### Постановка проблеми

Стан елементів механізмів сільськогосподарських машин (далі – машин) змінюється в процесі його експлуатації в тісному взаємозв'язку один з одним. Тому існує необхідність розробки системного підходу до обґрунтування міжремонтних нормативів машин. З цією метою в розділі проведено аналіз етапів вдосконалення їх системи технічного обслуговування і ремонту, результати якого свідчать про виникнення в умовах ринкових відносин принципово нового підходу до побудови системи ремонту і регулювання взаємовідносин між суб'єктами сільськогосподарського машинобудування і агропромислового комплексу. Запропонований автором підхід до вирішення вищевказаної задачі

виступає в якості універсального механізму, спрямованого на об'єктивне обґрунтування міжремонтних нормативів машин з позиції єдиних методологічних принципів.

### Аналіз останніх досліджень

Проведено аналіз науково-технічної літератури [1-12], пов'язаної з завданнями оцінки надійності та визначення раціональної періодичності ремонту виробів різних видів техніки, в тому числі машин.

Результати проведеного аналізу наукової літератури свідчать про відсутність в даний час єдиного системного підходу до обґрунтування міжремонтних нормативів для новостворюваних моделей машин, що відрізняються від машин-аналогів новизною конструкції, а також збільшення міжремонтного нормативами.

### Мета досліджень

Мета досліджень – описати особливості аналітичних підходів до системного підходу обґрунтування нормативів відновлення працездатності сільськогосподарських машин.

### Результати досліджень

Проведено аналіз системи «машина - експлуатаційна середовище», в тому числі:

а) Аналіз машинної конструкції як об'єкта надійності, спрямований на встановлення властивих машині видів відмов, в тому числі з урахуванням фізичних процесів, що впливають на їх виникнення. Результати даного аналізу дозволили автору здійснити цілеспрямований вибір необхідного математичного апарату для розробки методів розрахунку встановлених в роботі показників, а також підходу до обґрунтування числа об'єктів випробувань.

б) Аналіз машинної конструкції як об'єкта безпеки, результати якого дозволили розподілити

елементи машин на групи в залежності від ступеня небезпеки їх відмов і рівня контролепридатності в експлуатації з метою раціонального планування періодичних оглядів машин.

в) Аналіз експлуатаційної середовища, результати якого дозволили автору встановити і класифікувати номенклатуру зовнішніх факторів, що впливають на надійність експлуатації машин. Наявність цих факторів враховано автором при розробці технології формування представницької вибірки машин на основі інформаційних систем з метою збору об'єктивних відомостей про зміну їх технічного стану. Таким чином, для отримання даних відомостей передбачено відбір машин через систему для проведення періодичних оглядів в залежності від показників їх експлуатаційної роботи (загальне напруження, коефіцієнт простою, середнє завантаження).

Метод розрахунку показника «ймовірність безвідмовної роботи» і обґрунтування міжремонтних нормативів на його основі. Для розрахунку показника «ймовірність безвідмовної роботи» прийняті до уваги небезпечні раптові відмови машини, що характеризуються непередбачуваністю зміною одного або декількох параметрів його вузлів (деталей), наслідки яких можуть привести до аварійної ситуації в агропромисловому комплексі або втрати схоронності збіжжя.

Визначено, що небезпечні раптові відмови впливають на величину максимально допустимої напруження машини у міжремонтний період з точки зору забезпечення безвідмовності на заданому рівні. При досягненні машини даного напруження ймовірність виникнення небезпечного раптової відмови досягає критичного рівня, в зв'язку з цим машини повинні бути спрямовані на глибоку діагностику, проведену в рамках планового ремонту.

Встановлено, що в загальному випадку частота появи найбільш рідкісного небезпечного відмови машини (або його елемента) зумовлює загальне число випробовуваних машин і тривалість їх випробувань на надійність.

Таким чином, необхідне число об'єктів випробувань (машин, складових частин) запропоновано визначати на основі наступного положення:

*Положення 1.* Об'єкти, що характеризуються відносно рідкісними відмовами, для проведення випробувань на надійність відбираються в кількості, достатній для спостереження хоча б однієї подібної відмови. Іншими словами, при проведенні випробувань на надійність вибіркової сукупності об'єктів, ймовірність того, що жоден об'єкт з даного обсягу сукупності не відмовить, встановлюється на рівні значущості  $q < 0,05$ .

В рамках даного методу запропоновано проводити випробування на надійність за схемою Бернуллі, при цьому ймовірність виникнення рівно  $k$  відмов при випробуванні обмеженою сукупності об'єктів підпорядковується відомому біноміальному закону розподілу:

$$P_N(k) = C_N^k p^k (1-p)^{N-k}, \quad (1)$$

де  $P_N(k)$  - ймовірність появи відмови рівно  $k$  раз в серії з  $N$  однакових і незалежних випробувань, що проводяться за схемою Бернуллі;

$p$  - ймовірність виникнення відмови розглянутої складової частини машини (далі - СЧМ) протягом міжремонтного періоду, що визначається на основі статистики про відмови даного виду СЧМ машин-аналогів;

$$C_N^k = \frac{N!}{k!(N-k)!} - \text{число поєднань з } N \text{ елементів по } k.$$

Автором визначено, що при  $k = 0$  і  $P_N(k) = q$  формула (1) відображає суть вище зазначеного положення 1.

В цьому випадку, запропоновано формулу (1) записати у вигляді:

$$q = C_N^0 p^0 (1-p)^{N-0}, \quad (2)$$

Після спрощення отримано:

$$N = \log_{(1-p)} q, \quad (3)$$

де  $N$  - загальне число СЧМ, необхідне для проведення випробувань;

$P_A = 1-p$  - ймовірність безвідмовної роботи, яка визначається на основі інформації про відмови даного виду СЧМ машин-аналогів.

З урахуванням кратності (числа) СЧМ даного виду на машині ( $m$ ) запропоновано визначати необхідну для випробувань число машин  $N_b$  за формулою:

$$N_b = \frac{N}{m}. \quad (4)$$

Поставлена умова, при якому ймовірність безвідмовної роботи випробовуваних машин у міжремонтний період відповідає заданим вимогам при порівнянні з машиними-аналогами:

$$\bar{k} \leq k_{\lim}, \quad (5)$$

де  $\bar{k}$  - число відмов СЧВ в обмеженій вибірці обсягу  $N$ , відповідне нижньої довірчої границі показника «ймовірність безвідмовної роботи» рівня значущості  $1-\beta$ , яке запропоновано визначати з умови:

$$1-\beta = \sum_{k=0}^{\bar{k}} C_N^k \hat{P}^{N-k} (1-\hat{P})^k, \quad (6)$$

де  $\beta$  - ризик споживача, який слід встановлювати не більше 0,1;

$\hat{P}$  - точкова оцінка ймовірності безвідмовної роботи СЧМ, визначається за результатами випробувань на надійність.

На рис. 1 наведено приклад визначення  $\bar{k}$ .

Гранично допустиму кількість відмов СЧМ ( $k_{\lim}$ ) в обмеженій вибірці обсягу  $N$  з урахуванням ймовірності безвідмовної роботи СЧМ машин-аналогів ( $P_A$ ) запропоновано визначати з умови:

$$1-\alpha = \sum_{k=0}^{k_{\lim}} C_N^k P_A^{N-k} (1-P_A)^k, \quad (7)$$

де  $\alpha$  - ризик постачальника, який слід встановлювати не більше 0,1.

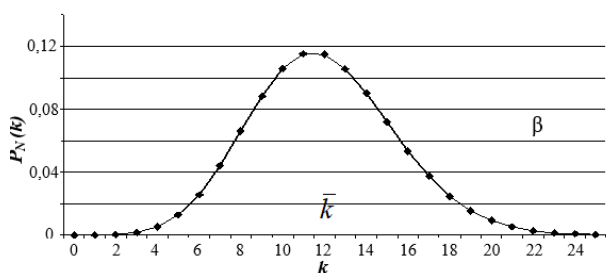


Рис. 1. Визначення  $\bar{k}$  з умови (6) при  $\beta=0,06$ ,  $\hat{P}=0,99$ ,  $N=1196$ .

Fig. 1. Definition  $\bar{k}$  on terms (6) at  $\beta=0,06$ ,  $\hat{P}=0,99$ ,  $N=1196$ .

б) Метод розрахунку показника «гамма-відсоткова напрацювання до відмови» і обґрунтування міжремонтних нормативів на його основі.

Даний показник запропоновано застосовувати для оцінки залишкового ресурсу вузлів і деталей машин, що характеризуються поступовими відмовами. Цей вид відмов виникає в результаті поступового зміни значень одного або декількох параметрів вузлів і деталей машин.

Встановлено, що поступові відмови впливають на величину максимально допустимої напрацювання машини у міжремонтний період, після закінчення якої необхідна його постановка в плановий ремонт в зв'язку з досягненням одним або декількома контрольованими параметрами машини гранично допустимих значень в умовах експлуатації. Досягнення контрольованими параметрами своїх граничних значень супроводжується вичерпанням залишкового ресурсу вузлів і деталей машин.

Залишковий ресурс ( $l_{ост j}$ ), при закінченні якого  $j$ -й контрольований параметр досягне граничного стану, запропоновано визначати з умови:

$$g_j l_{ост j} + 3 \frac{\sigma_j}{\sqrt{n}} \leq \hat{u}_{ост j}, \quad (8)$$

де  $\hat{u}_{ост j}$  - запас  $j$ -го параметра на зміну (наприклад, залишкова величина допустимого зносу), визначений для групи машин;

$$g_j = \frac{\hat{u}_{\phi j}}{\hat{l}} - \text{середня швидкість зміни } j\text{-го}$$

параметра;

$\hat{u}_{\phi j}$  - середнє фактичне зміна  $j$ -го параметра від початку експлуатації до моменту контролю технічного стану машин;

$\hat{l}$  - середнє напрацювання машин на момент контролю.

$t_{\alpha_1} = 3$  (Коефіцієнт 3 в рівнянні) - квантиль нормального закону розподілу рівня  $\alpha_1 = 0,998$ ;

$\sigma_j$  - середньоквадратичне відхилення  $j$ -го параметра;

$n$  - загальне число вимірів  $j$ -го параметра (обсяг вибірки), яке визначається за таблицями досить великих чисел з урахуванням необхідної і достатньої точності і достовірності отриманих результатів.

Умова (8) свідчить про те, що протягом напрацювання  $l_{ост j}$  з урахуванням середньої швидкості зміни  $j$ -го параметра і залишився запасу на його зміну фактичне значення даного параметра з ймовірністю 0,998 не досягне свого граничного значення («правило трьох сигм»).

На рис. 2 в тривимірному графічному вигляді зображена розрахункова модель вичерпання ресурсу вузлів і деталей машини, запропонована в роботі.

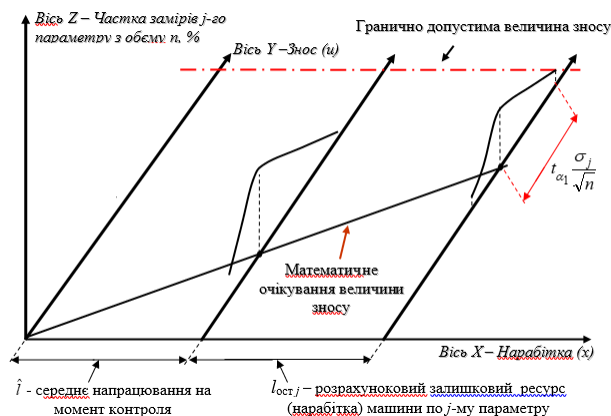


Рис. 2. Графічне представлення вичерпання ресурсу вузлів і деталей машини, що характеризуються поступовими відмовами.

Fig. 2. A graphical representation of the exhaustion of the resource units and of the machine parts, characterized by a gradual failure.

Визначено, що найменше значення  $l_{ост j}$  визначить гамма-процентну напрабітку до відмови машини в цілому -  $l_B$ . У математичному вигляді дана умова записується як:

$$l_B = \min (l_{ост 1}; l_{ост 2}; \dots; l_{ост j}), \quad (9)$$

де  $j = 1, 2, \dots, n$  - порядковий номер контрольованого параметра (наприклад, 1 - товщина, 2 - зазор в отворі, 3 - завищення).

Встановлено, що однією з умов обґрунтування міжремонтних нормативів за даним показником є необхідність збереження деякої величини залишкового ресурсу для забезпечення безаварійного проходження машини до місця ремонту.

в) Метод розрахунку показника «середнє напрацювання на відмову» і визначення раціональних величин міжремонтних нормативів на його основі.

Показник «середнє напрацювання на відмову», дозволяє визначити загальне число відновлень, що проводяться машини в рамках поточного ремонту протягом міжремонтного періоду, що безпосередньо пов'язано з витратами на його поточне утримання і ремонт.

Практичні розрахунки середнього напрацювання на відмову випробовуваних машин ( $X_n$ ) запропоновано здійснювати за формулою:

$$X_{\text{и}} = \frac{x_{\Sigma\phi}}{d_0}, \text{ при } x_{\Sigma\phi} \geq x_{\Sigma\text{lim}}, \quad (10)$$

де  $d_0$  - загальне число відмов машин на момент розрахунку. Відмовою машини в даному випадку є наявність несправності, що вимагає відчеплення машини зі складу поїзда з метою проведення поточного ремонту;

$$x_{\Sigma\phi} = \sum_{i=1}^N x_i \quad - \quad \text{фактична сумарна}$$

напрацювання машин на момент розрахунку ( $N$  - загальне число машин,  $x_i$  - напрацювання  $i$ -го машини з числа  $N$ );

Граничне значення сумарної обліковується напрацювання машин  $x_{\Sigma\text{lim}}$ , реалізація якої необхідна для розрахунку  $X_{\text{и}}$ , визначається за формулою:

$$x_{\Sigma\text{lim}} = \frac{t}{T_{\alpha}} X_A, \quad (11)$$

де  $T_{\alpha}$  - приймальне значення середнього наробітку на відмову;

$X_A$  - числове значення показника «середнє напрацювання на відмову» машин-аналогів, певне в порівнянних умовах експлуатації;

$t/T_{\alpha}$  - гранична сумарна враховується напрацювання, виражена в частках приймального рівня  $T_{\alpha}$ . Числове значення  $t/T_{\alpha}$  визначено в ГОСТ 27.402.

Критерій обґрунтування економічно доцільних величин міжремонтних нормативів машин запропоновано розглядати на основі вартості одиниці їх напрацювання (СЕН), яка формується в залежності від вартості майбутнього планового ремонту, вартості та загальної кількості проведених поточного ремонту, а також тривалості експлуатації і виконаної машиною роботи в міжремонтний період.

Функціональна залежність вартості ремонту від напрацювання машини  $S_{\text{рем}}(x)$  і ряду інших параметрів представлена в загальному вигляді:

$$S_{\text{рем}}(x) = F(V(x); M(x); R(x); x), \quad (12)$$

де  $V(x)$  - трудомісткість ремонту в залежності від напрацювання машини;

$M(x)$  - витрати матеріалів (комплектуючих) на ремонт;

$R(x)$  - витрата виробничих ресурсів (електроенергія, вода та ін.);

$x$  - напрацювання машини.

В роботі запропоновано техніко-економічний критерій обґрунтування раціональних міжремонтних нормативів, при яких забезпечується мінімум сумарних витрат на утримання і ремонт машин, наведених на одиницю їх напрацювання у міжремонтний період.

При цьому запропоновано використовувати цей критерій в наступному вигляді:

$$\Sigma \text{ПЗ}_x = \frac{S_{\text{пл рем}}(x) + \sum_{i=1}^n S_{\text{тек рем}}(X_i \leq x)}{x} \rightarrow \min, \quad (13)$$

де  $x$  - поточне значення напрацювання машин у міжремонтний період експлуатації. При цьому  $x$  передбачено вимірювати в кілометрах пробігу при обґрунтуванні нормативу пробігу і в одиницях часу при обґрунтуванні нормативу календарної тривалості експлуатації машин;

$\Sigma \text{ПЗ}x$  - сумарні витрати на утримання і ремонт машин, наведені на одиницю напрацювання;

$S_{\text{пл рем}}(x)$  - вартість планового ремонту машин, майбутнього по завершенню міжремонтного періоду, при реалізації машинними напрацювання  $x$ ;

$\Sigma S_{\text{тек рем}}(X_i \leq x)$  - загальна вартість проведених поточного ремонту машин у міжремонтний період за напрацювання  $x$ ;

$i$  - порядковий номер проведеного поточного ремонту (ТР);

$n$  - загальне число ТР у міжремонтний період за напрацювання машини  $x$ ;

$X_i$  - середнє напрацювання машин до проведення  $i$ -го ТР.

Для орієнтовних розрахунків економічно доцільних величин міжремонтних періодів в критерії (13) передбачено використовувати усереднені очікувані вартості планового ремонту -  $\hat{S}_{\text{пл рем}}$  і ТР -  $\hat{S}_{\text{тек рем}}$ .

У цьому випадку критерій (13) запропоновано використовувати у вигляді:

$$\Sigma \text{ПЗ}_x = \frac{\hat{S}_{\text{пл рем}} + n(x) \cdot \hat{S}_{\text{тек рем}}}{x} \rightarrow \min, \quad (14)$$

де  $n(x)$  - середнє число проведених машини ТР за напрацювання  $x$ .

У загальному вигляді  $n(x)$  запропоновано визначати за формулою:

$$n(x) = \frac{x}{X_{\text{и}}}, \quad (15)$$

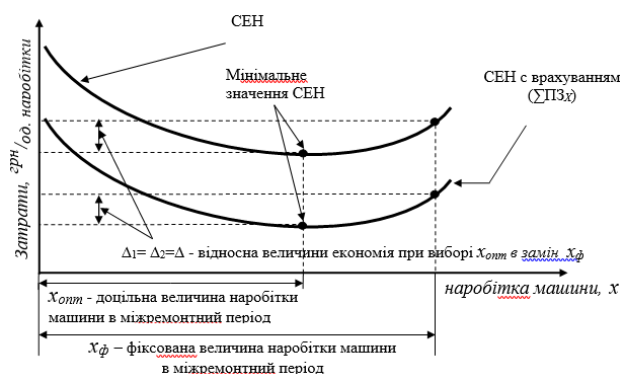
де  $X_{\text{и}}$  - показник «середнє напрацювання на відмову» випробовуваних машин

Так в умовах (13) і (14) не враховуються такі витрати як: ренновационніе відрахування, відрахування на модернізацію машин, витрати на технічне обслуговування, витрати на підготовку машин до перевезень і витрати на інші господарства галузі (тяга, шлях і т.д.). У науковій літературі обґрунтований лінійний характер залежності даних видів витрат від напрацювання машини у міжремонтний період. Це означає, що їх облік в умовах (13) і (14) не впливає на шукану абсцису точки мінімуму, тобто на оптимальну величину напрацювання машини у міжремонтний період, а також на величину відносної економії  $\Delta$ , що утворюється при виборі хопт замість  $X_{\text{ф}}$  (рис. 3).

У третьому розділі автором також запропоновані описова технологія і блок-схема алгоритму формування представницької вибірки вагонів на основі інформаційних систем для збору об'єктивних відомостей про зміну їх технічного стану.

Відповідно до запропонованого в роботі алгоритмом формування представницької вибірки вагонів в інформаційних системах здійснюється постановка ознаки «заборона курсування» для вагонів

з заданими значеннями показників експлуатаційної роботи з метою збору об'єктивних відомостей про зміну їх технічного стану.



**Рис. 3.** Визначення раціональних величин міжремонтних нормативів з урахуванням додаткових видів витрат і ΣПЗХ.

**Fig. 3.** Determination of rational values of the overhaul of the regulations based on additional costs and ΣPZH.

### Висновки

1. Розроблено науковий підхід, що включає систему взаємопов'язаних методів, в сукупності спрямованих на об'єктивне обґрунтування раціональних величин міжремонтних нормативів сільськогосподарських машин з позиції єдиних методологічних принципів в умовах ринкових відносин і зростання конкуренції в галузі сільськогосподарського машинобудування.

2. Запропоновано підхід до визначення необхідного числа об'єктів випробувань (машин / складових частин). Згаданий підхід є найбільш прийнятним на практиці для новостворюваних моделей машин;

- забезпечує менший обсяг випробувань при заданій точності і достовірності в порівнянні з існуючими підходами;

- не вимагає наявності апіорної інформації про вид і параметри закону розподілу напрацювання машин (складових частин) до відмови;

- не залежить від завчасного встановлення числових значень ризиків споживача і постачальника на відміну від існуючого підходу.

3. Розроблено метод розрахунку показника «ймовірність безвідмовної роботи» і обґрунтування міжремонтних нормативів машин на його основі, що передбачає можливість підбору раціональних значень ризиків споживача і постачальника при визначенні допустимих з точки зору безпеки міжремонтних нормативів машин.

4. Запропоновано метод розрахунку показника «середнє напрацювання на відмову» і визначення раціональних величин міжремонтних нормативів, що враховує комбінований критерій (напрацювання / календарний термін) постановки машин в ремонт. Відповідно до цього методу передбачено незалежне встановлення раціональних величин напрацювання та строку експлуатації машин у міжремонтний період.

### Список літератури

1. Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B. Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 1166-1172.
2. Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F. Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 2017, pp. 158-163.
3. Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I. Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 2018, pp. 79-84.
4. Masek J., Novak P., Jasinskas A. Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 1180-1185.
5. Rogovskii I., Grubrin O. Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 2018, pp. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.
6. Viba J., Lavendelis E. Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, pp. 95-98.
7. Luo A.C.J., Guo Y. Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.
8. 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, pp. 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, pp. 64-74.
10. Drga R., Janacova D., Charvatova H. Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.
11. Novotny J. Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2016, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, pp. 16-20.
12. Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P. Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 2016, pp. 407-441.

## References

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 1166-1172.
2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 158-163.
3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 79-84.
4. *Masek J., Novak P., Jasinskas A.* (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 1180-1185.
5. *Rogovskii I., Grubrin O.* (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.
6. *Viba J., Lavendelis E.* (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, 95-98.
7. *Luo A.C.J., Guo Y.* (2013). Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag. 213.
8. *Astashev V., Krupenin V.* (2017). Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 108-113.
9. *Zagurskiy O., 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.
10. *Drga R., Janacova D., Charvatova H.* (2016). Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.
11. *Novotny J.* (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, 16-20.
12. *Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P.* (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 407-441.

# СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ОБОСНОВАНИЯ НОРМАТИВОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

И. Л. Роговский

**Аннотация.** В статье разработан научный подход, включающий систему взаимосвязанных методов, в совокупности направленных на объективное обоснование рациональных величин межремонтных нормативов сельскохозяйственных машин с позиции единых методологических принципов в условиях рыночных отношений и роста конкуренции в отрасли сельскохозяйственного машиностроения.

Разработан метод расчета показателя вероятности безотказной работы и обоснования межремонтных нормативов машин на его основе, что предусматривает возможность подбора рациональных значений рисков потребителя и поставщика при определении допустимых с точки зрения безопасности межремонтных нормативов машин.

Предложен метод расчета показателя «средняя наработка на отказ» и определение рациональных величин межремонтных нормативов, учитывающий комбинированный критерий (наработки / календарный срок) постановки машин в ремонт. Согласно этого метода предусмотрено независимое установление рациональных величин наработки и срока эксплуатации машин в межремонтный период.

**Ключевые слова:** методология, коэффициент готовности, эффективность, сельскохозяйственная машина.

## SYSTEMIC APPROACH TO JUSTIFICATION OF STANDARDS OF RESTORATION OF AGRICULTURAL MACHINERY

I. L. Rogovskii

**Abstract.** The article develops a scientific approach that includes a system of interrelated methods in conjunction to objective substantiation of rational values of the turnaround standards of agricultural machinery from the position of uniform methodological principles in the conditions of market relations and growth of competition in the sector of agricultural engineering.

The method of calculation of the indicator "probability of failure" and justification of the turnaround standards of cars based on it that includes the possibility of selecting the rational values of consumer risk and supplier in the definition of acceptable from the point of view of security of the turnaround standards of the machines.

The proposed method of calculating the indicator "average time to failure" and the definition of rational values of the overhaul of standards, taking into account the combined criterion (achievements / calendar time) setting of the machines in repair. According to this method, an

independent establishment of rational values of operation time and lifetime of the machines in the run time.

**Key words:** methodology, availability, efficiency, agricultural machine.

**І. Л. Роговський** ORCID 0000-0002-6957-1616.



## Зміст

|                                                                                                                                                                                                                               |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Оптимізація режиму повороту стрілового крана за критерієм середньоквадратичного значення пришвидження зміни зусилля в приводному механізмі<br><i>В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, А. В. Ловейкін, І. О. Кадикало</i> ..... | 5-14    |
| 2. Транспортування частинки горизонтальним шнеком, обмеженим співвісним нерухомим циліндром<br><i>Т. А. Кресан, С. Ф. Пилипака, В. М. Бабка, Я. С. Кремець, М. Б. Клендій</i> .....                                           | 15-20   |
| 3. Про вплив параметрів деревообробки на температуру в зоні різання<br><i>О. Є. Семеновський, І. М. Кудрявський</i> .....                                                                                                     | 21-29   |
| 4. Уточнення режиму прокрутки для діагностування циліндро-поршневої групи двигунів машин для лісотехнічних машин<br><i>Л. Л. Тітова, О. В. Надточій</i> .....                                                                 | 31-37   |
| 5. Обґрунтування параметрів транспортного засобу для потокової технології збирання плодів<br><i>В. М. Мартишко, М. С. Волянський</i> .....                                                                                    | 39-44   |
| 6. Ділові ігри з охорони праці як ефективний інструмент для поліпшення знань на робочому місці майбутніх інженерів сільськогосподарського виробництва<br><i>О. В. Войналович, С. М. Голопура</i> .....                        | 45-50   |
| 7. Шнековий сепаратор для видалення фільтрату із зернової барди<br><i>І. В. Фльонц, І. І. Чвартацький, Р. В. Шатров</i> .....                                                                                                 | 51-56   |
| 8. Покращення якості роботи бункера-дозатора протруювача насіння<br><i>О. М. Вечера</i> .....                                                                                                                                 | 57-61   |
| 9. Обґрунтування раціональних параметрів збирально-транспортного комплексу машин для виробництва цукрових буряків<br><i>С. Г. Фришев</i> .....                                                                                | 63-68   |
| 10. Проектування виробничо-логістичних систем на основі тягнутої концепції управління потоками<br><i>О. М. Загурський, Т. І. Сліпуча</i> .....                                                                                | 69-78   |
| 11. Дослідження надійності прес-гранулятора за законами розподілу ресурсу<br><i>Н. І. Болтянська, О. В. Болтянський</i> .....                                                                                                 | 79-85   |
| 12. Моніторинг матеріально-технічного забезпечення та надійності техніки АПК в системі розвитку інноваційних процесів<br><i>А. В. Новицький</i> .....                                                                         | 87-94   |
| 13. Обґрунтування прийнятності ризику використання мобільної сільськогосподарської техніки з експлуатаційними пошкодженнями деталей та елементів конструкцій<br><i>О. В. Войналович, М. М. Мотрич, В. О. Тімочко</i> .....    | 95-101  |
| 14. Система оцінки показників ефективності ланцюгів постачання<br><i>О. М. Загурський</i> .....                                                                                                                               | 103-109 |
| 15. Ділові ігри з охорони праці в якості інструменту моделювання процесу підготовки майбутніх студентів професійної діяльності<br><i>С. М. Голопура</i> .....                                                                 | 111-117 |
| 16. Дигіталізація в логістиці за рахунок введення алгоритму мурашиної логістики<br><i>Л. А. Савченко</i> .....                                                                                                                | 119-125 |
| 17. Результати експериментальних досліджень витрат потужності при перевантаженні телескопічним гвинтовим транспортером сільськогосподарських вантажів<br><i>В. З. Гудь</i> .....                                              | 127-132 |

---

|                                                                                                                                                                                               |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 18. Порівняльний аналіз впливу біопалива на показники роботи дизеля<br><i>І. В. Логун, О. М. Кирик, Р. В. Шатров</i> .....                                                                    | 133-138 |
| 19. Працевлаштування студентів внз у порівнянні з нормативним регулюванням працевлаштування<br><i>Л. Е. Піскунова, Т. О. Зубок, Б. В. Кислицький</i> .....                                    | 139-144 |
| 20. Вплив динамічних характеристик тракторних гідроциліндрів на їх працездатність<br><i>О. В. Надточій, Л. Л. Тітова</i> .....                                                                | 145-150 |
| 21. Забезпечення надійності сільськогосподарської техніки в системі розвитку інноваційних процесів<br><i>А. В. Новицький, З. В. Ружило, О. О. Котречко</i> .....                              | 151-157 |
| 22. Розробка високоякісних конструкційних сталей<br><i>Є. Г. Афтандіяну</i> .....                                                                                                             | 159-165 |
| 23. Модель процесу взаємодії джерела шуму сільськогосподарських МЕЗ за параметрами<br>охорони праці на виробничих процесах зберігання зерна<br><i>С. М. Виговський, І. Л. Rogovskiy</i> ..... | 167-171 |
| 24. Аналітичні моделі коефіцієнту готовності і терміну експлуатації зернозбиральних комбайнів<br><i>Ю. О. Черник</i> .....                                                                    | 173-179 |
| 25. Системний підхід обґрунтування нормативів відновлення працездатності<br>сільськогосподарських машин<br><i>І. Л. Rogovskiy</i> .....                                                       | 181-187 |

## Contents

|                                                                                                                                                                                                                                    |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Optimizing the mode of swing operation of jib crane is solved by criterion of rms value of acceleration of change in force in drive mechanism<br><i>V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, A. V. Loveikin, I. O. Kadykalo</i> ..... | 5-14    |
| 2. Transportation of particle with horizontal auger, limited coaxial fixed cylinder<br><i>T. A. Kresan, S. F. Pylypaka, V. M. Babka, Ya. S. Kremets, M. B. Klendiy</i> .....                                                       | 15-20   |
| 3. On impact paramers woodworking on temperature in cutting zone<br><i>O. Ye. Semenovskii, I. M. Kudryavsky</i> .....                                                                                                              | 21-29   |
| 4. Further scrolling mode for diagnosing cylinder-piston group of engines of machines for forestry machinery<br><i>L. L. Titova, O. V. Nadtochy</i> .....                                                                          | 31-37   |
| 5. Substantiation of vehicle parameters for in-line fruit harvesting technology<br><i>V. M. Martyshko, M. S. Volyanskij</i> .....                                                                                                  | 39-44   |
| 6. Business games for labor safety as effective instrument for improving workplace knowledge of future agricultural engineers<br><i>O. V. Voinalovych, S. M. Holopura</i> .....                                                    | 45-50   |
| 7. Screw separator for removal of filtrate from grain bard<br><i>I. V. Flonts, I. I. Chvartatskiy, R. V. Shatrov</i> .....                                                                                                         | 51-56   |
| 8. Improvement of quality of work of seed treater bunker-dispenser<br><i>O. M. Vechera</i> .....                                                                                                                                   | 57-61   |
| 9. Substantiation of rational parameters of harvesting-transport complex of machines for production of sugar beet<br><i>S. G. Frishev</i> .....                                                                                    | 63-68   |
| 10. Comparative analysis of production – logistics systems that based on push and pull strategies<br><i>O. M. Zagursky, T. I. Slipukha</i> .....                                                                                   | 69-78   |
| 11. Reliability research press granulators by law resource allocations<br><i>N. I. Boltianska, O. V. Boltianski</i> .....                                                                                                          | 79-85   |
| 12. Monitoring of material and technical support and reliability of appliance technique in development system of innovation processes<br><i>A. V. Novitskiy</i> .....                                                              | 87-94   |
| 13. Substantiation of acceptable risk of use of mobile agricultural machinery with operational damage to details and structural elements<br><i>O. V. Voinalovych, M. M. Motruch, V. O. Timochko</i> .....                          | 95-101  |
| 14. System of evaluation of performance indicators of supply chains<br><i>O. M. Zagursky</i> .....                                                                                                                                 | 103-109 |
| 15. Business games of occupational safety and health as tool modeling the process of future students professional activities<br><i>S. M. Holopura</i> .....                                                                        | 111-117 |
| 16. Digitalizations in logistics by introduction of muralog logistics algorithm<br><i>L. A. Savchenko</i> .....                                                                                                                    | 119-125 |
| 17. Results of experimental research of cost of power with overloading by telescopic screw trans-porters of agricultural cargoes<br><i>V. Z. Hud</i> .....                                                                         | 127-132 |
| 18. Comparison analysis of influence of biogas on the diesel performance<br><i>I. V. Lohush, O. M. Kyryk, R. V. Shatrov</i> .....                                                                                                  | 133-138 |

---

|                                                                                                                                                                                                       |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 19. Employment of students in higher educational study compared to normal regulation of employment<br><i>L. E. Piskunova, T. O. Zubok, B. V. Kislytsky</i> .....                                      | 139-144 |
| 20. Influence of dynamic characteristics of tractor hydrocylinders on its workmanship<br><i>O. V. Nadtochy, L. L. Titova</i> .....                                                                    | 145-150 |
| 21. Ensuring the reliability of agricultural machinery in system of development of innovative processes<br><i>A. V. Novitskiy, Z. V. Rozhilo, O. O. Kotrechko</i> .....                               | 151-157 |
| 22. Elaboration of high quality structural steels<br><i>Ye. G. Aftandiliants</i> .....                                                                                                                | 159-165 |
| 23. Process model of interaction of noise source agricultural machines in parameters of labor protection<br>on production processes of grain storage<br><i>S. M. Vygovskii, I. L. Rogovskii</i> ..... | 167-171 |
| 24. Analytical model of availability and operating life of combine harvesters<br><i>Yu. O. Chernik</i> .....                                                                                          | 173-179 |
| 25. Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery<br><i>I. L. Rogovskii</i> .....                                                                          | 181-187 |

### **Guidelines for authors (2019)**

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 no-menclature (all explanations placed in the text);

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

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

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

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

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

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

Colour figures will not be printed.

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

7. Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao. (2019). 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 10

№ 3

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 29.08.2019  
Формат 60×84/16  
Наклад 100 прим.

Підписано до друку 29.08.2019  
Папір офсетний.  
Зам. № 8912 від 29.08.2019

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