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

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04

Machinery & Energetics

Journal of Rural Production Research

since 2010 till 2018
[Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK.
ISSN 2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

Vol. 12

№ 4

(October – December)

Kyiv – 2021

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

Vice-Editor
DS Ivan Rogovskii, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
PhD Oleksandr Synyavskiy, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Assistants Editor
PhD Viktoria Kyrylyuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Editorial Board
Prof. Andrey Tevyashev, Kharkov National University of Radio Electronics, Ukraine
Prof. Andriy Boyko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Andrzej Marczuk, University of Life Sciences in Lublin, Poland
Prof. Dainis Viesturs, Latvia University of Agriculture, Latvia
Prof. Gennadiy Golub, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Georgiy Tayanowski, University of Agriculture in Minsk, Bielarus
Prof. Henryk Sobczuk, Polish Academy of Sciences, Poland
Prof. Igor Bolbot, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Janusz Wojdalski, Warsaw University of Life, Poland
Prof. Larysa Bal-Prylypko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Ludvikas Spokas, Agrarian University in Kaunas, Lithuania
Prof. Ondrej Savec, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic
Prof. Petro Yevych, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic
Prof. Povilas A. Sirvydas, Agrarian University in Kaunas, Lithuania
Prof. Stanisław Sosnowski, University of Engineering and Economics in Rzeszów, Poland
Prof. Tadeusz Złoto, Częstochowa University of Technology, Poland
Prof. Valeriy Voytiuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Valery Adamchuk, National Scientific Centre «Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture» in Kyiv, Ukraine
Prof. Vitaliy Lysenko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Vjacheslav Shebanin, Mykolayiv National Agrarian University, Ukraine
Prof. Volodymyr Boyko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Volodymyr Bulgakov, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Volodymyr Gorobets, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Volodymyr Gorobetz, National Agrarian University of Moldova, Moldova Republic
Prof. Volodymyr Kozyrskii, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine
Prof. Volodymyr Kravchuk, State Scientific Organization „Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production", Ukraine
Prof. Vyatcheslav Adamchuk, University McGill, Canada
Prof. Waclaw Romaniuk, Institute of Technology and Life Sciences Branch in Warsaw, Poland
Prof. Wojciech Tanaś, University of Life Sciences in Lublin, Poland
Prof. Yevgen Aftandilyants, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

All the articles are available on the webpage: www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica
All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers
Linguistic consultant: *Ivan Rogovskii*
Typeset: *Ivan Rogovskii*
Cover design: *Liudmyla Titova*
Photo on the cover: *Ivan Rogovskii*

© Copyright by National University of Life and Environmental Science of Ukraine, 2021

Editorial Office address
National University of Life and Environmental Science of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kyiv, Ukraine, 03041
e-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

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

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

ISSN 2663-1334 (print)
ISSN 2663-1342 (online)
Edition 100+16 vol.

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

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04

Техніка та енергетика

Журнал наукових досліджень сільськогосподарського виробництва

з 2010 року до 2018 року
[Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК
ISSN 2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

Випуск 12

№ 4

(жовтень – грудень)

Київ – 2021

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Редкол. : В. С. Ловейкін (голов. ред.) та ін. Київ. 2021. Вип. 12. № 4. 166 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, Міністерства агропромислового комплексу України і Міністерства економіки України.

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

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 4 від 24 листопада 2021 р.

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

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

Відповідальний за випуск І. Л. Роговський.

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

© Національний університет біоресурсів і
природокористування України, 2021

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 5-13
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.005

UDK 621:664: 669.01(075)

CHEMICAL COMPOSITION INFLUENCE ON ELEMENT SEGREGATION AND PROPERTIES OF STEEL STRIP MANUFACTURED BY STRIP CASTING ROUTE

Ye. G. Aftandiliants

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

Speciality of article: 131 – applied mechanics.

Corresponding author: aftyev@yahoo.com.

Article History: Received – June 2021, Accepted – November 2021, Published – 17 December 2021.
Bibl. 14, fig. 10, tabl. 6.

Abstract. The article presents the results of the chemical composition influence on element segregation and properties of steel strip manufactured by strip casting route.

It is shown that in the transition from the slab production with a thickness of 220 mm to slabs with a thickness of 1.2 mm, the thickness of the segregated diffusion layer in the case of the continuous strip casting process is 4.1 - 12.4 times less than in the case of traditional continuous casting.

The carbon, nitrogen, copper, tin, phosphorus and sulfur segregation percentage in the continuous strip casting process is 1.7 - 5.1 times less than in traditional continuous casting.

A method is proposed for calculating the element segregation based on the equality of the segregation level in traditional and strip continuous casting.

It has been established that the content of elements in steels during two-roll continuous casting can be increased for impurities such as S, O, N, P, H from a minimum of 3 for P to a maximum of 497% for S. For residual elements such as Pb, Bi, Sn, Cu, Sb, Zn, As minimum increase from 1.1 for Zn to maximum 401% for Pb. The content of such alloying elements as B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si can be increased from a minimum of 1.1 for Si and Mn to a maximum of 675% for B.

The time and rate of cooling of a 20-ton coil of steel strip are calculated, which are, respectively, 13.7 hours and 0.0051 ^{o}C/s. Such cooling conditions create the prerequisites for the precipitation of chromium carbides and an increase in the tendency of steel to intergranular corrosion.

It was found that for eliminate this problem, it is necessary to increase the cooling time with water after rolling to a strip temperature from 300 to 400 ^{o}C.

Keywords: steel, chemical composition, segregation, properties, yield strength, tensile strength, cooling, strip casting.

Introduction

Continuous casting of steels is one of the promising areas of modern steelmaking [1]. The state of steel continuous casting analysis shows that in recent decades there has been a tendency towards an increase of the casting speed and a decrease of the slab thickness [2]. Such a change of the process parameters is accompanied by a change in the distribution of alloying elements and impurities in the metal during crystallization and, as a consequence, of properties [3]. Therefore, research to determine the patterns of change in the distribution of alloying elements and impurities in steel and their properties with an increase of the casting speed and a decrease of the slab thickness is relevant [4].

Formulation of problem

The research is aimed at determining the quantitative patterns of changes in the segregation of elements with an increase in the pouring rate and their limiting values from the condition of maintaining the level of mechanical properties.

Analysis of recent research results

The transition from the production of 220 mm thick slabs to 1.2 to 1.8 mm thin slabs is accompanied by an increase of casting speed and average speed of crystallization in 30-66 and 34–50 times, accordingly [5]. Total solidification time decreases in 415-922 times (table 1).

In according with table 3 the residence time of steel in the temperature interval of brittleness from 1350 to 1450 ^{o}C, for different productive route, is as follow:

- conventional continuous casting (slab thickness – 220 mm) τ = 8.33 s;
- thin slab (slab thickness – 50 mm) τ = 2 s;
- strip casting (thickness – 1.8 mm) τ = 0.121 s;
- strip casting (thickness – 1.2 mm) τ = 0.054 s.

In according with research [2], the diffusion mobility coefficient at 1400 ^{o}C will be for different elements as follow:

- carbon - $D_C = 4.53 \cdot 10^{-10}$ m^2/s;
- nitrogen - $D_N = 2.43 \cdot 10^{-10}$ m^2/s;

- copper - $D_{Cu} = 3.18 \cdot 10^{-12}$ m^2/s;
- tin - $D_{Sn} = 2.09 \cdot 10^{-12}$ m^2/s;
- phosphor - $D_P = 8.26 \cdot 10^{-13}$ m^2/s;
- sulfur - $D_S = 2.55 \cdot 10^{-13}$ m^2/s.

Manufacture technological parameters are shown for steel SAE 1006 at the twin rolls casting process in table 3.

Table 1. Steel strip and thick slab manufacturing parameters [1].

Parameter	Strip		Thick slab
Thickness, mm	1.2	1.8	220
Casting speed, m/min	131	59	2
Total solidification time, s	0.116	0.258	107
Average speed of crystallization, mm/s	5.172	3.488	0.103
Average shell cooling rate in mould, ^{o}C/s	1853	826	12
Average size of dendrites (x^p), mm	0.6 - 0.7	1.0 - 1.2	12.0 – 20.0
Speed of melt flow (u_∞), m/s	0.2 – 0.50		0.2 – 0.6
Coefficient of diffusion of elements (D), m^2/s	$5 \cdot 10^{-9} \div 1 \cdot 10^{-8}$		
Kinematic viscosity of melt, with C = 0.054 %wt., at 1550 ^{o}C (ν), m^2/s	$10.8 \cdot 10^{-7}$		

Table 2. Effect of increasing content of the residual elements on various properties of steel

N	Property	Element					
		Cu	Ni	Cr	Mo	Sn	Sb
1	Strength and hardness	+	+	+	+	+	+
2	Ductility	-	+	+	-	-	-
3	Strain hardening	-	-	0	-	-	-
4	Strain ratio	+	0	0		0	-
5	Impact resistance	+	+	0	-	0	-
6	Hardenability	+	+	+	+	+	+
7	Weldability	-	-	-	-	-	-
8	Corrosion resistance	+	+	+	+	+	-
9	Temper embrittlement	+	-	+	-	+	+

Reduction of steel solidification time and residence time of steel in temperature interval of brittleness with a decrease of the slab thickness [6], it creates the prerequisites for inhibition of the process of segregation of elements at grain boundaries [7].

Thickness of the element segregation layer around the grain boundary (δ_s) can be defined from the following formula [8]

$$\boldsymbol{\delta_s = (2 \cdot D_i \cdot \tau)^{0.5}}, \quad (1)$$

where D_i the diffusion mobility coefficient of element I at 1400 ^{o}C.

In research [9] is shown the influence of residual elements on properties of steel strip (table 2, 4).

The table 2, 4 data show that the residual elements as Cu, Sn, Sb increase strength, hardness, corrosion resistance, hardenability, temper embrittlement and decrease ductility, strain hardening and weldability [10]. But if the increasing of the residual elements as Cu, Sn, Sb is accompanied by decreasing of grain size it will be possible to increase the content of residual elements without decreasing the mechanical properties of strip manufactured by the conventional continuous casting route [11].

For example [12-14], the elongation of steel strip for deep drawing depend on the chemical composition and the grain size according to the next formula [13]:

$$\delta = 1.4 - 2.9 \cdot [C] + 0.2 \cdot [Mn] + 0.16 \cdot [Si] - 2.2 \cdot [S] - 3.9 \cdot [P] - 0.25 \cdot [Sn] + 0.017 \cdot D^{-0.5}, \quad (2)$$

where [C], [Mn], [Si], [S], [P], [Sn] are the content of C, Mn, Si, S, P, Sn in steel (wt. %);

D – is grain size, mm.

Results of research

Segregation. Element segregation to the austenite grain boundary depends of the element diffusion mobility, the residence time of steel in the temperature interval of brittleness from 1350 to 1450 ^{o}C and the austenite grain size. Steel strip and thick slab manufacturing parameters are shown in table 3.

Calculated results are presented in figures 1 and 2.

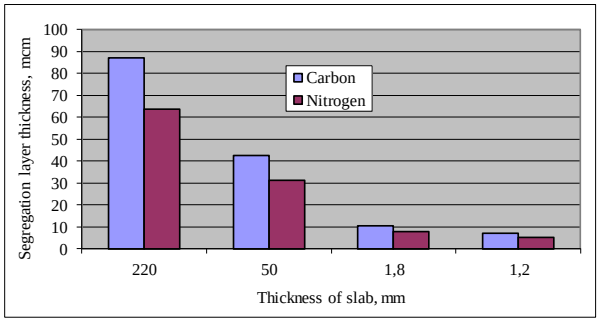


Fig. 1. Dependence of the segregation layer of carbon and nitrogen of slab and strip thickness.

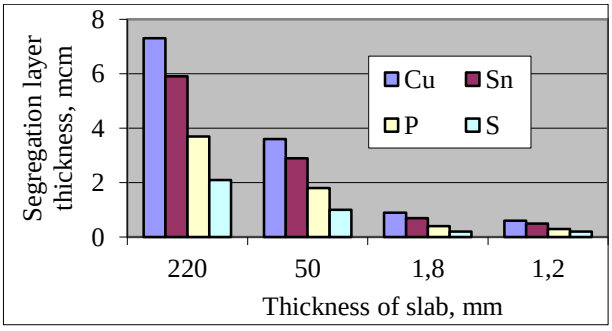


Fig. 2. Dependence of the segregation layer of slab and strip thickness

It could be observed from the fig. 1 and 2 that the thickness of the segregation diffusion layer (δ) in case of the strip casting process is 4.06 to 12.41 times smaller than for the conventional continuous casting.

Table 3. Manufacture technological parameters of steel SAE 1006 at the twin rolls casting process.

Diameters of rolls 600 mm				
Name of parameter	Volume of parameters			
Speed of casting, m/min (m/s)	59 (0.983)	79 (1.317)	105 (1.75)	131 (2.183)
Thickness of strip (δ_{strip}), mm	1.8	1.65	1.4	1.2
Meniscus – Kissing point				
Time of contact since meniscus to kissing point, s	0.258	0.194	0.145	0.116
Surface				
Surface temperature at meniscus, ^oC	1508	1508	1510	1515
Surface temperature at kissing point, ^oC	1295	1270	1285	1300
Δt, ^oC	213	238	225	215
Average cooling rate of surface,^oC/s (^oC/min)	826	1227	1552	1853)
Center (temperature of liquid steel in center, at meniscus equal 1550^oC)				
Centre temperature at kissing point, ^oC	1455	1462	1467	1470
Δt, ^oC	95	90	83	80
Average cooling rate of centre, ^oC/s (^oC/min)	368 (22080)	464 (27840)	572 (34320)	690 (41400)
Kissing point – rolling				
Average temperature at kissing point, ^oC	1390	1391	1395	1402
Temperature at rolling, ^oC	≈ 1140			
Cooling Time, s	13.53 (13.3/0.983)	10.1 (13.3/1.317)	7.6 (13.3/1.75)	6.09 (13.3/2.183)
Average cooling rate from the kissing point to rolling, ^oC/s (^oC/min)	18.48 (1109)	24.85 (1491)	33.55 (2013)	43.02 (2581)
Rolling				
Temperature at rolling, ^oC	≈ 1140			
Thickness of strip after rolling,mm	1.6	-	-	0.8
Reduction of area, %	12	-	-	33
Cooling after rolling				
Temperature after rolling, ^oC	880 - 900			
Cooling time (since 890 ^oC to ≈550 ^oC), s	17.29 = 17/0.983	12.91 = 17/1.317	9.71 = 17/1.75	7.79= 17/2.183
Average cooling rate after rolling, ^oC/s (^oC/min)	19.66 (1180)	26.34 (1580)	35.02 (2101)	43.65 (2619)
Cooling in coiler. Average speed of cooling of coil from 550 oC to 300 ^oC ≈ 0.352 ^oC/min. Coil weight ≈ 20 ton				

Table 4. Effect of residual elements on Yield Strength (YS) and Tensile Strength (TS).

N	Type of steel and heat treatment	Strength increment (MPa per 1 wt. %)									
		Cu		Ni		Cr		Mo		Sn	
		YS	TS	YS	TS	YS	TS	YS	TS	YS	TS
1	0.3% C steel normalized	83	62	55	35	62	90	13	69	-	-
2	0.2% C steel as rolled	-	-	55	69	90	131	-	-	-	-
3	Low-C steel normalized or annealed	41	13	0	13	-28	-41	13	55	124	-
4	Low-C steel normalized	41	13	0	13	-28	-35	13	55	131	-
5	Decarburized iron annealed	-	-	-	76	0	-	35	-	-	-
6	Decarburized steel annealed	62	76	35	48	6.9	0	48	138	-	-
7	Ti –gettered iron annealed	-	-	41	-	6.9	-	-	-	-	-
8	0.005C – Fe quenched	-	-	41	-	-	-	-	-	-	-
9	Very pure iron annealed	-	-	-	-	6.9	-	-	-	-	-
10	High-C steel normalized	-	-	-	-	62	-	-	-	173	-
11	Low-C steel normalized	76	55	41	35	55	69	-	-	-	-
12	Various steels, various trtmts	-	-	-	-	-	-	-	-	110	138
13	Various steels, various trtmts	-	-	-	-	-	-	-	-	110	131
14	High-C steel as rolled	-	-	-	-	131	138	-	-	-	-
15	High-C steel as rolled	35	48	90	69	173	200	6.9	48	-	-
16	Low-C iron annealed	-	-	-	41	-	13	-	41	-	-
17	Low-C iron annealed	-	-	-	35	-	-13	-	41	-	-

The carbon, nitrogen, copper, tin, phosphorus, sulphur segregation compared to the grain volume is shown in figures 3 and 4.

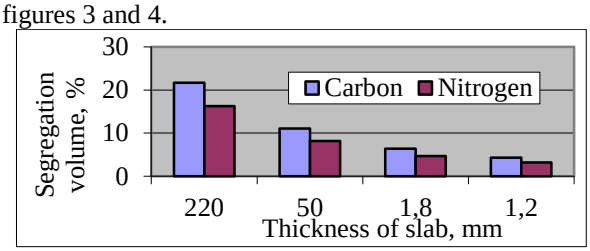


Fig. 3. Dependence of carbon and nitrogen segregation of slab and strip thickness.

The percentage of the segregation volume in case of the strip casting process is from 1.74 to 5.06 times smaller than for the conventional continuous casting process (fig 3, 4).

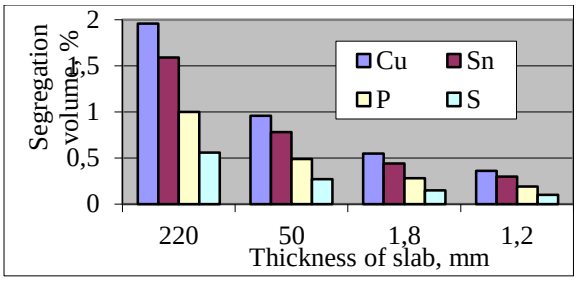


Fig. 4. Dependence of copper, tin, phosphorus and sulphur segregation of slab and strip thickness.

In according with research [6], the element distribution in diffusion layer could be calculated as follow:

$$(C_{bi} + C_{oi})/(C_{bi} - C_{oi}) = (4 \cdot D_i \cdot \tau)/x^2, \quad (3)$$

where C_{oi} and C_{bi} – are respectively the content of element i on the grain boundary before diffusion time and after diffusion time τ (see figure 5),

x – thickness of the boundary segregation layer.

After transformation, the formula 3 will have the follow form:

$$\mathbf{C_{bi} = C_{oi} \cdot (4 \cdot D_i \cdot \tau + x^2)/(4 \cdot D_i \cdot \tau - x^2)}, \quad (4)$$

From formula (2) and (4) could be observed that the minimum concentration of element i in the boundary segregation layer will be $C_{bi} = C_{oi}$, at x = 0. The maximum concentration of element i in the boundary segregation layer will be $C_{bi} = 3 \cdot C_{oi}$ at x = δ. Distribution of element i in boundary segregation layer is shown on fig. 5.

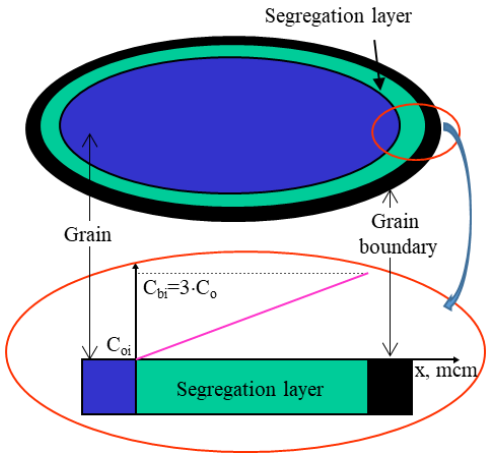


Fig. 5. Distribution of element i in boundary segregation layer.

If it is considered the average content of element I in the segregation layer equal to $2 \cdot C_{oi}$, it can be calculated the segregation Index I_{segr} as:

$$I_{segr} = W_{segr(I)}/V_{grain} = \mathbf{= 12 \cdot V_{sl(i)} \cdot \rho \cdot C_{oi}/(100 \cdot \pi \cdot D^3)}, \quad (5)$$

where $W_{segr(I)}$ – the segregation weight of element I; V_{grain} – grain volume; $V_{sl(i)}$ – segregation volume of element I; ρ - segregation density; D – grain size.

In case of considering an equal segregation for the conventional continuous casting process (ICCC) and for the strip casting process (ISC) the formula presents the relationship of content of the element I in steel for the strip casting (Co(i)str) and for the conventional continuous casting (Co(i)ccc) is

$$C_{o(i)str} = (D^3_{str}/D^3_{ccc}) \cdot (V_{sl(i)ccc}/V_{sl(i)str}) \cdot C_{o(i)ccc}, \quad (6)$$

where Dstr and Dccc – are respectively the grain sizes for the strip and conventional continuous casting processes;

Vsl(i)ccc and Vsl(i)str – are respectively the segregation volume of the element I for the conventional continuous casting and strip casting processes.

Results of calculation, according the formula 6, are presented in figure 6.

The thickness of the segregation diffusion layer for the strip casting is 4.06 – 12.41 times smaller than for the continuous casting process.

It is possible to increase element content in steel for the strip casting process respect to the conventional continuous casting as presented below (table 5):

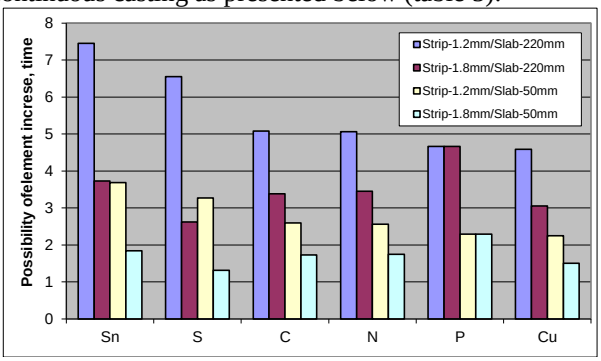


Fig. 6. Possibility of increasing the element content in steel for the strip casting process respect to the conventional continuous casting process.

Table 5. Possible of element content increasing in steel for the strip casting process respect to the conventional continuous casting

Element	Thickness of strip casting			
	1.8 mm	1.2 mm	1.8 mm	1.2 mm
	Compare to slab thickness			
	220 mm		50 mm	
P	4.7	4.7	2.3	2.3
Sn	3.7	7.4	1.8	3.7
N	3.5	5.0	1.7	2.5
C	3.4	5.1	1.6	2.6
Cu	3.1	4.6	1.5	2.2
S	2.6	6.5	1.3	3.3

Properties. It is possible to calculate the increasing of the element content in steel for the strip casting process

by considering the same elongation for both manufacturing routes: strip casting and conventional casting.

Calculation of increasing limit content for Sn ($[Sn]_{str} = \Delta Sn + [Sn]_{ccc}$) for strip casting.

$$\delta_{str} = \delta_{ccc} - 0.25 \cdot [Sn]_{str} + 0.017 \cdot D_{ccc}^{-0.5} = = - 0.25 \cdot [Sn]_{ccc} + 0.017 \cdot D_{ccc}^{-0.5}, \quad (7)$$

$$[Sn]_{str} - [Sn]_{ccc} = 0.068 \cdot (D_{str}^{-0.5} \cdot D_{ccc}^{-0.5}), \quad (8)$$

$$[Sn]_{ccc} + \Delta Sn - [Sn]_{ccc} = 0.068 \cdot (D_{str}^{-0.5} \cdot D_{ccc}^{-0.5}), \quad (9)$$

$$\Delta Sn = 0.068 \cdot (D_{str}^{-0.5} \cdot D_{ccc}^{-0.5}), \quad (10)$$

In according with work [7] for thin slab of size 50 mm, the increasing limit content for Sn is next:

$$\Delta Sn_{max} = 0.068 \cdot (0.0202^{-0.5} - 0.0381^{-0.5}) = = 0.068 \cdot 1.91 = 0.13\%, \quad (11)$$

$$Sn_{strmax} = [Sn]_{ccc} + 0.13\%, \quad (12)$$

$$\Delta Sn_{min} = 0.068 \cdot (0.0227^{-0.5} - 0.0284^{-0.5}) = 0.068 \cdot 0.703 = 0.05\%, \quad (13)$$

$$\Delta Sn_{strmin} = [Sn]_{ccc} + 0.05\%, \quad (14)$$

Calculation of increasing limit content for S ($[S]_{str} = \Delta S + [S]_{ccc}$) for strip casting.

$$- 2.2 \cdot [S]_{str} + 0.017 \cdot D_{str}^{-0.5} = - 2.2 \cdot [S]_{ccc} + +0.017 \cdot D_{ccc}^{-0.5}, \quad (14a)$$

$$[S]_{str} - [S]_{ccc} = 0.00773 \cdot (D_{str}^{-0.5} - \cdot D_{ccc}^{-0.5}), \quad (15)$$

$$[S]_{str} + \Delta S - [S]_{ccc} = 0.00773 \cdot (D_{str}^{-0.5} - \cdot D_{ccc}^{-0.5}), \quad (15a)$$

$$\Delta S = 0.00773 \cdot (D_{str}^{-0.5} - \cdot D_{ccc}^{-0.5}), \quad (16)$$

$$\Delta S_{max} = 0.00773 \cdot (0.0202^{-0.5} - 0.0381^{-0.5}) = = 0.00773 \cdot 1.91 = 0.015\%, \quad (17)$$

$$[S]_{strmax} = [S]_{ccc} + 0.015\%, \quad (18)$$

$$\Delta S_{min} = 0.00773 \cdot (0.0227^{-0.5} - 0.0284^{-0.5}) = 0.00773 \cdot 0.703 = 0.0054\%, \quad (19)$$

$$[S]_{strmin} = [S]_{ccc} + 0.0054\%, \quad (20)$$

Calculation of increasing limit content for P ($[P]_{str} = \Delta P + [P]_{ccc}$) for strip casting.

$$- 3.9 \cdot [P]_{str} + 0.017 \cdot D_{str}^{-0.5} = - 3.9 \cdot [P]_{ccc} + 0.017 \cdot D_{ccc}^{-0.5}, \quad (21)$$

$$[P]_{str} - [P]_{ccc} = 0.00436 \cdot (D_{str}^{-0.5} - \cdot D_{ccc}^{-0.5}) \quad (22)$$

$$[P]_{str} + \Delta P - [P]_{ccc} = 0.00436 \cdot (D_{str}^{-0.5} - \cdot D_{ccc}^{-0.5}), \quad (23)$$

$$\Delta P = 0.00436 \cdot (D_{str}^{-0.5} - \cdot D_{ccc}^{-0.5}), \quad (24)$$

$$\Delta P_{max} = 0.00436 \cdot (0.0202^{-0.5} - 0.0381^{-0.5}) = = 0.00436 \cdot 1.91 = 0.0083\%, \quad (25)$$

$$[P]_{strmax} = [P]_{ccc} + 0.0083\%, \quad (26)$$

$$\Delta P_{min} = 0.00436 \cdot (0.0227^{-0.5} - 0.0284^{-0.5}) = = 0.00436 \cdot 0.703 = 0.0031\%, \quad (27)$$

$$[P]_{strmin} = [P]_{ccc} + 0.0031\%, \quad (28)$$

Increasing of the limit of elements in steel grades for manufacture technological parameters of the twin rolls casting process according with table 3 is as presented in the table

Table 6. Increasing of the limit of elements in steel grades for manufacture technological parameters of the twin rolls casting process according with table 3.

Element	Dendrite segregation at crystallization in		Boundary microsegregation in solid steel	Elongation	Minimum increasing at crystallization in	
	δ phase	γ phase			δ phase	in γ phase
Impurities						
S	4.97	1.16	1.30	1.005	1.05	1.05
O	1.80	1.19	-	-	1.80	1.19
N	1.22	1.04	1.70	-	1.22	1.04
P	1.16	1.07	2.30	1.03	1.03	1.03
H	1.09	1.07	-	-	1.09	1.07
Residual elements						
Pb	4.01	1.04	-	-	4.01	1.04
Bi	1.47	1.05	-	-	1.47	1.05
Sn	1.18	1.06	1.80	1.05	1.18	1.05
As	1.10	1.02	-	-	1.10	1.02
Zn	1.07	1.01	-	-	1.07	1.01
Sb	1.07	1.09	-	-	1.07	1.09
Cu	1.04	1.76	1.50	-	1.04	1.76
Alloying elements						
B	67.5	1.01	-	-	67.5	1.01
Se	4.16	1.03	-	-	4.16	1.03
Al	1.80	1.19	-	-	1.80	1.19
Te	1.58	1.98	-	-	1.58	1.98
Ca	1.47	2.23	-	-	1.47	2.23
Mg	1.45	1.07	-	-	1.45	1.07
Ce	1.44	1.04	-	-	1.44	1.04
C	1.26	1.06	1.60	-	1.26	1.06
La	1.26	1.05	-	-	1.26	1.05
Nb	1.18	1.04	-	-	1.18	1.04
Ti	1.04	1.13	-	-	1.04	1.13
Mn	1.02	1.01	-	-	1.02	1.01
Ni	1.02	1.03	-	-	1.02	1.03
Si	1.02	1.01	-	-	1.02	1.01

The data in table 6 show that the element limits in steel grades for twin rolls casting process can be increasing for impurities S, O, N, P, H minimum from 3 for P to maximum 497% for S. For residual elements Pb, Bi, Sn, Cu, Sb, Zn, As minimum from 1,1 for Zn to maximum 401% for Pb. Alloying elements (B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si) can to increase minimum from 1,1 for Si and Mn to maximum 675% for B.

Cooling. Manufacture of steels strip by the twin rolls casting process has good base because for all steps of process, from the casting till the coiling, the forming macrostructure and the mechanical properties will be very good due to the high cooling rate of steel, but some problems can be verified during the cooling, because in this step it will be a low cooling rate.

In according with [8] the cooling time of steel pieces can be calculated by next formula:

$$\tau_{cool} = \left(2.3 \cdot G \cdot \frac{c}{F \cdot \alpha}\right) \cdot \lg\left(\frac{t_{env} - t_{stcoil}}{t_{env} - t_{fincoil}}\right), \qquad (29)$$

where τ_{cool} – cooling time of coil from t_{stcoil} (°C) to $t_{fincoil}$ (°C), hours; G – weight, kg; c - heat capacity, kJ/(kg·°C); F –surface area of coil, m^2 (D = 1.8 m, d = 0.6 m, H = 1.5 m), F = 15.8279 m^2; α = coefficient of heat transfer to the environment (α = 41.9 kJ/(m^2·h·°C) for calm air at 25 °C), kJ/(m^2·h·°C); t_{env} – temperature of the environment (°C).

The cooling time for a coiler of weight 20 ton, that has to be cooled from 550 °C to 300 °C, is τ_{cool} = (20000·0.704·2.3/(41.9·15.8279)) ·lg(25 - 550/(25 - 300)) = 13.71 hours.

Cooling rate in the above interval will be 250/13.71 = 18.23°C/h=0.304 °C/min = 0.0051 °C/s. The cooling rate is very slowly and if impurities and residual elements saturate the solid solution it is danger that in the above temperature interval the impurities and the residual elements will precipitate from the solid solution to grain boundary (fig. 7).

In according to figure 7 the content of P on the grain boundary for low alloying steel, due to cooled segregation, could be increased till 2.5 times relative to the content in grain [9].

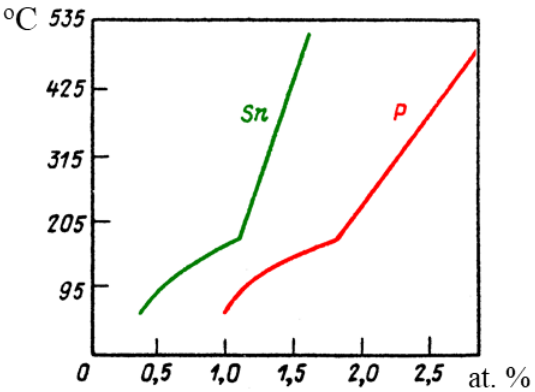


Fig. 7. Concentration of Sn and P on the grain boundaries [8].

In case of austenite steel, for example stainless steel grade, for example AISI 304, it is possible the precipitation of chromium carbides, increasing the sensitiveness the steel to inter crystallite corrosion (fig. 8).

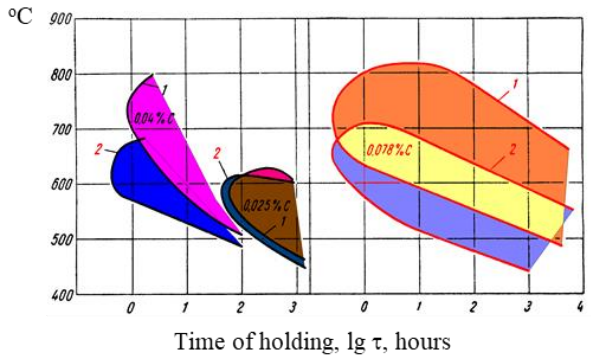


Fig. 8. Influence of temperature and time of the holding on development of the sensitiveness of stainless steel (grade AISI 304) to inter crystallite corrosion [10].

1-as – cast; 2- cold rolling on 30%

Results of research [11] show that the increasing of the cooling temperature will be accompanied with the decreasing of mechanical properties (fig. 9).

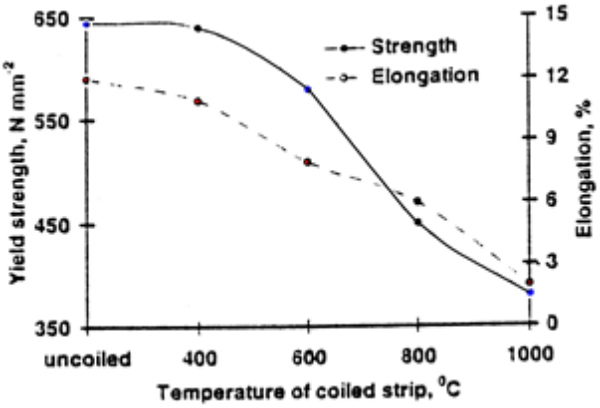


Fig. 9. Dependence of mechanical properties of strip with the coiling temperature.

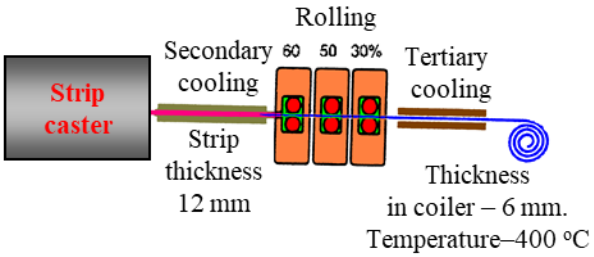


Fig. 10. Direct strip casting process.

The technological parametrs for the case presented in above figure are as follow:

- Chemical composition (% wt.):

C < 0.007, Si = 4.5, P < 0.01, Ni < 0.07, Ti < 0.02, Co < 0.02, Al < 0.01.

- Superheat – 30 °C. Diameter of rolls – 300-400 mm. Length – 150 mm.

- Casting speed – 6 m/s. Thickness of the as – cast strip – 0.1 – 0.3 mm.

- Separation force per unit length of the roll ranged from 0.2 to 2.0 kN/mm.

- Strip tension between the twin – roll and caster and the coiler ranged from 11 to 44 N/mm^2.

To avoid this problem it is necessary to increase the water cooling time after rolling till the strip temperature reaches 300 to 400 ºC and afterwards the coiling has to be done, for example, as it is made in company Thyssen Krupp Stahl AG & Mannesman Demag AG Metallurgie [12; 15] (fig. 10).

Conclusions

1. Theoretical research on the element microsegregation has shown that for the strip casting process the elements content in steel could be increased too much compared to the conventional slab casting process, maintaing the same level of micro segregation.

2. Residual elements as Cu, Sn, Sb increase strength, hardness, corrosion resistance, hardenability, temper embrittlement and decrease ductility, strain hardening and weldability. It is possible to increase the content of residual elements in steel for strip casting manufactury the same level of properties of strip manufactured by conventional casting route.

3. The element limits in steel grades for twin rolls casting process can be increasing for impurities S, O, N, P, H minimum from 3 for P to maximum 497 % for S. For residual elements Pb, Bi, Sn, Cu, Sb, Zn, As minimum from 1 for Zn to maximum 401 % for Pb. Alloying elements (B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si) can to increase minimum from 1 for Si and Mn to maximum 675 % for B.

4. To receive strip with good quality, for the stainless steel grades, it is necessary to decrease the coiling temperature to 300–400 ºC.

Список літератури

1. *Zhi-ling Peng, Chun-gui Zhou*. Research on modeling of nonlinear vibration isolation system based on Bouc-Wen model. Defence Technology. 2014. Vol. 10. P. 371-374.

2. *Semenov M. E., Meleshenko P. A., Solovyov A. M., Semenov A. M.* Hysteretic nonlinearity in inverted pendulum problem. Springer Proceedings in Physics. 2015. Vol. 168. P. 463-507.

3. *Bernyk I., Nazarenko I., Luhovskyi O.* Effect of rheological properties of materials on their treatment with ultrasonic cavitation. Materials and technology. 2018. Vol. 4 (52). P. 465-468.

4. *Veklich A., Tmenova T., Zazimko O., Trach V., Lopatko K., Titova L., Boretskij V., Aftandiliants Y., Lopatko S., Rogovskiy I.* Regulation of biological processes with complexions of metals produced by underwater spark discharge. 2020. Springer Proceedings in Physics. Book series Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces and Their Applications. Vol. 247. P. 283-306.

5. *Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L.* Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

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

7. *Tmenova T., Valensi F., Veklich A., Cressault Y., Boretskij V., Lopatko K., Aftandilyant Y.* Etude d'un arc impulsionnel immergé à l'aide de deux dispositifs expérimentaux. Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement. 2017. Vol. 3. No 1. P. 2428-8500. doi: 10.18145/jitipee.v3i1.159.

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

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

10. *Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R.* Determiantion of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4. Issue 7(112). P. 41-49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292.

11. *Aftandiliants Ye. G.* Thickness influence on element segregation in continuously cast steel slabs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 2. P. 15-22. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.02.015.

12. *Palamarchuk I., Rogogvskii I., Titova L., Omelyanov O.* Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. Engineering for Rural Development. 2021. Vol. 20. P. 1761-1767. doi: 10.22616/ERDev.2021.20. TF386.

13. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Gumenyuk Yu. O., Nadtochiy O. V.* Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 839. P. 052055. doi:10.1088/1755-1315/839/5/052055.

14. *Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Borak K.V., Lavrinenko O.T., Bannyi O.O.* Research on a grain cultiseeder for subsoil-broadcast sowing. INMATEH. Agricultural Engineering. 2021. Bucharest. Vol. 63. No.1. P. 385-396.

15. *Gorban, V. F., Andreev, A. O., Stolbovy, V. O., Firstov, S. O. & Karpets, M. V.* Influence of the Lattice Parameter on Physical Properties of High-Entropy Coatings . Scientific Herald of Uzhhorod University. Series "Physics". 2021. Vol. 49. PP. 61-65.

References

1. *Zhi-ling Peng, Chun-gui Zhou.* (2014). Research on modeling of nonlinear vibration isolation system based on Bouc-Wen model. Defence Technology. 10. 371-374.

2. Semenov M. E., Meleshenko P. A., Solovyov A. M.,Semenov A. M. (2015). Hysteretic nonlinearity in inverted pendulum problem. Springer Proceedings in Physics. 168. 463-507.

3. *Bernyk I., Nazarenko I., Luhovskyi O.* (2018). Effect of rheological properties of materials on their treatment with ultrasonic cavitation. Materials and technology. 4 (52). 465-468.

4. *Veklich A., Tmenova T., Zazimko O., Trach V., Lopatko K., Titova L., Boretskij V., Aftandiliants Y., Lopatko S., Rogovskiy I.* (2020). Regulation of biological processes with complexions of metals produced by underwater spark discharge. Springer Proceedings in Physics. Book series Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces and Their Applications. 247. 283-306.

5. *Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L.* (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6 (7-108). 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

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

7. *Tmenova T., Valensi F., Veklich A., Cressault Y., Boretskij V., Lopatko K., Aftandilyant Y.* (2017). Etude d'un arc impulsionnel immergé à l'aide de deux dispositifs expérimentaux. Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement. 3(1). 2428-8500. doi: 10.18145/jitipee. v3i1.159.

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

9. *Boretskij V. F., Veklich A. N., Tmenova T. A., Cressault Y., Valensi F., Lopatko K. G., Aftandilyants Y. G.* (2019). Plasma of underwater electric discharges with metal vapors. Problems of atomic science and technology. 1. Series: Plasma Physics (25). 127-130.

10. *Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R.* (2021). Determiantion of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 4(7(112). 41-49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292.

11. *Aftandiliants Ye. G.* (2021). Thickness influence on element segregation in continuously cast steel slabs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(2). 15-22. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.02.015.

12. *Palamarchuk I., Rogogvskii I., Titova L., Omelyanov O.* (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. Engineering for Rural Development. 20. 1761-1767. doi: 10.22616/ERDev.2021.20.TF386.

13. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Gumenyuk Yu. O., Nadtochiy O. V.* (2021). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 839. 052055. doi:10.1088/1755-1315/839/5/052055.

14. *Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Borak K.V., Lavrinenko O.T., Bannyi O.O.* (2021). Research on a grain cultiseeder for subsoil-broadcast sowing. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. 63(1). 385-396. doi: 10.35633/INMATEH-63-39.

15. *Gorban, V. F., Andreev, A. O., Stolbovy, V. O., Firstov, S. O. & Karpets, M. V.* (2021). Influence of the Lattice Parameter on Physical Properties of High-Entropy Coatings . Scientific Herald of Uzhhorod University. Series "Physics", (49), 61-65.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СЕГРЕГАЦИЮ ЭЛЕМЕНТОВ И СВОЙСТВА СТАЛЬНОЙ ЛЕНТЫ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ ЛЕНТОЧНОГО ЛИТЬЯ

Е. Г. Афтандилянц

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния химического состава на сегрегацию элементов и свойства стальной ленты изготовленной непрерывной разливкой.

Показано, что при переходе от производства слябов толщиною 220 мм до слябов толщиной 1,2 мм толщина сегрегационного диффузионного слоя в случае процесса ленточного непрерывного литья в 4,1-12,4 раза меньше, чем при традиционном непрерывном литье.

Процент сегрегации углерода, азота, меди, олова, фосфора и серы в случае процесса ленточного непрерывного литья в 1,7-5,1 раза меньше, чем при традиционном непрерывном литье.

Предложен метод расчета сегрегации элементов, исходя из равенства уровня сегрегации при традиционном и ленточном непрерывном литье.

Установлено, что содержание элементов в сталях при двухвалковом непрерывном литье может быть увеличено для таких примесей как S, O, N, P, H минимально от 3 для P до максимально 497 % для S. Для таких остаточных элементов как Pb, Bi, Sn, Cu, Sb, Zn, As минимальное увеличение от 1,1 для Zn до максимального 401 % для Pb. Содержание таких легирующих элементов как B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si может быть увеличено минимально от 1,1 для Si и Mn до максимального 675 % для B.

Рассчитаны время и скорость охлаждения 20 тонной бухты стальной ленты в, которые составляют, соответственно, 13,7 часа и 0.0051 ^{o}C/s. Такие условия охлаждения создают предпосылки для выделения карбидов хрома и увеличению склонности стали к межкристаллитной коррозии.

Установлено, что для устранения этой проблемы необходимо увеличить время охлаждения водой после прокатки до температуры ленты 300-400 ^{o}C

Ключевые слова: сталь, химический состав, сегрегация, свойства, предел текучести, предел прочности, ленточное литье.

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ НА СЕГРЕГАЦІЮ ЕЛЕМЕНТІВ І ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕВОЇ СТРІЧКИ, ЩО ВИГОТОВЛЕНА МЕТОДОМ СТРІЧКОВОГО ЛИТТЯ

Є. Г. Афтанділянц

Анотація. У статті представлені результати дослідження впливу хімічного складу на сегрегацію елементів і властивості сталевої стрічки виготовленої безперервним литтям.

Показано, що при переході від виробництва слябів товщиною 220 мм до слябів товщиною 1,2 мм ширина сегрегаційного дифузійного шару в разі процесу стрічкового безперервного лиття в 4,1-12,4 рази менше, ніж при традиційному безперервному литті.

Відсоток сегрегації вуглецю, азоту, міді, олова, фосфору і сірки в разі процесу стрічкового безперервного лиття в 1,7-5,1 рази менше, ніж при традиційному безперервному литті.

Запропоновано метод розрахунку сегрегації елементів, виходячи з однакового рівня сегрегації при традиційному і стрічковому безперервному литті.

Встановлено, що вміст елементів в сталях при двохвалковому безперервному литті може бути збільшено для таких домішок як S, O, N, P, H мінімально від 3 для P до максимально 497% для S. Для таких залишкових елементів як Pb, Bi, Sn, Cu, Sb, Zn, As мінімальне збільшення від 1,1 для Zn до максимального 401% для Pb. Вміст таких легуючих елементів як B, Se, Al, Te, Ca, Mg, Ce, C, La, Nb, Ti, Mn, Ni, Si може бути збільшено мінімально від 1,1 для Si і Mn до максимального 675% для B .

Розраховані час і швидкість охолодження 20 тонної бухти сталевої стрічки, які становлять, відповідно, 13,7 години і 0.0051 ^{o}C/s. Такі умови охолодження створюють передумови для виділення карбідів хрому і збільшення схильності сталі до міжкристалічної корозії.

Встановлено, що для усунення цієї проблеми необхідно збільшити час охолодження водою після прокатки до температури стрічки 300-400 ^{o}C.

Ключові слова: сталь, хімічний склад, сегрегація, властивості, межа текучості, межа міцності, стрічкове лиття.

Є. Г. Афтанділянц ORCID 0000-0001-5864-9855.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 15-20*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.015

УДК 631.312

РУХ ЧАСТИНКИ ПО ВНУТРІШНІЙ ПОВЕРХНІ ІЗ ЗАДАНИМ МЕРИДІАНОМ, ЯКА ОБЕРТАЄТЬСЯ НАВКОЛО ВЕРТИКАЛЬНОЇ ОСІ

Т. М. Воліна, С. Ф. Пилипака, В. М. Бабка

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття зі спеціальності: 131 – прикладна механіка.

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

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року.
Бібл. 8, рис. 9, табл. 0.

Анотація. У статті розглянуто відносний рух частинки по поверхні, яка обертається навколо вертикальної осі. Меридіаном поверхні є вітка параболи, зміщена від осі симетрії на задану величину. Складено диференціальні рівняння відносного переміщення частинки, які розв'язано чисельними методами. Побудовано траєкторії руху частинки та графіки зміни швидкостей. З'ясовано закономірність руху частинки при її підйомі по поверхні.

Ключові слова: поверхня обертання, кутова швидкість обертання, відносний рух, частинка, диференціальні рівняння, траєкторія ковзання.

Постановка проблеми

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

Аналіз останніх досліджень

Рух частинок технологічного матеріалу по робочих поверхнях сільськогосподарських машин розглянуто в монографіях [1, 2]. У монографіях [3, 4] розглянуто переміщення частинок по рухомих поверхнях у процесі їх сепарування та вібраційного транспортування. У статтях стосовно даного напрямку досліджень розглядаються питання руху частинок по робочих поверхнях конкретних машин: відцентрових висівних органів [5], висівних апаратів [6]. У праці [7] розглянуто рух частинки по внутрішній поверхні ротаційного конуса з вертикальною віссю обертання. Найбільш близькою до даного дослідження працею за тематикою є [8], у якій розглядається рух частинки по зовнішній поверхні циліндра, що здійснює поступальні коливання в горизонтальних площинах.

Мета досліджень

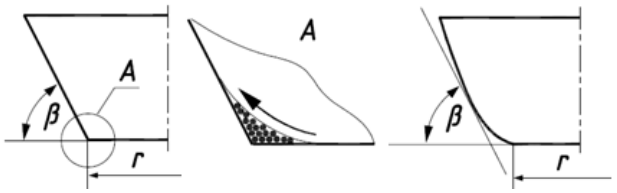
Дослідити закономірності руху матеріальної частинки по внутрішній поверхні, меридіаном якої є вітка параболи, зміщена від осі на задану величину, і яка обертається навколо вертикальної осі із сталою кутовою швидкістю.

Результати досліджень

Частинки матеріалу можуть попадати на поверхню, що обертається, по різному: згори, знизу, безпосередньо на поверхню. Наприклад, у соковижималках відцентрового типу подрібнений матеріал потрапляє на поверхню сита у вигляді конуса знизу із горизонтальної терки, яка теж обертається. Сито може бути як циліндричним, так і конічним. На рис. 1,а показана схема розташування терки у вигляді горизонтального диска радіуса r і сита у вигляді конуса із кутом β нахилу твірних. Завдяки конічному ситу мезга може рухатися по його поверхні вгору для подальшого очищення сита, що неможливо у циліндричних ситах. Однак у циліндричних ситах ступінь забору соку вищий. У статті пропонується розглянути поверхню сита зі змінним кутом β, який по мірі підйому частинок мезги зростає (рис. 1,в). Це дає можливість поєднати переваги обох сит.

Крім того, траєкторія руху частинок подрібненого матеріалу із терки на сито має особливу точку на межі цих поверхонь, яка полягає в стрибкоподібній зміні напряму руху. Фізична природа руху частинки передбачає траєкторію з плавною зміною кривини. Внаслідок цього відбувається залипання матеріалу і формування такої поверхні, яка

забезпечить прийнятну траєкторію (рис. 1,б). Щоб уникнути явища залипання, доцільно сито зробити зі змінним кутом β, який у нижній точці повинен бути рівним нулю (рис. 1,в).



а) б) в)

Рис. 1. Схема варіантів поверхні сита: а) сито у вигляді конічної поверхні із кутом β нахилу твірних; б) збільшений фрагмент поверхонь сита і терки з можливою новою формою внаслідок залипання частинок подрібненого матеріалу; в) сито у вигляді поверхні обертання зі змінним кутом β.

Fig. 1. Scheme of the variants of the sieve surface: a) a sieve in the form of a conical surface with an angle β of inclination of generatrices; b) an increased fragment of the sieve surfaces and grater with a possible new shape due to the sticking of particles of crushed material; c) a sieve in the form of a surface of rotation with a variable angle β.

З огляду на простоту аналітичного запису меридіаном поверхні сита візьмемо вітку параболи, зміщену від осі симетрії на величину r.

Якщо взяти параболу $z=b\cdot\rho^2$, де b – стала величина, то параметричні рівняння поверхні обертання, для якої вітка параболи є меридіаном, зміщеним від осі симетрії на величину r, запишуться:

$$\begin{aligned} X &= \rho\cos\alpha; \\ Y &= \rho\sin\alpha; \\ Z &= z, \end{aligned} \qquad (1)$$

де b – стала величина, яка впливає на форму поверхні;

ρ, α – незалежні змінні поверхні, які мають фізичний зміст: ρ – відстань від точки параболи до осі її симетрії; α – кут повороту радіус-вектора $\rho+r$ навколо осі OZ від нульового значення до точки на поверхні.

Поточне значення кута β можна знайти через похідну параболи $z'=\mathrm{tg}\beta$, тобто $2\cdot b\cdot\rho=\mathrm{tg}\beta$. На основі цього можна перейти в рівняннях (1) від змінної ρ до змінної β, внаслідок чого незалежними змінними поверхні будуть два кути:

$$\begin{aligned} X &= \left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\cos\alpha; \\ Y &= \left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\sin\alpha; \\ Z &= a\,\mathrm{tg}^2\beta, \end{aligned} \qquad (2)$$

де між сталими a і b існує взаємозв'язок $a=1/4b$.

Кут α змінюється в межах $\alpha=0\ldots2\pi$, кут β – в межах $\varepsilon=0\ldots\beta_o<90^o$, де від значення кута β_o залежить висота відсіку поверхні.

Обертання відсіку поверхні будемо розглядати по відношенню до двох систем координат: нерухомої $OXYZ$ і рухомої $Oxyz$, яка буде обертатися разом із відсіком. Якщо відсік поверхні (2) буде обертатися навколо осі OZ із кутовою швидкістю ω, то за час t він повернеться на кут $\theta=\omega\cdot t$. Застосуємо відомі формули повороту однієї системи координат відносно другої:

$$\begin{aligned} X &= \left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\cos\alpha\cos\theta - \left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\sin\alpha\sin\theta; \\ Y &= \left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\cos\alpha\sin\theta + \left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\sin\alpha\cos\theta; \\ Z &= a\,\mathrm{tg}^2\beta. \end{aligned} \qquad (3)$$

Після спрощень із врахуванням $\theta=\omega\cdot t$ рівняння (3) набувають вигляду:

$$\begin{aligned} X &= \left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\cos\left(\alpha+\omega t\right); \\ Y &= \left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\sin\left(\alpha+\omega t\right); \\ Z &= a\,\mathrm{tg}^2\beta. \end{aligned} \qquad (4)$$

Нехай в початковий момент при $t=0$ дві системи координат збігаються, поверхня сита і диск не обертаються і частинка знаходиться на меридіані в площині OYZ. Таке положення частинки показано на рис. 2, на якому з метою наочності зображено нижню частину сита. До неї прикладені наступні сили: сила ваги mg (m – маса частинки, $g=9{,}81$ *м/с*^{2} – прискорення вільного падіння), реакція поверхні N, та сила тертя $f\cdot N$ (f – коефіцієнт тертя), яка не дозволяє частинці рухатися вниз вздовж меридіана в напрямку початку координат.

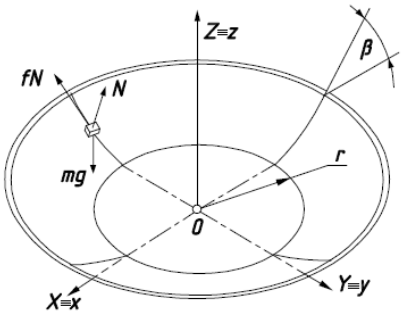


Рис. 2. Розташування частинки на поверхні сита та схема прикладених до неї сил з урахуванням того, що нерухома і рухома системи координат збігаються на початку руху.

Fig. 2. The location of the particle on the surface of the sieve and the scheme of forces applied to it, taking into account the fact that the fixed and moving coordinate systems coincide at the beginning of the movement.

При обертанні диска зі сталою кутовою швидкістю ω за час t він повернеться на кут $\theta=\omega\cdot t$ (рис. 3). Якби частинка не ковзала по диску, то вона повернулася б разом із диском на кут θ і зайняла б положення на тому ж самому меридіані після його повороту. В результаті ковзання частинка займе інше положення (рис. 3). Ковзання частинки відбувається в протилежну сторону обертання диска. Напрям відносної швидкості V_r спрямований по дотичній до траєкторії ковзання частинки (рис. 3).

Рівняння руху частинки будемо складати у вигляді $m\bar{w}=\bar{F}$, де $\bar{w}$ – вектор прискорення, $\bar{F}$ – результуючий вектор прикладених до частинки сил. Всі вектори будемо визначати в проекціях на осі нерухомої системи координат. Рух окремої частинки зі сталим коефіцієнтом f сухого тертя не може ототожнюватися з рухом вологої подрібненої маси. Однак розв'язок спрощеної задачі для окремої частинки дасть змогу виявити закономірності її відносного руху і ці закономірності певною мірою стосуватимуться і всієї подрібненої маси.

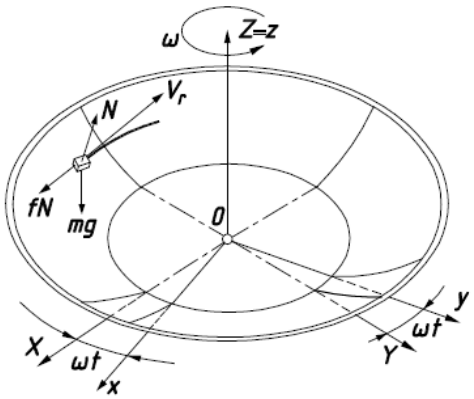


Рис. 3. Розташування частинки на поверхні сита та схема прикладених до неї сил у разі, коли сито разом із рухомою системою обертається, частинка ковзає по його поверхні.

Fig. 3. The location of the particle on the surface of the sieve and the scheme of forces applied to it in the case when the sieve rotates together with the moving system, the particle slides on its surface.

Траєкторія відносного руху частинки по відношенню до рухомої системи координат *Oxyz* опишеться залежністю між криволінійними координатами (кутами) β і α поверхні (2). Така залежність може бути задана по різному: $\beta=\beta(\alpha)$, $\alpha=\alpha(\beta)$ або ж через спільну змінну *t*: $\beta=\beta(t)$, $\alpha=\alpha(t)$. Для нашого випадку роль спільної змінної буде відігравати роль часу *t*.

Таким чином, при прийнятому взаємозв'язку $\beta=\beta(t)$ і $\alpha=\alpha(t)$ рівняння (2) задають відносну траєкторію руху частинки, а рівняння (4) – абсолютну. Вказані залежності є невідомими і їх потрібно знайти. У подальшому нам потрібні будуть вектори як відносної, так і абсолютної швидкостей. Їх ми визначатимемо диференціюванням виразів (2) і (4) по часу *t*. Рівняння (2) і (4) в одному випадку є рівняннями поверхні, коли ε і α є незалежними змінними, а в іншому – лініями (розшукуваними траєкторіями частинки) на поверхні. Для поверхонь ми прийняли позначення рівнянь прописними літерами, а для ліній – строчними, причому для відносної траєкторії будемо використовувати індекс «*r*», а для абсолютної – «*a*». Отже, диференціюванням рівнянь (2) знаходимо відносну швидкість руху (ковзання) частинки по поверхні сита:

$$\begin{aligned} x_r' &= -\alpha'\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\sin\alpha + 2a\beta'\sec^2\beta\cos\alpha; \\ y_r' &= \alpha'\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\cos\alpha + 2a\beta'\sec^2\beta\sin\alpha; \\ z_r' &= 2a\beta'\sec^2\beta\,\mathrm{tg}\beta. \end{aligned} \tag{5}$$

Геометрична сума складових (5) дасть величину швидкості ковзання частинки по поверхні сита у відносному русі:

$$\begin{aligned} V_r &= \sqrt{x_r'^{\,2} + y_r'^{\,2} + z_r'^{\,2}} = \\ &= \sqrt{\alpha'^{\,2}\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)^2 + 4a^2\beta'^{\,2}\sec^6\beta} \end{aligned} \tag{6}$$

Одиничний вектор *T* дотичної до траєкторії відносного руху в проекціях на осі системи *OXYZ* одержимо діленням проекцій (5) на величину відносної швидкості (6):

$$\begin{aligned} T_x &= \frac{-\alpha'\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\sin\alpha + 2a\beta'\sec^2\beta\cos\alpha}{\sqrt{\alpha'^{\,2}\left(2a\mathrm{tg}\beta + r\right)^2 + 4a^2\beta'^{\,2}\sec^6\beta}}; \\ T_y &= \frac{\alpha'\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\cos\alpha + 2a\beta'\sec^2\beta\sin\alpha}{\sqrt{\alpha'^{\,2}\left(2a\mathrm{tg}\beta + r\right)^2 + 4a^2\beta'^{\,2}\sec^6\beta}}; \\ T_z &= \frac{2a\beta'\sec^2\beta\,\mathrm{tg}\beta}{\sqrt{\alpha'^{\,2}\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)^2 + 4a^2\beta'^{\,2}\sec^6\beta}}. \end{aligned} \tag{7}$$

Знайдемо напрям дії реакції *N* поверхні (2). Вона спрямована по нормалі *P* до поверхні і визначається із векторного добутку двох векторів, дотичних до координатних ліній поверхні. Проекціями цих векторів є частинні похідні рівнянь (2):

$$\begin{aligned} &\frac{\partial X}{\partial\beta} = 2a\sec^2\beta\cos\alpha; \quad \frac{\partial X}{\partial\alpha} = -\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\sin\alpha; \\ &\frac{\partial Y}{\partial\beta} = 2a\sec^2\beta\sin\alpha; \quad \frac{\partial Y}{\partial\alpha} = \left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\cos\alpha; \\ &\frac{\partial Z}{\partial\beta} = 2a\sec^2\beta\,\mathrm{tg}\alpha; \quad \frac{\partial Z}{\partial\alpha} = 0. \end{aligned} \tag{8}$$

Після векторного множення векторів (8) і приведення отриманого вектора до одиничного проекції вектора нормалі *P* до поверхні запишуться:

$$\begin{aligned} P_x &= -\sin\beta\cos\alpha; \\ P_y &= -\sin\beta\sin\alpha; \\ P_z &= \cos\beta. \end{aligned} \tag{9}$$

Диференціюванням рівнянь (4) знаходимо абсолютну швидкість руху частинки по відношенню до нерухомої системи координат:

$$\begin{aligned} x_a' &= -\left(\alpha' + \omega\right)\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\sin\left(\alpha + \omega t\right) + \\ &+ 2a\beta'\sec^2\beta\cos\left(\alpha + \omega t\right); \\ y_a' &= \left(\alpha' + \omega\right)\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\cos\left(\alpha + \omega t\right) + \\ &+ 2a\beta'\sec^2\beta\sin\left(\alpha + \omega t\right); \\ z_a' &= 2a\beta'\sec^2\beta\,\mathrm{tg}\beta. \end{aligned} \tag{10}$$

Диференціюванням виразів (10) знаходимо проекції вектора абсолютного прискорення на осі нерухомої системи координат:

$$\begin{aligned} x_a'' &= -\left[4a\beta'\sec^2\beta\left(\alpha' + \omega\right) + \alpha''\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\right]\cdot \\ &\cdot\sin\left(\alpha + \omega t\right) + \\ &+ \left[2a\left(\beta'' + 2\beta'^{\,2}\mathrm{tg}\beta\right)\sec^2\beta - \left(\alpha' + \omega\right)^2\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\right]\cdot \\ &\cdot\cos\left(\alpha + \omega t\right); \\ y_a'' &= \left[4a\beta'\sec^2\beta\left(\alpha' + \omega\right) + \alpha''\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\right]\cdot \\ &\cdot\cos\left(\alpha + \omega t\right) + \\ &+ \left[2a\left(\beta'' + 2\beta'^{\,2}\mathrm{tg}\beta\right)\sec^2\beta - \left(\alpha' + \omega\right)^2\left(2a\,\mathrm{tg}\beta + r\right)\right]\cdot \\ &\cdot\sin\left(\alpha + \omega t\right); \\ z_a'' &= 2a\sec^2\beta\left[\beta'^{\,2}\sec^2\beta + \mathrm{tg}\beta\left(\beta'' + 2\beta'^{\,2}\mathrm{tg}\beta\right)\right]. \end{aligned} \tag{11}$$

Одиничні вектори *T* (7) напряму відносної швидкості V_r і (8) нормалі *P* до поверхні знайдені для нерухомої поверхні. Оскільки поверхня повертається на кут $\theta=\omega\cdot t$, то вказані вектори теж потрібно повернути на цей кут, щоб вони відповідали розташуванню частинки. Поворот здійснюємо аналогічно повороту поверхні згідно формул (3). Після повороту проекції вказаних векторів запишуться:

– одиничного вектора дотичної до відносної траєкторії:

$$T_X = \frac{-\alpha'(2a\mathrm{tg}\beta + r)\sin(\alpha+\omega t)}{\sqrt{\alpha'^2(2a\mathrm{tg}\beta + r)^2 + 4a^2\beta'^2\sec^6\beta}} + \frac{2a\beta'\sec^2\beta\cos(\alpha+\omega t)}{\sqrt{\alpha'^2(2a\mathrm{tg}\beta + r)^2 + 4a^2\beta'^2\sec^6\beta}};$$

$$T_Y = \frac{\alpha'(2a\mathrm{tg}\beta + r)\cos(\alpha+\omega t)}{\sqrt{\alpha'^2(2a\mathrm{tg}\beta + r)^2 + 4a^2\beta'^2\sec^6\beta}} + \frac{2a\beta'\sec^2\beta\sin(\alpha+\omega t)}{\sqrt{\alpha'^2(2a\mathrm{tg}\beta + r)^2 + 4a^2\beta'^2\sec^6\beta}}; \quad (12)$$

$$T_Z = \frac{2a\beta'\sec^2\beta\,\mathrm{tg}\beta}{\sqrt{\alpha'^2(2a\,\mathrm{tg}\beta + r)^2 + 4a^2\beta'^2\sec^6\beta}}.$$

– одиничного вектора нормалі до поверхні:

$$P_X = -\sin\beta\cos(\alpha+\omega t);$$
$$P_Y = -\sin\beta\sin(\alpha+\omega t); \quad (13)$$
$$P_Z = \cos\beta.$$

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

$$mx_a'' = NP_x - fNT_x;$$
$$my_a'' = NP_y - fNT_y; \quad (14)$$
$$mz_a'' = NP_z - fNT_z - mg.$$

Проекції одиничних напрямних векторів дотичної T до відносної траєкторії та нормалі P до поверхні наведено у (12) і (13) відповідно, вирази других похідних абсолютної траєкторії – у (11). Підстановка вказаних виразів у (14) дасть систему трьох рівнянь із трьома невідомими залежностями: $\alpha=\alpha(t)$, $\beta=\beta(t)$ і $N=N(t)$. Розв'яжемо її відносно α'', β'', N і отримаємо:

$$\beta'' = -\frac{\cos^3\beta}{2a}\left[g\sin\beta - (\omega+\alpha')^2(r\cos\beta + 2a\sin\beta)\right] - 3\beta'^2 - f\frac{\beta' A}{Vr};$$
$$\alpha'' = -\frac{4a\beta'(\omega+\alpha')\sec\beta}{r\cos\beta + 2a\sin\beta} - f\frac{\alpha' A}{Vr}; \quad (15)$$
$$N = mA,$$

де $A = sec\,\beta\left[\begin{array}{l}(\omega+\alpha')^2(r\cos\beta + 2a\sin\beta)\sin\beta + \\ + g\cos^2\beta + 2a\beta'^2\sec^2\beta\end{array}\right].$

Система (15) фактично є системою двох перших рівнянь відносно невідомих залежностей $\alpha=\alpha(t)$ і $\beta=\beta(t)$, а залежність $N=N(t)$ знаходиться після розв'язання цієї системи. Отриману систему потрібно розв'язувати чисельними методами. Знайдені залежності $\alpha=\alpha(t)$ і $\beta=\beta(t)$ потрібно підставити у рівняння (2) для того, щоб одержати відносну траєкторію частинки по руху ситу, тобто траєкторію ковзання, і у рівняння (4), щоб одержати абсолютну траєкторію руху.

На рис. 4 чисельними методами побудовано відносну траєкторію руху частинки по ситу при наступних параметрах: *a=0,01, r=0,05 м, ω=50 с*$^{-1}$, *f=0,3*. Для наочності траєкторія показана зовні сита суцільною лінією і за його межами – штриховою.

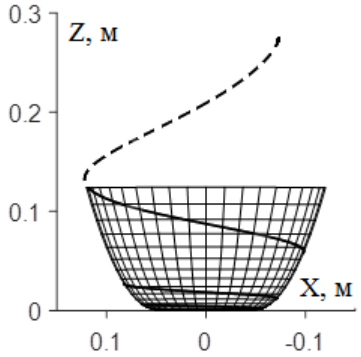


Рис. 4. Відносна траєкторія руху частинки по ситу на фронтальній проекції при *a=0,01, r=0,05 м, ω=50 с*$^{-1}$, *f=0,3*.

Fig. 4. The relative trajectory of the particle movement along the sieve on the frontal projection at *a=0.01, r=0.05 m, ω=50 s*$^{-1}$, *f=0.3*.

На рис. 5 такими ж лініями побудовано графік реакції поверхні $N=N(t)$ для частинки масою *m=0,001 кг*. Ця характеристика є важливою, оскільки величина реакції характеризує силу тиску частинок подрібненої маси на поверхню сита.

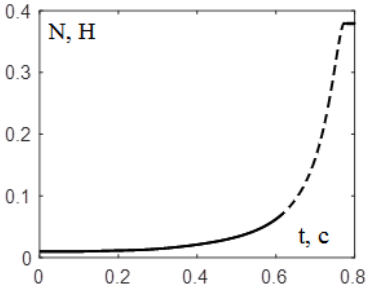


Рис. 5. Графік реакції поверхні $N=N(t)$ для частинки масою *m=0,001 кг* при *a=0,01, r=0,05 м, ω=50 с*$^{-1}$, *f=0,3*.

Fig. 5. Graph of the surface reaction $N=N(t)$ for a particle with mass *m=0.001 kg* at *a=0.01, r=0.05 m, ω=50 s*$^{-1}$, *f=0.3*.

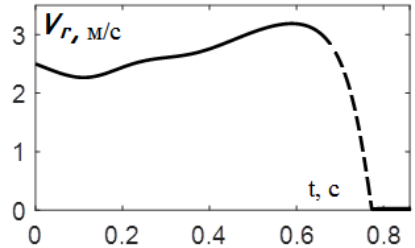


Рис. 6. Графік зміни відносної швидкості руху частинки по ситу при *a=0,01, r=0,05 м, ω=50 с*$^{-1}$, *f=0,3*.

Fig. 6. Graph of the change in the relative velocity of the particle movement on the sieve at *a=0.01, r=0.05 m, ω=50 s*$^{-1}$, *f=0.3*.

Із графіка видно, що реакція досягає максимальної величини біля *0,4 Н* і стає сталою. Це означає, що ковзання частинки припинилося і вона обертається разом із ситом. Про це свідчать графіки

відносної і абсолютної швидкостей ковзання (рис. 6, рис. 7).

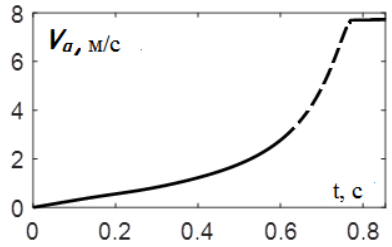


Рис. 7. Графік зміни абсолютної швидкості руху частинки по ситу при *a=0,01, r=0,05 м, ω=50 с*$^{-1}$, *f=0,3*.

Fig. 7. Graph of the change in the absolute velocity of the particle movement on the sieve at *a=0.01, r=0.05 m, ω=50 s*$^{-1}$, *f=0.3*.

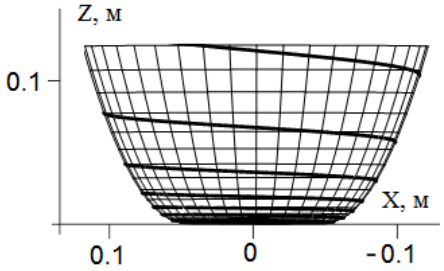


Рис. 8. Відносна траєкторія руху частинки по ситу на фронтальній проекції при *a=0,01, r=0,05 м, f=0,3, ω=100 с*$^{-1}$.

Fig. 8. The relative trajectory of the particle movement along the sieve on the frontal projection at *a=0.01, r=0.05 m, f=0.3, ω=100 s*$^{-1}$.

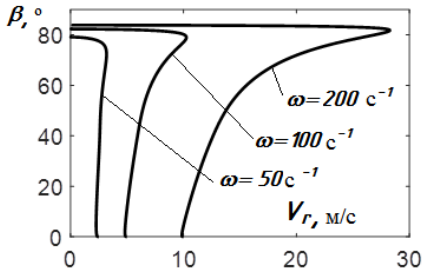


Рис. 9. Графіки залежностей $\beta=\beta(V_r)$ для різних значень кутової швидкості ω обертання сита при *a=0,01, r=0,05 м, f=0,3.*

Fig. 9. Graphs of dependencies $\beta=\beta(V_r)$ for different values of angular velocity ω of rotation of the sieve at *a=0.01, r=0.05 m, f=0.3.*

На рис. 5, рис. 6, рис. 7 суцільна крива стосується руху частинки в межах сита, а штрихова – по ситу у випадку, якби воно було продовжено вгору. Видно, що найбільш інтенсивно сік буде сходити із сита перед «залипанням» частинок, тобто при різкому гальмуванні швидкості ковзання (рис. 6). Очевидно, що це відбувається завдяки зростанню кута β (рис. 1,в). У конічних ситах, в яких кут β сталий, гальмування швидкості ковзання не відбувається [7], через що у них значно нижчий ступінь забору соку у порівнянні із циліндричними ситами, у яких кут $\beta=90°$.

При збільшенні кутової швидкості ω обертання сита збільшується швидкість V_r ковзання частинки і при цьому змінюється її траєкторія: витки траєкторії розташовуються більш щільно у вертикальному напрямі (рис. 8). На рис. 9 показано, як змінюється швидкість ковзання частинки по мірі її підйому, тобто у функції кута β при різних значеннях кутової швидкості обертання сита. Характерною ознакою графіків (рис. 9) є те, що початкова швидкість ковзання починається не з нуля, а з конкретного значення. Це пояснюється тим, що в момент зустрічі частинки з ситом кутова швидкість її ковзання визначається різницею кутової швидкості частинки (яка в момент зустрічі не обертається) і сита: $0–\omega=–\omega$. Ця величина $(–\omega)$ є вихідною умовою інтегрування диференціальних рівнянь (15): $\alpha'_o=–\omega$. Другою характерною ознакою цих графіків є те, що вони прямують до нуля (перед «залипанням» частинки) при дуже вузькому діапазоні зміни кута β незалежно від кутової швидкості ω обертання сита. Згідно рис. 9 цей діапазон знаходиться в межах $80°...85°$. У цьому діапазоні ковзання частинки різко зменшується і вона «залипає». Тут також відбувається найбільш інтенсивний відбір соку від подрібненої маси. Виходячи з цього, в конструкції соковижималки можна передбачити очисний пристрій саме в цьому місці сита або ж зменшити його висоту для недопущення забивання сита. Парабола, яка в нашому випадку відіграє роль меридіана, не є прийнятною кривою, оскільки при кутах $\beta>80°$ висота сита буде занадто великою незалежно від величини значення сталої a. У такому випадку за меридіан потрібно брати іншу криву з більш інтенсивним зростанням кута β, наприклад, дугу еліпса.

Висновки

1. Рух частинки по внутрішній шорсткій поверхні сита зі змінним кутом підйому меридіана має свої особливості. Вони стосуються характеру ковзання частинки по поверхні. При попаданні частинки на поверхню в нижній частині сегмента відбувається її розгін з одночасним пійдомом вгору. Такий рух характеризується зміною двох швидкостей: відносної, тобто швидкості ковзання, і абсолютної. Відносна швидкість спочатку зростає, а потім зменшується до нуля в момент «залипання» частинки.

2. Абсолютна швидкість частинки весь час зростає і стає постійною після її «залипання». Для поверхні сита, у якого меридіаном є парабола, «залипання» частинки відбувається у досить вузькому діапазоні зміни кута β підйому меридіана (близько 90°). При збільшенні кутової швидкості обертання сита цей діапазон зростає дуже повільно. Перспективи подальших досліджень полягають у експериментальній перевірці отриманих теоретичних результатів.

Список літератури

1. *Василенко П. М.* Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев. Изд-во Укр. акад. сельск. наук. 1960. 283 с.

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

3. *Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O.* External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 2020. Vol. 60, no 4, P. 313-317. https://doi.org/10.14311/AP.2020.60. 0313.

4. *Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L.* Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

5. *Адамчук В. В.* Дослідження загального випадку розгону мінеральних добрив відцентровим розсіювальним органом. Вісник аграрної науки. 2003. № 12. С. 51-57.

6. *Гевко Б. М., Лотоцький Р. І., Пришляк В. М.* Математичне моделювання руху зерна по рухомим поверхням висівних апаратів. Сільськогосподарські машини. 2013. Вип. 26. С. 27-35.

7. *Воліна Т. М., Пилипака С. Ф., Бабка В. М., Несвідомін А. В.* Конструювання меридіана для заданого руху частинки по поверхні, яка обертається навколо вертикальної осі. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 3. P. 33-38.

8. *Pylypaka S., Klendiy M., Zaharova T.* Movement of the particle on the external surface of the cylinder, which makes the translational oscillations in horizontal planes. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. Part F2. P. 336-345.

References

1. *Vasilenko P. M.* (1960). The theory of particle motion on rough surfaces of agricultural machines. Kyiv. Publishing house of Ukr. acad. rural sciences. 283.

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

3. *Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O.* (2020). External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 60(4). 313-317. https://doi.org/10.14311/AP.2020.60. 0313.

4. *Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L.* (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6 (7-108). 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

5. *Adamchuk V. V.* (2003). Investigation of the general case of dispersal of mineral fertilizers by centrifugal scattering body. Bulletin of Agrarian Science. 12. 51-57.

6. *Gevko B. M., Lototsky R. I., Pryshlyak V. M.* (2013). Mathematical modeling of grain movement on moving surfaces of sowing machines. Agricultural machinery. 26. 27-35.

7. *Volina T. M., Pylypaka S. F., Babka V. M., Nesvidomin A. V.* (2021). Construction of meridian for given movement of particle on surface which rotates around the vertical axis. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(3). 33-38.

8. *Pylypaka S., Klendiy M., Zaharova T.* (2019). Movement of the particle on the external surface of the cylinder, which makes the translational oscillations in horizontal planes. Lecture Notes in Mechanical Engineering. F2. 336-345.

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ ПО ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ С ЗАДАННЫМ МЕРИДИАНОМ, КОТОРАЯ ВРАЩАЕТСЯ ВОКРУГ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ

Т. Н. Волина, С. Ф. Пилипака, В. Н. Бабка

Аннотация. В статье рассмотрено относительное движение частицы по поверхности, которая вращается вокруг вертикальной оси. Меридианом поверхности является ветка параболы, смещенная от оси симметрии на заданную величину. Составлены и решены численными методами дифференциальные уравнения относительного перемещения частицы. Построены траектории движения частицы и графики изменения скоростей. Выявлено закономерность движения частицы при ее подъеме по поверхности.

Ключевые слова: поверхность вращения, угловая скорость вращения, относительное движение, частица, дифференциальные уравнения, траектория скольжения.

MOVEMENT OF PARTICLE ON INNER SURFACE WITH PRESET MERIDIAN, WHICH ROTATES AROUND VERTICAL AXIS

T. M. Volina, S. F. Pylypaka, V. M. Babka

Abstract. The article considers the relative movement of a particle on a surface which rotates around a vertical axis. The meridian of the surface is the branch of the parabola, offset from the axis of symmetry by a given value. Differential equations of relative displacement of a particle are compiled and solved by numerical methods. The trajectories of the particle and the graphs of velocity change are constructed. The regularity of the particle's movement when it rises on the surface is clarified.

Key words: surface of rotation, angular velocity of rotation, relative movement, particle, differential equations, sliding trajectory.

Т. М. Воліна ORCID 0000-0001-8610-2208.
С. Ф. Пилипака ORCID 0000-0002-1496-4615.
В. М. Бабка ORCID 0000-0003-4971-4285.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 21-27*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.021

УДК 665.73:54-41

ТЕХНОЛОГІЧНА СУТНІСТЬ ОТРИМАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ТА ЇХ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

О. М. Калівошко, М. Ф. Калівошко

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: alek-k@ukr.net; m.f.kalivoshko@gmail.com.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року.
Бібл. 23, рис. 5, табл. 2.

Анотація. Показано, що в зв'язку з стрімким зростанням кількості транспортних засобів збільшуються об'єми використання паливо-мастильних матеріалів, які попри всі заходи та засоби перестороги, через розливи та проливи забруднюють шкідливими та токсичними продуктами навколишнє середовище. Досліджено, як нафтопродукти та продукти їх розпаду, що потрапляють в довкілля, забруднюють ґрунт та воду. Ефективність очищення ґрунтів і води залежить від способу, технології, методу, засобів та прийомів. Особливої популярності та поширення очищення ґрунтів і води від забруднення набуває метод сорбції (поглинання). Проаналізовано, як методом сорбції, за відносно невисоких витрат, забезпечується ефективне очищення ґрунту і води від нафтопродуктів. Обґрунтовано технології отримання вуглецевих сорбентів методом карбонізації з побічної продукції рослинного походження (тирси, соломи, листя), об'єми яких для синтезу вуглецевих сорбентів практично не обмежені. Висвітлено сутність процесу карбонізації вуглецевих сорбентів на основі рослинної сировини. Подані фізичні, хімічні, структурні, сорбційні та поглинальні характеристики рослинної сировини та отриманих з неї вуглецевих сорбентів. Розкриті екологічні, економічні переваги та ефективність вуглецевих сорбентів рослинного походження для очищення від нафтопродуктів, в порівнянні з іншими методами очищення.

Ключові слова: вуглецеві сорбенти, довкілля, екологічна безпека, економічні показники, карбонізація, нафтопродукти, сорбенти, сорбційна ємність.

Постановка проблеми

Нафтопродукти це поширені забруднювачі біосфери [1]. Як вказує [2], при використанні нафтопродуктів, значна їх частина потрапляє в навколишнє середовище [3]. Небезпеку становлять не лише нафтопродукти та продукти їх розпаду, а також домішки, які вони можуть містити [4]. При потраплянні в ґрунт та воду, не лише нафтопродукти, але і продукти їх розпаду [5], що утворюються в наслідок хімічних реакцій та біологічних перетворень [6], здатні перетворюватися в токсичні речовини та завдавати шкідливого впливу біоті. Очищення ґрунту та води від нафтопродуктів методом сорбції екологічно, економічно вигідне та ефективне [7]. Особливої ролі, поширення та значення набувають вуглецеві сорбенти на основі рослинної сировини [8]. Дослідження технологічної сутності процесів карбонізації, коли сировиною являється побічна продукція рослинного походження [9], фізико-хімічних [10] та поглинальних властивостей вуглецевих сорбентів [11], процесів сорбції ними нафтопродуктів [12], екологічної [13] та економічної їх оцінки потребують подальшого аналізу [14] та досліджень [15].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Водне та ґрунтове середовища надзвичайно складні природні комплекси довкілля з широким спектром складних взаємозв'язків та взаємовідносин між живими організмами та середовищем їх існування, що склалися в процесі еволюції та розвитку [16]. Вони невід'ємна частина біосфери в якій відбуваються стабільні, багатосторонні та взаємопов'язані перетворення процесів життєдіяльності [12]. Широке застосування продуктів нафтопереробки та збільшення їх використання, призвело до значного забруднення ними довкілля [2, 17], що викликало значні природні та екологічні зміни водного та ґрунтового середовищ [1, 2 9, 18]. Нафтопродукти та продукти їх розпаду і перетворень стали дієвими забруднювачами довкілля, в першу чергу, ґрунту та води [1, 19]. Очищення ґрунтових та водних екосистем, що зазнали забруднення в процесі їх використання, методом сорбції не втратило своєї актуальності [13, 14, 20]. Сорбенти як доступні, ефективні та безпечні засоби очищення були, а в останні десятиліття набувають ще більшого застосування в усіх сферах виробничої діяльності, в тому числі і для очистки ґрунтів і води від нафтопродуктів [3, 9, 21]. Увага приділяється як технологічній суті отримання, будові, властивостям

вуглецевих сорбентів з побічної продукції сільського та комунального господарства, деревообробної промисловості, так і їх застосуванню. [5, 6, 7, 8, 10, 11]. На високу ефективність, доступність, екологічну безпечність та доцільність використання вуглецевих сорбентів, коли сировиною для їх отриманих є різноманітна побічна продукція рослинного походження, що накопичується безпосередньо в процесі виробництва вказують[8, 10, 11, 22, 23]. Проте, природа отримання сорбентів, в процесі перетворення побічної продукції рослинного походження, її вплив на комплексне використання різних видів вуглецевих сорбентів для очищення водних і ґрунтових екосистем, їх сорбційну, екологічну і економічну характеристики та оцінку, недостатньо глибоко вивчено.

Мета досліджень

Метою наших досліджень було вивчення: технологічної сутності, техніки процесів та технологій при отриманні вуглецевих сорбентів з побічної продукції рослинного походження; фізико-хімічних, структурних, сорбційних, поглинальних характеристик рослинної сировини та отриманих з неї вуглецевих сорбентів; повноти очищення, екологічної, економічної переваги та ефективності використання вуглецевих сорбентів при очищенні водного середовища і ґрунтів від нафтопродуктів.

Результати досліджень

Тирса дерев, що є побічною продукцією деревообробної промисловості, солома, полова, як вторинна сировина сільськогосподарського виробництва, листя дерев мають високі сорбційні властивості. Вони, як сорбенти, можуть, при потребі, застосовуватися для очищення від забруднення нафтопродуктами ґрунту та води. За даними (рис. 1), нафто ємність та поглинальні характеристики найвищі у тирси з різних порід дерев, що мали вологість 60%, а найнижчі – у листя дерев.

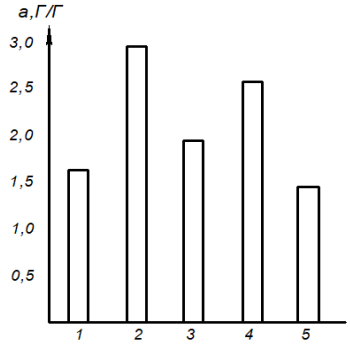


Рис. 1. Величина нафто ємності тирси сосни різних фракцій при вологості 50–60%: 1 – солома; 2 – тирса сосни; 3 – тирса берези; 4 – тирса горіха; 5 – листя дерев

Fig. 1. The oil capacity value of the pine sawdust various fractions at a humidity of 50-60%: 1 – straw, 2 – pine sawdust, 3 – birch sawdust, 4 – walnut sawdust, 5 – leaves.

Різниця в поглинальних властивостях вихідної сировини рослинного походження обумовлена, перш за все, наявністю складних сполук, основу яких становить вуглеводні, такі як геміцелюлоза, целюлоза, лігнін. За даними таблиці 1, вміст геміцелюлози, целюлози та лігніну найвищий у тирси хвойних порід. Особливо важлива роль належить смолистій сполуці лігніну в сорбції різних речовин. У тирсі листяних порід вміст геміцелюлози, целюлози та лігніну значно нижчий ніж у тирси сосни. Солома злакових та листя дерев, у порівнянні з тирсою сосни, містять аналогічних складних вуглеводних, відповідно, у де кілька раз менше, а тому вони і мають найменшу нафто ємність.

Таблиця 1. Відсоткове співвідношення вуглеводневих тканин у рослинній сировині.

Table 1. Percentage of hydrocarbon tissues in plant material.

№ п/п	Компоненти	Породи дерев		Солома злакових рослин	Листя дерев
		хвойні	листяні		
1	геміцелюлоза	до 42	до 31	до 18	до 16
2	целюлоза	46-51	36-41	34-36	до 21
3	лігнін	22-31	до 25	до 16	до 6

При використанні сорбентів рослинного походження для очищення ґрунтів і водного середовища від нафтопродуктів доцільно враховувати не лише їх сорбційні та поглинальні характеристики, а також практичність застосування. Листя дерев, через малу масу, легко переноситься (зноситься) вітром, тому на практиці, при вітряній погоді, його важко застосовувати для очищення.

За результатами проведених нами досліджень та інших дослідників[3, 4, 8], сорбенти мають відносно високу ефективність очищення ґрунту і води, коли їх сорбційна ємність дорівнює 2-3 г мг-екв /г та більше. Як свідчать дані рисунку 1, повністю відповідає таким сорбційним вимогам лише тирса сосни та в певній мірі горіха.

Суттєво підвищує сорбційні властивості матеріалів рослинного походження процес карбонізації.

Карбонізація – процес отримання вуглецевих сорбентів з рослинної сировини при її нагріванні понад 120°С.

Сутність процесу карбонізації в тому, що вуглеводнева частина побічної продукції рослинної природи, яка складається з геміцелюлози та целюлози, при карбонізації, в процесі деструкції полімерних ланцюгів, розкладається з виділенням різних смолистих речовин складної будови та великої кількості простих летких сполук.

Процес карбонізації досліджувався нами, через кожні 50 ^{0}С, в інтервалі від 100 до 500 ^{0}С.

Нами встановлено, що процес карбонізації, в усіх видах рослинної сировини, розпочинається при температурі 120-130 ^{0}С. Головні реакції розпаду целюлози протікають в межах температур 200-250 ^{0}С,

а лігніну в діапазоні 250-300 ^{0}C, що супроводжуються виділенням простих вуглецевих сполук (вуглекислого газу і оксиду вуглецю), зрідженої суміші та смол. Слід відзначити, що на різних стадіях процесу карбонізації величина енергії активації деструктивних перетворень змінюється, тому що при різних температурних діапазонах відбувається розклад різних компонентів рослинних тканин, а саме, геміцелюлози, а в подальшому целюлози і лігніну.

Отримані нами результати вказують на складність та багатогранність процесу карбонізації. Цей процес, мабуть, складається з комплексної сукупності елементарних та складних радикальних реакцій, що різняться кінетичними параметрами.

Особлива роль та значення при сорбції різного роду забруднювачів, в тому числі і нафтопродуктів, належить лігніну. Його вміст як у вихідній сировині рослинного походження, так відповідно і в отриманих з неї вуглецевих сорбентах, відіграє важливу роль в сорбційних та поглинальних характеристиках сорбентів, через особливий склад смолистих речовин.

Процес карбонізації, в певній мірі, залежить від типу рослинної сировини. На перших стадіях процесу карбонізації (до 350 ^{0}C) тирси з різних порід дерев, внаслідок випаровування вологи, вилучення летких простіших сполук та смолистих складових, утворюються в великій кількості пори, що обумовлює підвищення її сорбційної ємності нафтопродуктів до певного максимального значення. При подальшій карбонізації (350-500 ^{0}C), коли температура суттєво зростає, очевидно, через вигорання вуглецю та, відповідно, збільшення кількості макропор та зменшення мікропор, що змінює структуру карбонізатів у сторону зменшення мікропористості та знижує сорбційну ємкость. В соломі і листі дерев зміни в процесі карбонізації розпочинаються при дещо нижчій температурі і закінчуються до 280-300 ^{0}C. Карбонізація при температурі понад 300 ^{0}C, як і у тирсі дерев, через зменшення кількості мікропор в карбонізаті, знижує сорбційні властивості отриманих вуглецевих сорбентів. Тому, під впливом високих температур, частково деградує пориста структура вуглецевих сорбентів та змінюються її властивості, що приводить до зниження сорбційної ємності карбонізату. Оптимальним режимом карбонізації тирси з різних порід дерев є 300 (± 10 ^{o}C) та час 8-10 хвилин, а для соломи і листя дерев 250 ^{0}C.

При визначенні оптимального режиму карбонізації рослинної сировини приділяється увага як якісним характеристикам вуглецевих сорбентів, що проявляється в сорбційних та поглинальних властивостях, так і виходу її кількості, тобто маси.

Дослідження процесу карбонізації листя дерев здійснювали при температурі 250, 300 та 450 ^{o}C та при тривалості процесу карбонізації від 3 до 9 хвилин, через кожні 3 хвилини.

В результаті карбонізації вага листя зменшується, що графічно показано на рисунку 2. З кінетичних кривих втрати вологи (рис. 2), при різних режимах термообробки, видно, що карбонізацію листя не доцільно здійснювати до випалу більше 60%, тому що зменшується вихід карбонізату та відбувається деградація пористої структури.

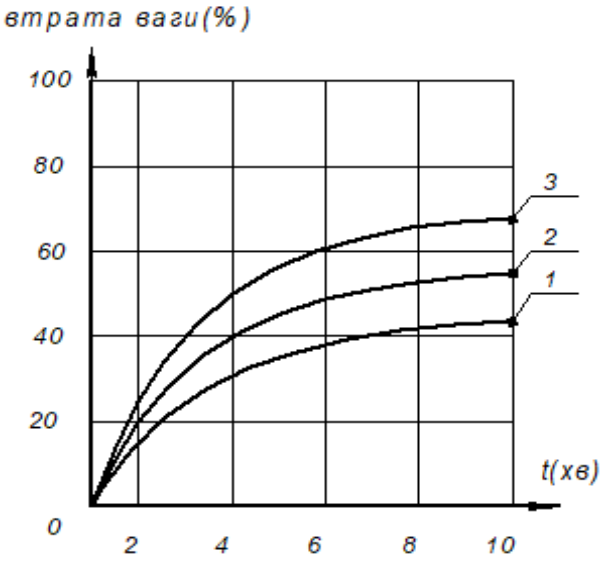


Рис. 2. Кінетичні криві карбонізації зразків листя дерев при температурі (^{0}C): 1 – 250, 2 – 300, 3 – 450

Fig. 2. Kinetic curves of carbonization of tree leaf samples at temperature (^{0}C): 1 – 250, 2 – 300, 3 – 450

Карбонізацію соломи проводили при температурі 250–450^{o}C, з інтервалом 100 ^{o}C, та при тривалості процесу карбонізації від 3 до 9 хвилин, через кожні 3 хвилини.

В результаті карбонізації вага соломи зменшується, що графічно показано на рисунку 3. Кінетичні криві втрати вологи соломи (рис. 3), при різних режимах термообробки, показують, що карбонізацію соломи не слід здійснювати до випалу понад 70%, тому що зменшується як вихід карбонізату, так і відбувається деградація мікропор.

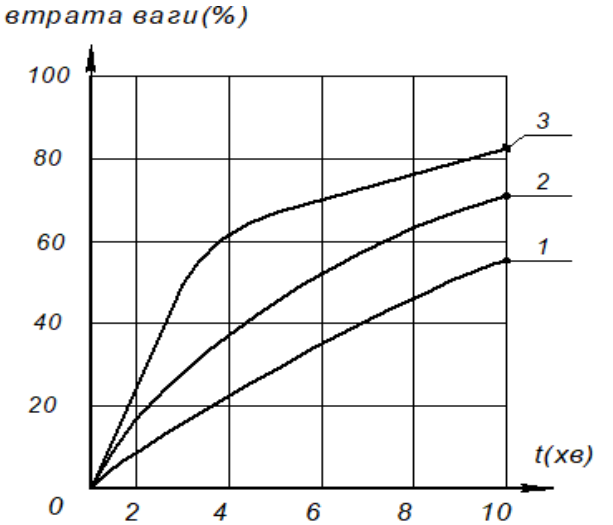


Рис. 3. Кінетичні криві карбонізації зразків соломи злакових культур при температурі (^{0}C): 1 – 250, 2 – 350, 3 – 450.

Fig. 3. Kinetic curves of carbonization of cereal straw samples at temperature (^{0}C): 1 – 250, 2 – 350, 3 – 450.

Процес карбонізації тирси хвойних і листяних порід дерев досліджували при температурі 250–450^{o}C, з інтервалом 50 ^{o}C та при тривалості процесу карбонізації від 3 до 9 хвилин, через кожні 3 хвилини.

В результаті карбонізації вага тирси зменшується, що графічно показано на рис. 4, рис. 5. З кінетичних кривих втрати вологи (рис. 4, рис. 5), видно, що при всіх режимах термообробки, карбонізацію тирси не доцільно здійснювати до випалу більше 70-75%, тому що зменшується вихід карбонізату та відбувається деструкція пористої структури.

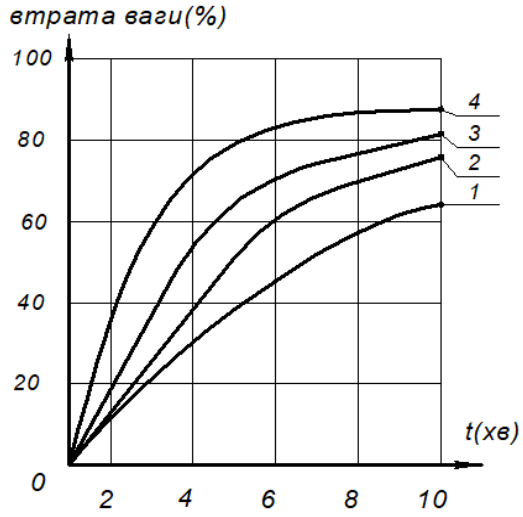


Рис. 4. Кінетичні криві карбонізації зразків тирси горіха при температурі (^{0}C): 1 – 250, 2 – 300, 3 – 350, 4 – 450.

Fig. 4. Kinetic curves of carbonization of walnut sawdust samples at temperature(^{0}C): 1 – 250, 2 – 300, 3 – 350, 4 – 450.

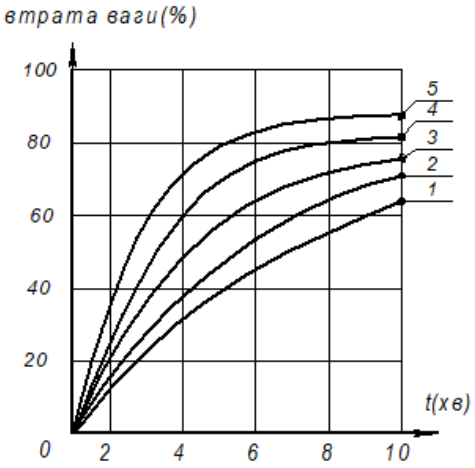


Рис. 5. Кінетичні криві карбонізації зразків тирси сосни при температурі (^{0}C): 1 – 250, 2 – 300, 3 – 350, 4 – 400, 5 – 450.

Fig. 5. Kinetic curves of carbonization of pine sawdust samples at temperature (^{0}C): 1 – 250, 2 – 300, 3 – 350, 4 – 400, 5 – 450.

Дослідження процесу карбонізації рослинної сировини різного походження дозволило встановити, що при кожній досліджуваній температурі, режим її карбонізації має певне оптимальне значення тривалості, при якому нафто ємність отриманого карбонізату є максимальною.

За результатами наших досліджень, вуглецеві сорбенти, що отримані шляхом карбонізації рослинної сировини, мають кращі фізико-хімічні та структурні показники, нафто ємність, а величина сорбції до нафтопродуктів зростає в декілька разів, в порівнянні з вихідною продукцією (рис. 6). Слід зазначити, що сорбційна ємність вуглецевих сорбентів з листя та соломи невисока і знаходиться в діапазоні 0,3-0,5 мг-екв/г. В той же час величина сорбції карбонізатів з тирси горіха та берези знаходиться у інтервалі 1,9-2,2 мг-екв/г, а максимальні її показники у тирси сосни та досягають 3,5 мг-екв/г. Доречно звернути увагу на те, що нафто ємність вихідної сировини тирси різних порід дерев не дуже різнилася між собою. Проте, карбонізат отриманий із тирси сосни має більш ніж у 2 рази вищу нафто ємність, в порівнянні з карбонізатами з тирси горіха та берези.

Таблиця 2. Поглинальні та сорбційні характеристики вуглецевих сорбентів із рослинної сировини, що мала вологість 50-60%.

Table 2. Absorption and sorption characteristics of carbon sorbents from vegetable raw materials with a humidity of 50-60%.

Показник	Тирса			Солома	Листя
	сосни	горіха	берези		
Нафтоємність, г/г	11,2	5,4	4,5	4,2	2,8
Vs (C_6H_6), см^3/г	0,09	0,05	0,04	0,04	0,02
Vs (H_2O), см^3/г	0,12	0,09	0,07	0,07	0,04
СОЄ, мг-екв/г	3,6	2,3	2,0	0,5	0,3
$S_{пит}$, м^2/г	13,1	10,1	10	10,4	6,1
Зольність, %	1	2,1	1	21,2	15,2

Величини нафто ємності та сорбційна здатность вихідної рослинної сировини, які показані на рисунку 1 свідчать, що у тирси сосни та горіха достатньо високі і тому вони можуть безпосередньо використовуватися для поглинання паливно-мастильних матеріалів. Процес термічної обробки рослинної сировини збільшує сорбційну ємність отриманих карбонізатів приблизно у півтора рази, а нафто ємності зростає в 2,3-4,1 рази і досягає у тирси сосни, як найліпшого сорбенту, понад 11 г/г.

Важливе значення для практичного застосування сорбентів має оцінка їх економічної та фінансової ефективності. При використанні побічної сировини рослинного походження в якості сорбентів, витрати при їх застосуванні, пов'язані передусім з їх внесенням, збиранням та утилізацією. При використанні вуглецевих сорбентів, окрім зазначених витрат, отримання вуглецевих сорбентів з побічної продукції рослинного походження пов'язано з додатковими енергетичними затратами, а отже і здорожченням собівартості сорбентів. Проте, наші дослідження показали, що вносити вуглецеві сорбенти більш раціонально, в порівнянні з побічною сировиною рослинного походження, з яких вони отримані. Вуглецеві сорбенти мають нафто ємність у 3–4 рази вищу, в порівнянні з вихідною сировиною рослинного походження, тому їх вноситься відповідно

в 3–4 рази менше, при тій самій сорбційній та нафто поглинальній здатності.

Внесення, а особливо збирання, сорбентів складний та, до певної міри, затратний процес. Сумарні витрати на карбонізацію побічної сировини рослинного походження та внесенні значно меншого об'єму вуглецевих сорбентів для знезараження нафтопродуктів, не перевершують затрати на використання в якості сорбентів побічної продукції рослинного походження.

Слід враховувати також, що використання карбонізатів для поглинання нафтопродуктів, пов'язане як з меншими витратами на застосування (в 3–4 рази менші об'ємами їх внесення та збирання), так і на утилізацію, в порівнянні з побічною продукцією рослинного походження.

Висновки

1. Карбонізація побічної продукції рослинного походження, проведена при температурі в межах 200-300 ^{0}C на протязі 8-10 хв., покращує фізичні, хімічні, структурні, поглинальні та сорбційні характеристики вуглецевих сорбентів.

2. Вуглецеві сорбенти отримані методом карбонізації мають вищу сорбційну ємність майже у 1,5, а нафто ємність – 4 рази, в порівнянні з відповідними показниками вихідної продукції рослинного походження.

3. Вуглецеві сорбенти з тирси сосни мають у 1,5-4 рази вищі сорбційні характеристики в порівнянні з карбонізатами отриманими з тирси горіха і берези, соломи та листя дерев.

4. Економічно, фінансово та екологічно, при очищенні ґрунту і води від забруднення нафтопродуктами, більш доцільно використовувати вуглецеві сорбенти, ніж безпосередньо побічну продукцію рослинного походження.

Список літератури

1. *Hassan A.* Review of the global oil and gas industry: a concise journey from ancient time to modern world. Petroleum Technology Development Journal. 2019. Vol. 3(2). P. 123-141.

2. *Diemer R.* Transport in the European Union – current trends and issues. Mobility and Transport. 2019. Vol. B-1049. P. 143-191.

3. *Cruz J. F., Matejova L., Pirilä M., Ainassaari K., Canepa C., Mousavi S. M.* A comparative study on activated carbons derived from a broad range of agro-industrial wastes in removal of large-molecular-size organic pollutants in aqueous phase (water, air, and soil pollution). Water Air and Soil Pollution. 2015. Vol. 226(11). P. 213-235. doi 10.1007/s11270-015-2540-1.

4. *Morteza A., Mohammad Reza Masnavi M. R., Khalighi N.* Use of natural purification of water cycle and water management as a solution towards eco-design. Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society. 2012. Vol. 7. P. 6-18. doi 10.1007/978-94-007-3010-6_18.

5. *Koumanova B.* Fate of chemicals in the aquatic environment. Chemicals as Intentional and Accidental Global Environmental Threats. 2016. Vol. XVIII. P. 93-103.

6. *Azat S., Pavlenko V. V., Kerimkulova A. R., Mansurov Z. A.* (2012). Synthesis and structure determination of carbonized nano mesoporous materials based on vegetable raw materials. Advanced Materials Research. 535. 1041-1045. doi 10.4028/www. scientific. net/AMR.535-537.1041.

7. *Pinchevska O., Sedliačik J., Horbachova O., Spirochkin A., Rohovskyi I.* Properties of hornbeam (Carpinus betulus) wood thermally treated under different conditions. Acta Facultatis Xylologiae Zvolen. 2019. Vol. 61(2). P. 25-39. doi: 10.17423/afx.2019.61.2.03.

8. *Ngene S., Tota-Maharaj K., Eke P., Hills C.* Environmental and economic impacts of crude oil and natural gas production in developing countries. International Journal of Economy, Energy and Environment. 2016. Vol. 1(3). P. 64-73. doi 10.11648/j. ijeee.20160103.13.

9. *Sun Y., Webley P. A.* Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. Chemical Engineering Journal. 2010. Vol. 162(3). P. 883-892.

10. *Mohan D., Pittman C. U., Steele P. H.* Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. Energy and Fuels. 2006. Vol. 20(3). P. 848-889.

11. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P.* Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. INMATEH Agricultural Engineering. 2019. Vol. 57(1). P. 141-146.

12. *Ahmad F., Daud W. W., Ahmad M. A., Radzi R.* Shell-based activated carbon by CO_2 activation in removing of cationic dye from aqueous solution: kinetics and equilibrium studies. Chemical Engineering Research and Design. 2012. Vol. 90(10). P. 1480-1490.

13. *Nieto-Delgado C., Rangel-Mendez J. R.* In situ transformation of agave bagasse into activated carbon by use of an environmental scanning electron microscope. Microporous and Mesoporous Materials. 2013. Vol. 167. P. 249-253.

14. *Haiping Y., Yan R., Chen H., Zheng C.* Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. Fuel Journal. 2007. Vol. 86(12-13). P. 1781-1788. doi 10.1016/j.fuel.2006.12.013.

15. *Widner K., Naisse C., Rumpel C., Glaser B.* Chemical modification of biomass residues during hydrothermal carbonization. Organic Geochemistry. 2013. Vol. 54. P. 91-100. doi 10.1016/j.orggeochem.2012.10. 006.

16. *Coq L. L., Duga A.* Syngas treatment unit for small scale gasification-application to IC engine gas quality requirement. Journal of Applied Fluid Mechanics. 2012. Vol. 5(1). P. 95-103.

17. *Dias J. M., Alvim-Ferraz M., Almeida M. F., Rivera-Utrilla J., Sánchez-Polo M.* Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. Journal of Environmental Management. 2007. Vol. 85(4). P. 833-846.

18. *Klavins M., Porshnov D*. Development of a new peat-based oil sorbent using peat pyrolysis. Environmental Technology. 2013. Vol. 34(9-12). P. 1577-1582. doi 10.1080/09593330.2012.758668.

19. *Kovalenko O., Novoseltseva V., Kovalenko N*. Biosorbents – prospective materials for heavy metal ions extraction from wastewater. Food Science and Technology. 2018. Vol. 12(1). P. 118-122. doi 10.15673/fst.v12i1.841.

20. *Rogovskii I. L., Kalivoshko O. M., Maksimovich K. Yu., Maksimovich E. Yu*. Research of mixed carbon sorbents for removal of oil products from water and soil for preservation of environmental infrastructure. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 720. P. 012108. https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012108.

21. *Rogovskii I. L., Kalivoshko S. M., Voinash S. A., Korshunova E. E., Sokolova V. A., Obukhova I. A., Kebko V. D*. Research of absorbing properties of carbon sorbents for purification of aquatic environment from oil products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. P. 062040. doi:10.1088/1755-1315/548/6/062040.

22. *Kalivoshko O. M., Kalivoshko M. F*. Technical and insurance evaluation of carbon sorbents on basis of vegetable raw materials for purification of petroleum products. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 2. P. 83-88. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy 2021.02.083.

23. *Kalivoshko O. M., Kalivoshko M. F*. Technical and economic evaluation of sawdust of various tree species as sorbents for removing oil product. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 3. P. 137-142. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy 2021.03.137.

References

1. *Hassan A.* (2019). Review of the global oil and gas industry: a concise journey from ancient time to modern world. Petroleum Technology Development Journal. 3(2). 123-141.

2. *Diemer R*. (2019). Transport in the European Union – current trends and issues. Mobility and Transport. B-1049. 143-191.

3. *Cruz J. F., Matejova L., Pirilä M., Ainassaari K., Canepa C., Mousavi S. M.* (2015). A comparative study on activated carbons derived from a broad range of agro-industrial wastes in removal of large-molecular-size organic pollutants in aqueous phase (water, air, and soil pollution). Water Air and Soil Pollution. 226(11). 213-235. doi 10.1007/s11270-015-2540-1.

4. *Morteza A., Mohammad Reza Masnavi M. R., Khalighi N*. (2012). Use of natural purification of water cycle and water management as a solution towards eco-design. Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society. 7. 6-18. doi 10.1007/978-94-007-3010-6_18.

5. *Koumanova B*. (2006). Fate of chemicals in the aquatic environment. Chemicals as Intentional and Accidental Global Environmental Threats. XVIII. 93-103.

6. *Azat S., Pavlenko V. V., Kerimkulova A. R., Mansurov Z. A*. (2012). Synthesis and structure determination of carbonized nano mesoporous materials based on vegetable raw materials. Advanced Materials Research. 535. 1041-1045. doi 10.4028/www.scientific.net/AMR.535-537.1041.

7. *Pinchevska O., Sedliačik J., Horbachova O., Spirochkin A., Rohovskyi I*. (2019). Properties of hornbeam (Carpinus betulus) wood thermally treated under different conditions. Acta Facultatis Xylologiae Zvolen. 61(2). 25-39. doi: 10.17423/afx.2019.61.2.03.

8. *Ngene S., Tota-Maharaj K., Eke P., Hills C*. (2016). Environmental and economic impacts of crude oil and natural gas production in developing countries. International Journal of Economy, Energy and Environment. 1(3). 64-73. doi 10.11648/j.ijeee.20160103.13.

9. *Sun Y., Webley P. A*. (2010). Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. Chemical Engineering Journal. 162(3). 883-892.

10. *Mohan D., Pittman C. U., Steele P. H*. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. Energy and Fuels. 20(3). 848-889.

11. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P*. (2019). Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. INMATEH Agricultural Engineering. 57(1). 141-146.

12. *Ahmad F., Daud W. W., Ahmad M. A., Radzi R.* (2012). Shell-based activated carbon by CO_2 activation in removing of cationic dye from aqueous solution: kinetics and equilibrium studies. Chemical Engineering Research and Design. 90(10). 1480-1490.

13. *Nieto-Delgado C., Rangel-Mendez J. R*. (2013) In situ transformation of agave bagasse into activated carbon by use of an environmental scanning electron microscope. Microporous and Mesoporous Materials. 167. 249-253.

14. *Haiping Y., Yan R., Chen H., Zheng C*. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. Fuel Journal. 86(12-13). 1781-1788. doi 10.1016/j.fuel.2006.12.013.

15. *Widner K., Naisse C., Rumpel C., Glaser B.* (2013). Chemical modification of biomass residues during hydrothermal carbonization. Organic Geochemistry. 54. 91-100. doi 10.1016/j.orggeochem.2012.10.006.

16. *Coq L. L., Duga A*. (2012). Syngas treatment unit for small scale gasification-application to IC engine gas quality requirement. Journal of Applied Fluid Mechanics. 5(1). 95-103.

17. *Dias J. M., Alvim-Ferraz M., Almeida M. F., Rivera-Utrilla J., Sánchez-Polo M*. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. Journal of Environmental Management. 85(4). 833-846.

18. *Klavins M., Porshnov D*. (2013). Development of a new peat-based oil sorbent using peat pyrolysis. Environmental Technology. 34(9-12). 1577-1582. doi 10.1080/09593330.2012.758668.

19. *Kovalenko O., Novoseltseva V., Kovalenko N.* (2018). Biosorbents – prospective materials for heavy

metal ions extraction from wastewater. Food Science and Technology. 12(1). 118-122. doi 10.15673/fst.v12i1.841.

20. *Rogovskii I. L., Kalivoshko O. M., Maksimovich K. Yu., Maksimovich E. Yu.* (2021). Research of mixed carbon sorbents for removal of oil products from water and soil for preservation of environmental infrastructure. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 720. 012108. https://doi.org/10. 1088/1755-1315/720/1/012108.

21. *Rogovskii I. L., Kalivoshko S. M., Voinash S. A., Korshunova E. E., Sokolova V. A., Obukhova I. A., Kebko V. D.* (2020). Research of absorbing properties of carbon sorbents for purification of aquatic environment from oil products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 548. 062040. doi:10.1088/1755-1315/548/6/062040.

22. *Kalivoshko O. M., Kalivoshko M. F.* (2021). Technical and insurance evaluation of carbon sorbents on basis of vegetable raw materials for purification of petroleum products. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(2). 83-88. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy 2021.02.083.

23. *Kalivoshko O. M., Kalivoshko M. F.* (2021). Technical and economic evaluation of sawdust of various tree species as sorbents for removing oil product. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(3). 137-142. http://dx.doi.org/ 10.31548/machenergy 2021.03.137.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

А. Н. Каливошко, Н. Ф. Каливошко

Аннотация. Показано, что в связи со стремительным увеличением количества транспортных средств увеличиваются объемы использования горюче-смазочных материалов, которые вопреки всем средствам и приемам предосторожности, через розливы и проливы загрязняют окружающую среду. Исследовано, как нефтепродукты и продукты их разложения, которые попадают в окружающую среду, загрязняют почву и воду. Эффективность очистки почвы и воды зависит от способа, технологии, метода, средств и приемов. Особую популярность и распространение очистки почв и воды от загрязнения набирает метод сорбции (поглощения). Проанализировано, как методом сорбции, при относительно невысоких затратах, обеспечивается эффективная очистка почвы и воды от нефтепродуктов. Обоснована технология получения углеродных сорбентов методом карбонизации с побочной продукции растительного происхождения (опилки, солома, листья), объемы которых для синтеза углеродных сорбентов практически не ограничены. Освещена сущность процесса карбонизации углеродных сорбентов на основе растительного сырья. Даны физические, химические, структурные, сорбционные и поглощающие характеристики растительного сырья и полученных с него углеродных сорбентов. Раскрыты экологические, экономические преимущества и эффективность углеродных сорбентов растительного происхождения для очистки от нефтепродуктов, в сравнении с другими методами очистки.

Ключевые слова: углеродные сорбенты, внешняя среда, экологическая безопасность, экономические показатели, карбонизация, нефтепродукты, сорбенты, сорбционная емкость.

TECHNOLOGICAL ESSENCE OF CARBON PRODUCTION SORBENTS BASED ON VEGETABLE RAW MATERIALS AND THEIR ECONOMIC EFFICIENCY

O. M. Kalivoshko, M. F. Kalivoshko

Abstract. It is shown that due to the rapid increase in the number of vehicles, the use of fuels and lubricants is increasing, which, despite all measures and precautions, pollute the environment with harmful and toxic products through spills and spills. It has been studied how oil products and their decomposition products that enter the environment pollute the soil and water. The efficiency of soil and water treatment depends on the method, technology, method, tools and techniques. The method of sorption (absorption) is becoming especially popular and widespread in the purification of soils and water from pollution. It is analyzed how the method of sorption, at relatively low cost, provides effective purification of soil and water from petroleum products. The technologies of obtaining carbon sorbents by the method of carbonization from by-products of plant origin (sawdust, straw, leaves), the volumes of which for the synthesis of carbon sorbents are practically not limited, are substantiated. The essence of the process of carbonization of carbon sorbents on the basis of vegetable raw materials is highlighted. Physical, chemical, structural, sorption and absorption characteristics of plant raw materials and carbon sorbents obtained from it are presented. The ecological, economic advantages and efficiency of carbon sorbents of vegetable origin for purification from oil products, in comparison with other purification methods are revealed.

Key words: carbon sorbents, environment, ecological safety, economic indicators, carbonization, oil products, sorbents, sorption capacity.

О. М. Калівошко ORCID 0000-0003-0417-4529.
М. Ф. Калівошко ORCID 0000-0001-8450-940X.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 29-34*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.029

УДК 631.362.3.004.4

РЕГРЕСІЙНІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА

Є. В. Михайлов, Н. О. Задосна

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна.

Стаття зі спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: geleantus2017@gmail.com.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року.
Бібл. 17, рис. 4, табл. 0.

Анотація. В роботі наведені регресійні моделі технологічних процесів післязбиральної обробки зерна (ПЗОЗ). У технологічній моделі функціонування системи ПЗОЗ взаємопов'язані показники якості роботи обладнання з вірогідністю знаходження на допустимому рівні умов роботи, технологічного стану системи і внутрішніх перешкод. Представлена технологічна модель системи ПЗОЗ і регресійні моделі функціонування зерноочисних машин (ЗОМ) у вигляді одної і трьох підсистем.

Розроблена технологічна модель функціонування технічної оснащеності (ТО) ПЗОЗ показує необхідність визначення технологічних допусків показників якості роботи зерноочисних машин (ЗОМ) в умовах їх нормального функціонування, що має бути враховано при розробці методів розрахунку параметрів ТО процесу ПЗОЗ.

Регресійні моделі технологічних процесів ПЗОЗ в нормованому вигляді є основою для отримання математичних моделей прогнозу показників якості функціонування машин і агрегатів в польових умовах і проведення машинного експерименту методом імітаційного моделювання.

Ключові слова: післязбиральної обробки зерна, матеріал, модель, показники функціонування.

Постановка проблеми

При створенні нових технологічних комплексів для ПЗОЗ необхідно використовувати методики, що враховують реальні умови функціонування машин і устаткування. Найбільш достовірні результати при цьому може дати метод імітаційного моделювання, що враховує комплекс якісних показників функціонування зерноочисних машин [1, 2].

Аналіз останніх досліджень

В останніх дослідженнях встановлено, що ефективність функціонування комплексу машин для ПЗОЗ щільно взаємопов'язана з умовами та показниками роботи використовуємого обладнання. Побудова лінійних моделей об'єктів технічної оснащеності ПЗОЗ в деякій мірі спотворює фізичну сутність явищ, що відбуваються в системі, але, проте, це дозволяє вирішувати складні завдання проектування технологічних об'єктів і проводити якісну і кількісну оцінку їх вихідних координат [3-9]

Мета досліджень

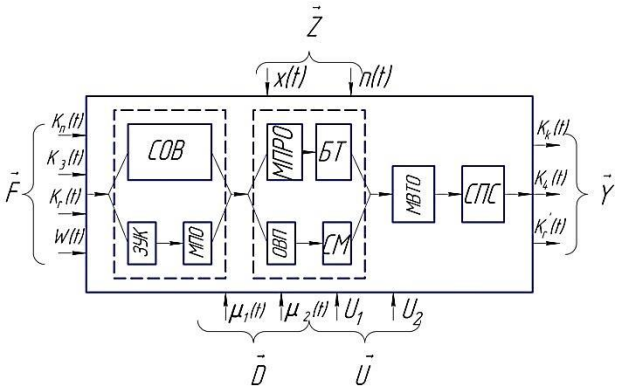
Метою досліджень є підготовка необхідних даних для моделювання програми та складання плану реалізації експериментів по обґрунтуванню параметрів ПЗОЗ.

Результати досліджень

У технологічній моделі функціонування системи ПЗОЗ (рис. 1) Показники якості роботи обладнання тісно взаємопов'язані з вірогідністю знаходження на допустимому рівні умов роботи, технологічного стану системи і внутрішніх перешкод.

Для заданої технологічної моделі функціонування ТО ПЗОЗ введені індекси машин, які служать для обробки матеріалу "Невійка" у відділенні, складеному з молотарно-сепаруючого пристрою, зернозбирального комбайну (ЗУК) та машини попереднього очищення (МПО), або експериментального молотарно-сепаруючого блоку (СОВ).

Подальша обробка такого матеріалу або купи, що надходить від комбайна з поля, може проводитися на стаціонарному комплексі типу ЗАВ, до складу якого входять машина первинного очищення (МПрО) і трієрний блок (БТ). В інших випадках матеріал може оброблятися на ворохоочиснику (ОВП) і зерноочиснику (СМ). Насіннєвий матеріал передбачається додатково пропустити через машину вторинного очищення (МВТО) і пневмостіл (СПС).



$\vec{Z}$ −вектор функція стану системи;

$\vec{F}$ −вектор функція умов роботи;

$\vec{Y}$ −вектор функція показників роботи;

$\vec{U}$ −вектор функція управління;

$\vec{D}$ −вектор функція внутрішніх процесів (перешкод).

Рис. 1. Технологічна модель системи післязбиральної обробки зерна

$\vec{Z}$ −vector of the system state function;

$\vec{F}$ −vector of the function of operating conditions;

$\vec{Y}$ −vector of the function of performance indicators;

$\vec{U}$ −vector of the control function;

$\vec{D}$ −vector of the function of internal processes (noise).

Fig. 1. Technological model of the post-harvest grain processing system

Розроблена технологічна модель функціонування ТО ПЗОЗ показує необхідність визначення технологічних допусків показників якості роботи зерноочисних машин (ЗОМ) в умовах їх нормального функціонування, що має бути враховано при розробці методів розрахунку параметрів ТО процесу ПЗОЗ.

Розглянемо модель функціонування окремо працюючої ЗОМ, представленої у вигляді однієї підсистеми (рис. 2).

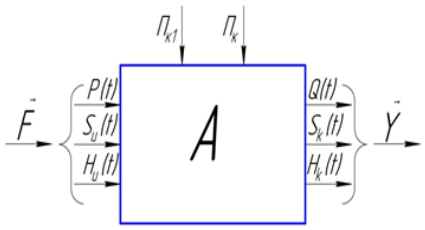


Рис. 2. Модель функціонування зерноочисної машини у вигляді однієї підсистеми.

Fig. 2. Model of functioning of the grain cleaning machine in the form of one subsystem.

Розроблена модель функціонування ТО ПЗОЗ показує необхідність визначення технологічних допусків показників якості роботи ЗОМ в умовах їх нормального функціонування, що має бути враховано при розробці методів розрахунку параметрів ТО процесу ПЗОЗ.

На вході моделі діє вектор-функція умов роботи, складовими якої є подача P(t), вихідна засміченість Su(t), натура зерна Hu(t). Як зазначено в дослідженнях, вологість W вихідного зернового матеріалу в південних районах України практично не впливає на показники функціонування ЗОМ (за винятком рисузерна). Втрати повноцінного зерна у відходи і ефект очищення фіксуються в поле заданого допуску.

Вихідні параметри представлені вектором-функцією показників якості роботи машини. Це продуктивність Q(t), кінцева засміченість Sk(t) і натура очищеного матеріалу Hk(t).

Керуючими впливами в моделі прийняті конструктивно-технологічні параметри $П_{Кl}$ (геометричні розміри і тип ґратчастих отворів, параметри повітряних потоків, ступінь відкриття поживних заслінок і т.п.) і кінематичні параметри решіт, дек, пневмостолів, барабанів трієрів і ін. .

Для оцінки якості розрахункова схема моделі функціонування ЗОМ доповнюється вектором

$$y_n = \{Q_{n(t)}, S_{kn(t)}, H_{k(t)}\}, \quad (1)$$

який регламентує роботу ворохоочисника. Відхилення вектору $\vec{y}$ від вектору $\vec{y}_u$ визначає точність роботи ЗОМ [14], причому відхилення

$$\mathrm{E}_т = \vec{\mathrm{y}} - \vec{\mathrm{y}}_и ;, \quad (2)$$

утворює в загальному випадку вектор

$$E_m = \left\{e\frac{1}{m}(t), e\frac{2}{m}, \dots e\frac{i}{m}(t), \dots e\frac{l}{m}(t)\right\} \quad (3)$$

Вектор можна розглядати як вихідний вектор якоїсь ідеальної машини, що забезпечує її функціонування без помилок ($E_т$ = 0) відповідно до встановлених для неї технологічними, експлуатаційними, енергетичними та іншими вимогами [14].

Розглянемо модель функціонування ЗОМ, представлену в вигляді трьох підсистем (рис. 3.), Кожна з яких має один вихід Q(t), Sk(t), Hk(t), і три входи P(t), Su(t), Hu(t).

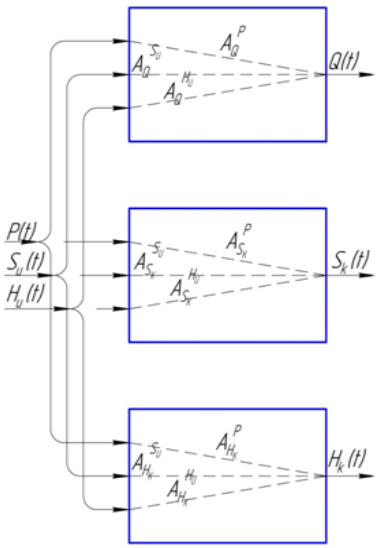


Рис. 3. Модель функціонування зерноочисної машини у вигляді трьох підсистем.

Fig. 3. Model of functioning of the grain cleaning machine in the form of three subsystems.

Оператор A_i (i = Q, Sk, Hk) визначає властивості кожної з підсистем і характеризує перетворення вхідних впливів P(t) Su(t) Hu(t) на вихідні. Вхідний

процес F(t) ЗОМ перетворюється за допомогою оператора A_i в вихідний процес y(t) так [15]:

$$y_{(t)} = A_i[F_{(t)}], \quad (4)$$

Встановлено, що процеси F(t) і Y(t) є випадковими і задаються безліччю їх реалізації, тобто

$$\vec{F}_{(t)} = \{P_{(t)}, S_{(t)}, H_{u(t)}\}$$
$$\vec{Y}_{(t)} = \{Q_{(t)}, S_{k(t)}, H_{k(t)}\} \quad (5)$$

Оператор системи визначає установку, по якій кожної реалізації вхідного сигналу ставляться у однозначну або взаімооднозначну відповідність реалізації вихідного сигналу [15]. Для кожної моделі, представленої на рис. 3, при такому визначенні оператора можна записати наступні співвідношення:

Q(t))= AQP[P(t) + AQSu [Su(t)]+ AQHu [Hu(t)]

Sk(t)=APSk[p(t)+ASuSk-[Su(t)]+ASkHu[Hu(t)] (6)

Hk(t)=APHk[p(t)+ASuHk-[Su(t)]+AHkHu[Hu(t)]

З цього виразу (6) видно, що оператори AQi, Aski, АНкі встановлюють відповідність між вхідними впливами P(t), Su(t), Hu(t) і вихідними змінними Q(t), Sk(t), Hk(t).

Аналітичний метод побудови математичних моделей ЗОМ зводиться практично до опису їх робочих органів і навіть елементів цих органів. При цьому виникає складна задача через численні внутрішні і зовнішні сил, що діють на зерновий матеріал при різних етапах проходження його по робочих органах. Так, до уваги береться стохастична природа умов функціонування машин, і отримати прогноз показників якості роботи досліджуваних об'єктів в умовах їх нормального функціонування при використанні аналітичного методу неможливо [17].

У зв'язку з цим побудова моделей здійснюється методом ідентифікації – ототожненні моделі об'єкту-оригіналу по відомим "вхідними" і "вихідними" даними [16].

Побудова математичної моделі технологічного процесу об'єкта ПУОЗ (зерноочисної машини або агрегату) методом ідентифікації передбачає наступне. При сталих режимах роботи (з урахуванням культури, її призначення, якості вихідного матеріалу, виконання допусків на показники функціонування ЗОМ і ін.), синхронно відбирають реалізації вхідних і вихідних змінних. За цих реалізацій визначаються оцінки оператором А. Близькість оцінки оператора А до його істинного значення визначає відповідність реального об'єкту і моделі.

Кількісною оцінкою може бути дисперсійна міра ідентичності моделі [15]:

$$\xi_D = \frac{D_y^1}{D_y}, \quad (7)$$

де D_y – дисперсія вихідної змінної;

D_y^1 – частина дисперсії D_y, обумовлена вхідними змінними P(t), Su(t), Hu(t) або дисперсія прогнозу.

Для ідентифікації статичних моделей використовується регресійний аналіз. Для ідентифікації динамічних моделей використовуються відомі співвідношення в тимчасовій і частотній областях (кореляційні функції, спектральні щільності, амплітудно-частотні характеристики, передавальні функції та ін.) [14].

Сукупність названих двох типів моделей дає досить вичерпні характеристики при дослідженні робочих органів з метою їх оптимізації, для прогнозу показників якості роботи машин, для складання технічних завдань на проектування та ін.

Уявімо багатовимірну модель об'єктів у вигляді одновимірних моделей (рис. 4.), використовуючи для цього принцип суперпозиції. Оператор А (рис. 2.) можна уявити при цьому сукупністю приватних операторів для випадку, якщо на "вході" і "виході" по три змінних – відповідно: P(t), Su(t), Hu(t) і Q(t), Sk(t), Hk(t).

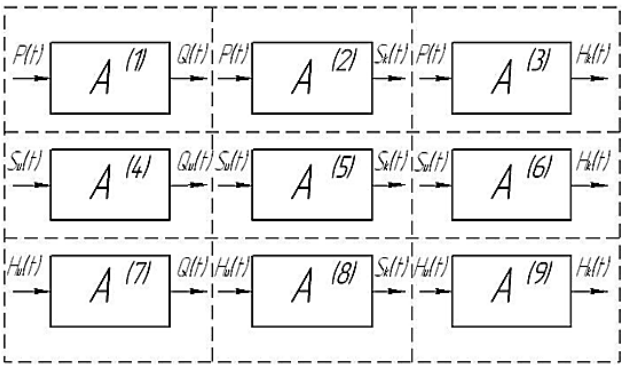


Рис. 4. Одномірні розрахункові моделі
Fig. 4. One-dimensional calculation models

$$A = \{A_0^{(1)}, A_0^{(2)}, A_0^{(3)}, A_0^{(4)}, A_0^{(5)}, A_0^{(6)}, A_0^{(7)}, A_0^{(8)}, A_0^{(9)}, \} \quad (8)$$

У разі, якщо на "вході" дві змінні P(t) и Su(t), а на "виході" три – Q(t), Sk(t), П(t), то отримаємо вираз:

$$A_0 = \{A_0^{(1)}, A_0^{(2)}, A_0^{(3)}, A_0^{(4)}, A_0^{(5)}, A_0^{(6)}, \} \quad (9)$$

Завдання побудови моделі регресії технологічного процесу будь-якої сільськогосподарської машини зводиться до визначення оцінки умовного математичного очікування $m_{y/f}$ вихідної реалізації $y_{(t)}$ відносно фіксованих рівнів вхідних реалізації $f_{(t)}$ [14].

Умовне математичне сподівання $m\,y/f=M\cdot\left[\frac{y(t_1)}{f}\right]$ випадкового процесу $y_{(t)}$ по фіксованому значенню іншого процесу $F_{(t)} = f$ у фіксований момент часу t_1 визначається виразом:

$$m_{y/f} = \int_{-\infty}^{\infty} \cdot [yf(y)f; t_1]dy. \quad (10)$$

Цей вираз представляє функцію – регресію – залежність умовного математичного очікування реалізації випадкового вхідного процесу $y_{(t)}$ від значень реалізації випадкового вихідного процесу $f_{(t)}$. Рівняння регресії можуть бути лінійними і нелінійними.

Оскільки для вирішення нашої задачі не висувається програма досліджень по обґрунтуванню раціональних або оптимальних значень конструктивних, кінематичних і інших параметрів робочих органів сільськогосподарських машин, а розглядається прогнозне завдання з визначення показників якості роботи об'єкту, то зупинимося на лінійної регресії.

Рівняння лінійної регресії реалізації $y_{(t)}$ стаціонарного випадкового процесу щодо значення f_i реалізації $f_{(t)}$ іншого випадкового процесу має вигляд [196]:

$$m_{y/f} = m_y + \frac{S_y R_{yf}}{S_f}(f - m_f), \quad (11)$$

де m_y і m_f – середні значення вхідних і вихідних процесів;

S_y і S_f – середньоквадратичне відхилення;

R_{yf} – значення коефіцієнта кореляції.

Якщо уявити

$$\frac{S_y R_{yf}}{S_f} = b$$

і

$$m_y - b m_f = a,$$

тоді

$$m_{y/f} = a + bf, \qquad (12)$$

де a і b – коефіцієнти лінійної регресії.

Значення коефіцієнтів a і b обчислюється відомими методами (наприклад, методом найменших квадратів).

Використовуючи принцип суперпозиції, багатовимірну математичну модель об'єкта можна уявити . як сукупність його одновимірних моделей.

Таким чином, багатопараметричну регресійну модель технологічного процесу досліджуваного об'єкта з трьома вхідними та вихідними перемінними, з урахуванням виразу (7), можна представити у вигляді:

$$\left.\begin{aligned} m_{Q/P} &= a_{PQ} + b_{PQ} \cdot P \\ m_{S_k/P} &= a_{PS_k} + b_{PS_k} \cdot P \\ m_{H_k/P} &= a_{PH_k} + b_{PS_k} \cdot P \\ m_{Q/S_u} &= a_{S_uQ} + b_{S_uQ} \cdot S_u \\ m_{S_k/S_u} &= a_{S_uS_k} + b_{S_uS_k} \cdot S_u \\ m_{H_k/S_u} &= a_{S_uH_k} + b_{S_uH_k} \cdot S_u \\ m_{Q/H_u} &= a_{H_uQ} + b_{H_uS_k} \cdot H_u \\ m_{S_k/H_u} &= a_{H_uS_k} + b_{H_uS_k} \cdot H_u \\ m_{H_k/H_u} &= a_{H_uH_k} + b_{H_uH_k} \cdot H_u \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

Для об'єкта з двома вхідними і трьома вихідними змінними багатопараметричну регресійну модель, з урахуванням виразу (10), можна уявити так:

$$\left.\begin{aligned} m_{Q/P} &= a_{PQ} + b_{PQ} \cdot P \\ m_{S_k/P} &= a_{PS_k} + b_{PS_k} \cdot P \\ m_{\text{п}P} &= a_{P\text{п}} + b_P \cdot P \\ m_{Q/S_u} &= a_{S_uQ} + b_{S_uQ} \cdot S_u \\ m_{S_k/S_u} &= a_{S_uS_k} + b_{S_uS_k} \cdot S_u \\ m_{\text{п}/S_u} &= a_{S_u\text{п}} + b_{S_u\text{п}} \cdot S_u \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

Отримані математичні моделі застосовні до об'єктів, дослідженими нами в умовах нормального функціонування при випробуваннях їх в південному регіоні України.

Висновки

1. Регресійні моделі технологічних процесів ПЗОЗ в нормованому вигляді є основою для отримання математичних моделей прогнозу показників якості функціонування машин і агрегатів в польових умовах і проведення машинного експерименту методом імітаційного моделювання.

Список літератури

1. *Михайлов Е. В.* Методология обоснования состава и функциональных параметров технических средств послеуборочной обработки зерна (на примере Юга Украины) дис.. док. техн. наук: 05.05.11. Мелитополь, 2014. 413 с.

2. *Михайлов Є. В.* Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України (монографія). Мелітополь. Люкс. 2012. 260 с.

3. *Киреев М. В., Григорьев С. М., Ковальчук Ю. К.* Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах. Ленинград. Колос. 1981. 224 с.

4. *Елизаров В. П.* Предприятия послеуборочной обработки и хранения зерна (расчет на ЕОМ). Москва. Колос, 1977. 216 с.

5. *Киреев М. В., Дегтев В. М.* Имитационное моделирование при испытаниях зерноочистительно-сушильных комплексов. Повышение эффективности технологических процессов и совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин. Ленинград. 1982. С. 80-83.

6. *Михайлов Е. В. Дегтев В. М.* Использование метода имитационного моделирования при обосновании параметров процесса послеуборочной обработки зерна. Праці ТДАТУ. Мелитополь. 2010. Вип. 10. Т. 8. С. 209-214.

7. *Дегтев В. М.* Обоснование основных параметров технологического оборудования и машин для послеуборочной обработки зерна в условиях Северо-запада Нечерноземной зоны: дис…канд. техн. наук: 05.20.01. Ленинград. 1984. 202 с.

8. *Пичугин О. С.* Имитационное моделирование в оценке надежности сложных технических систем. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ, 2005. №3. С. 138-141.

9. *Манасян С. К.* Имитационное моделирование процессов сушки зерна в зерносушилках сельскохозяйственного назначения: дис… докт. техн. наук. Красноярск. 2008. 350 с.

10. *Лурье А. Б.* Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. Ленинград. Колос. 1970. 170 с.

11. *Лурье А. Б.* Основы теории эффективности функционирования рабочих процессов сельскохозхяйственных машин и их систем управления. Науч. труды ЛСХИ. 1981. Т. 415. С. 3-6.

12. *Пастушенко С., Огиенко Н.* Теоретические аспекты исследования процесса сепарации технологической семенной массы овощебахчевых культур. Motrol, Motoryzacja i energetyka rolnictva. Lublin. 2012. Vol. 14(2). P. 13-20.

13. *Думенко К., Огиенко Е.* Моделирование процесса обеспечения надежности зерноуборочных комбайнов. Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictva. Lublin. 2012. Vol. 14(2). P. 51-56.

14. *Mikhailov E., Postnikova M., Zadosnaia N., Afanasyev O.* Methodological Aspects of Determining Parameters of a Scalper-Type Air-Sieved Separator Airflow. Springer Nature: Switzerland AG. 2019. P.133-137.

15. *Postnikova M., Mikhailov E., Nesterchuk D., Rechina O.* Energy saving in the technological process of

the grain grinding. Springer Nature: Switzerland AG. 2019. P. 395-403.

16. *Mykhailov Ye.* Economic and Technical Efficiency of Sunflower Seed Treatment. Monograph, Warszawa. 2020. 158 p.

17. *Kharchenko S., Kovalyshyn S., Zavgorodniy A., Kharchenko F., Mikhailov E.* Effective sifting of flat seeds through sieve. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 58. № 2. P. 17-26.

References

1. *Mikhailov E. V.* (2014). Methodology of substantiation of the composition and functional parameters of technical means of post-harvest grain processing (on the example of the South of Ukraine) dis..doc. tech. sciences: 05.05.11. Melitopol, 413.

2. *Mikhailov E. V.* (2012). Post-harvest grain processing in the farms of the south of Ukraine (monograph). Melitopol. 260.

3. *Kireev M. V., Grigoriev S. N., Kovalchuk Yu. K.* (1981). Post-harvest processing of grain on farms. Kolos, 224.

4. *Elizarov V. P.* (1977). Enterprises of post-harvest processing and storage of grain (computer calculations). Moscow. Kolos. 216.

5. *Kireev M. V., Degtev V. M.* (1982). Simulation modeling when testing grain cleaning and drying complexes. Increasing the efficiency of technological processes and improving the working bodies of agricultural machines. 80-83.

6. *Mikhailov E. V. Degtev V. M.* (2010). The use of the method of imitation modeling in the substantiation of the parameters of the post-harvest processing of grain. Labor TDATU. 10(8). 209-214.

7. *Degtev V. M.* (1984). Substantiation of the main parameters of technological equipment and machines for post-harvest processing of grain in the conditions of the North-West of the non-chernozem zone: dis...cand. tech. sciences: 05.20.01. 202.

8. *Pichugina A. S.* (2005). Simulation modeling in assessing the reliability of complex technical systems. Bulletin of FGOU VPO MGAU. 3. 138-141.

9. *Manasyan S. K.* (2008). Simulation modeling of grain drying processes in agricultural grain dryers: dis...dokt. tech. sciences. 350.

10. *Lurie A. B.* (1970). Statistical dynamics of agricultural aggregates. Kolos. 170.

11. *Lurie A. B.* (1981). Fundamentals of the theory of the efficiency of functioning of working processes of agricultural machines and their control systems. Proceedings of the Leningrad Agricultural Institute. 415. 3-6.

12. *Pastushenko S., Ogienko N.* (2012). Theoretical aspects of the study of the separation process of the technological seed mass of vegetable and melon crops. Motrol, Motoryzacja i energetyka rolnictva. 14(2). 13-20.

13. *Dumenko K., Ogienko E.* (2012). Modeling of the process of ensuring the reliability of grain harvesters. Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictva. 14(2). 51-56.

14. *Mikhailov E., Postnikova M., Zadosnaia N., Afanasyev O.,* (2019). Methodological Aspects of Determining Parameters of a Scalper-Type Air-Sieved Separator Airflow. Springer Nature: Switzerland AG. 133-137.

15. *Postnikova M., Mikhailov E., Nesterchuk D., Rechina O.* (2019). Energy saving in the technological process of the grain grinding. Springer Nature: Switzerland AG. 395-403.

16. *Mykhailov Ye.* (2020). Economic and Technical Efficiency of Sunflower Seed Treatment. Monograph. Warszawa. 158.

17. *Kharchenko S., Kovalyshyn S., Zavgorodniy A., Kharchenko F., Mikhailov E.* (2019). Effective sifting of flat seeds through sieve. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 58(2). 17-26.

РЕГРЕСИОННЫЕ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Е. В. Михайлов, Н. А. Задосная

Аннотация. В работе приведены регресионные модели технологических процессов послеуборочной обработки зерна (ПУОЗ). В технологической модели функционирования системы ПУОЗ взаимосвязанные показатели качества работы оборудования с вероятностями нахождения на допустимом уровне условий работы, технологического состояния системы и внутренних помех. Представлена технологическая модель системы ПУОЗ и регресионные модели функционирования зерноочистительной машин (ЗОМ) в виде одной и трех подсистем.

Разработанная технологическая модель функционирования технической оснащенности (ТО) ПУОЗ показывает необходимость определения технологических допусков показателей качества работы зерноочистительных машин (ЗОМ) в условиях их нормального функционирования, что должно быть учтено при разработке методов расчета параметров ТО процесса ПУОЗ.

Регресионные модели технологических процессов ПУОЗ в нормированном виде являются основой для получения математических моделей прогноза показателей качества функционирования машин и агрегатов в полевых условиях и проведения машинного эксперимента методом имитационного моделирования.

Ключевые слова: послеуборочная обработка зерна, материал, модель, показатели функционирования.

REGRESSION MODELS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES POST-HARVESTING GRAIN

E. V. Mikhailov, N. A. Zadosnaya

Abstract. The paper presents the regressive models of technological processes of post-harvest grain processing (PHGP). In the technological model of the functioning of the EMP system, there are interrelated indicators of the quality of equipment operation with the probability of being at acceptable levels of operating conditions, the technological state of the system and internal obstacles. Presented is a technological model of the PHGP system

and regressive models of the functioning of grain cleaning machines in the form of one and three subsystems.

The developed technological model of the functioning of the technical equipment of the PHGP shows the need to determine the technological tolerances of the performance indicators of the grain cleaning machine in the conditions of their normal functioning, should be taken into account when developing methods for calculating the parameters of the technical equipment process of the PHGP.

Regressive models of technological processes of the PHGP in a normalized form is the basis for obtaining mathematical models for predicting the quality indicators of the functioning of machines and units in field conditions and for carrying out a machine experiment by the method of simulation.

Key words: post-harvest grain processing, material, model, performance indicators.

Є. В. Михайлов ORCID 0000-0001-9906-6699.
Н. О. Задосна ORCID 0000-0001-7780-235X.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 35-41*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.035

УДК 636.4:636.083

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОВТРАТ ПОВІТРЯНОГО ТЕПЛООБМІННИКА ПОБІЧНО-ВИПАРНОГО ТИПУ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Г. М. Калетнік, В. М. Яропуд

Вінницький національний аграрний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 - галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: yaropud77@gmail.com.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року.
Бібл. 21, рис. 8, табл. 0.

Анотація. Повітряні теплообмінники побічно-випарного типу на основі циклу Майсоценка мають більший коефіцієнт трансформації, тому їх доцільно застосовувати для охолодження тваринницьких приміщень. Однак однією з задач підвищення ефективності таких теплообмінників є оптимізація його параметрів за рахунок зменшення пневмовтрат. Тому метою досліджень є визначення пневмовтрат теплообмінника побічно-випарного типу та встановлення закономірності зміни втрат тиску і потужності, що необхідна для прокачування повітря через нього, від його конструктивно-технологічних параметрів. В результаті аналітичних досліджень втрат тиску повітряного теплообмінника побічно-випарного типу отримані залежності втрат тиску і потужності від кількості каналів, площі перерізу каналів, середньої швидкості повітря в каналах за умови їх рівності і їх форми (квадрат, рівносторонній трикутник, коло). Встановлено, що найбільш ефективну форму каналів в аспекті пневмовтрат (зменшення втрат тиску на 23 %) мають канали у формі рівностороннього трикутника.

Ключові слова: мікроклімат, тваринницьке приміщення, вентиляція, теплообмінник, параметри, дослідження, залежності.

Постановка проблеми

Швидке зростання світового споживання енергії у тваринницьких комплексах викликало серйозну стурбованість з приводу виснаження енергетичних ресурсів. Зростання споживання енергії тваринницькими комплексами спричинено такими факторами, як зростання чисельності поголів'я тварин та підвищення вимог до забезпечення мікроклімату в приміщеннях [1].

Тваринницький сектор агропромислового виробництва має найбільший потенціал для підвищення ефективності використання енергії. Видно, що енергія, яка використовується для охолодження повітря, є важливою частиною загального споживання енергії, яка постійно зростає у зв'язку з підвищеними вимогами на забезпечення оптимального мікроклімату у тваринницьких приміщеннях. У зв'язку з цим системи кондиціонування стають більш популярними для забезпечення комфортних умов тварин.

Системи охолодження та кондиціонування споживають майже 15 % загального виробництва електроенергії [2]. Нині системи механічного стиснення покривають майже 95 % ринку кондиціонування повітря [3]. Енергетична політика багатьох країн світу зосереджена на скороченні споживання електричної енергії та впровадженні нових технологій, які вважаються екологічно чистими [4]. Через зростаючу потребу в кондиціонуванні та підвищений інтерес до енергозбереження, пошук шляхів зменшення споживання викопного палива та збільшення використання відновлюваної енергії під час процесу кондиціонування в тваринницькому секторі агропромислового виробництва є надзвичайно важливим.

Аналіз останніх досліджень

Стрімкий розвиток сектора альтернативної енергетики у світі та загальна тенденція до подорожчання традиційних паливних ресурсів спонукає до перегляду недоліків у тваринництві, які в нинішній час прогресивних технологій та інновацій поступово стають неактуальними, що дозволяє частково або повністю їх спростувати [5].

Сьогодні більшість учених у своїх працях досліджують стратегічні питання енергетичної політики й ролі біоенергетики в забезпеченні енергетичної безпеки України. Недостатньо розкритими залишаються питання щодо розрахунків біоенергетичного потенціалу агропромислового комплексу, який зможе забезпечити не лише енергетичну автономію, а й не зменшить рівень продовольчої безпеки та експорту [6].

За останні два десятиліття для цілей обігріву було впроваджено багато нових пристроїв на основі відновлюваної енергії: нові установки рекуперації тепла, теплові насоси, сонячні системи та багато інших [7, 8]. Однак жодних пристроїв на основі поновлюваних джерел енергії, які до цього часу не

були широко застосовані в області охолодження. Це створює важливий науковий виклик для дослідників у всьому світі.

Новим рішенням, яке здатне вирішити вищезгадані проблеми, є пряме та непряме охолодження повітрям через випаровування. Випарні повітряні охолоджувачі використовують охолоджену теплоту випаровування води для забезпечення охолодження і менше залежать від викопного палива [4, 9], вони також характеризуються значно вищим коефіцієнтом трансформації порівняно з системами механічного стиснення [4, 9]. Більш високий коефіцієнт трансформації показує, що розглянуті пристрої здатні зменшити значну частину споживання енергії, що використовується для кондиціонування повітря. Одним з найкращих методів досягнення дуже низьких температур з непрямим випарним охолодженням повітря є новий термодинамічний цикл, відомий як цикл Майсоценка (М-цикл).

Пряме випарне охолодження повітрям це найдавніший і найпростіший метод охолодження повітря водою, за якого технологічне повітря безпосередньо контактує з водою. Цей тип систем широко використовувався з причин простої структури, дешевих капітальних та експлуатаційних витрат [9]. Система прямого випарного охолодження має ефективність приблизно 0,70-0,95 з точки зору зниження температури [10]. Типовий випарний охолоджувач повітря використовує резервуар для води, пористий матеріал, який змочується водою, і вентилятор, який переміщує повітря через вологий пористий матеріал (рис. 1).

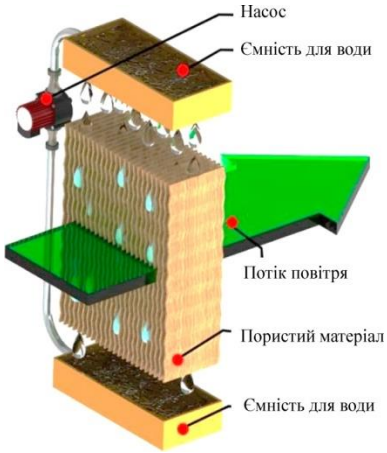


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема прямого випарного охолоджувача повітря [10].

Fig. 1. Structural and technological scheme of direct evaporative air cooler [10].

Після охолодження та зволоження в каналах повітря виходить із охолоджувача. Падаюча вода зазвичай зберігається в резервуарі під прокладками, де вона рециркулює у систему [10]. Система прямого випарного охолодження додає вологу в прохолодне повітря. Процес може бути представлений у психрометричній діаграмі від точки 1_i до точки 1_0, як показано на рис. 2. Процес повітрообміну приблизно відповідає лінії постійної ентальпії. Точка 1_i представляє стан технологічного повітря, що надходить в охолоджувач, точка 1_0 - стан технологічного повітря, що виходить з охолоджувача. Теоретично процес може закінчитися при температурі вологого повітря, що надходить у повітря. Однак досягти стану насичення за допомогою прямого випарного охолодження повітря практично неможливо [10].

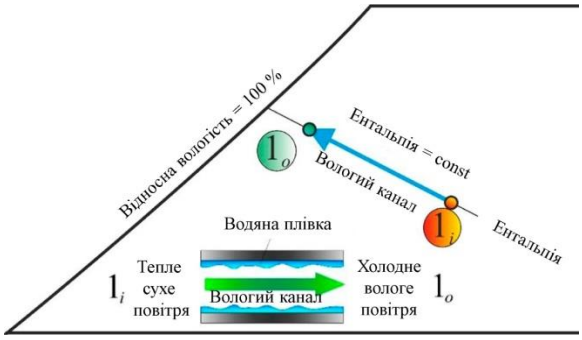


Рис. 2. Психрометрична інтерпретація процесу прямого випарного охолодження повітрям.

Fig. 2. Psychrometric interpretation of the process of direct evaporative cooling by air.

Система непрямого випарного охолодження забезпечує тільки охолодження технологічного повітря без жодного додавання вологи (рис. 3). Непрямий випарний охолоджувач повітря пропускає первинне (основне) повітря через суху сторону пластини теплообмінника, а робоче (вторинне) повітря - з протилежної вологої сторони [11, 12, 13]. Вологий канал поглинає теплоту з сухого, тому й охолоджує суху сторону, додатково не зволожуючи повітря (процес 1_i - 1_0 на рис. 4), тоді як прихована теплота пари, що випаровується, подається вологому бічному повітрю (процес 2_i - 2_0 на рис. 4).

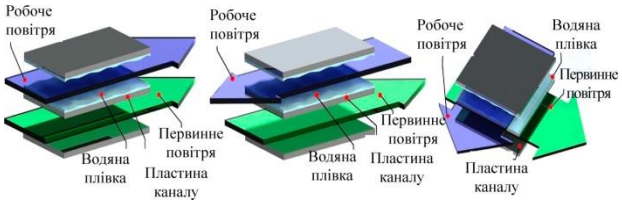


Рис. 3. Конструктивно-технологічна схема непрямого випарного охолоджувача повітря [13].

Fig. 3. Structural and technological scheme of indirect evaporative air cooler [13].

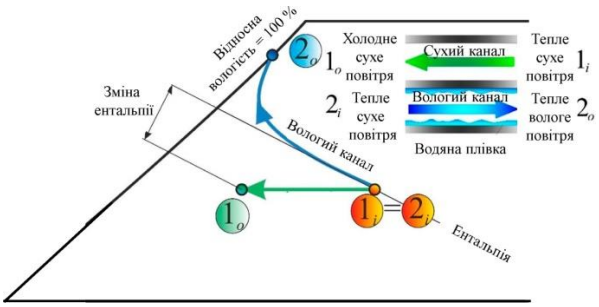


Рис. 4. Психрометрична інтерпретація процесу непрямого випарного охолодження повітрям [14].

Fig. 4. Psychrometric interpretation of the process of indirect evaporative air cooling [14].

Ефективність охолодження більшості непрямих охолоджувачів, як правило, низька. Типові агрегати здатні охолоджувати навколишнє повітря до рівня 0,40-0,60 від його температури на вході [4, 14], що є основним недоліком у широкому застосуванні систем непрямого випаровування охолодження.

Існує ще один спосіб отримати високу ефективність непрямого випарного повітряного охолодження без використання складних систем та механічного стиснення. Дана методика базується на новому термодинамічному циклі, відомому як цикл Майсоценка або М-цикл, який розглядається як технологічний прорив у циклах охолодження відновлюваної енергії [11, 15, 16]. М-цикл використовує ту ж вологу та суху сторону пластини, що й звичайний непрямий випарний охолоджувач, але з різною конфігурацією повітряного потоку, що створює новий термодинамічний цикл [11, 17]. Цикл Майсоценка поєднується з термодинамічними процесами теплообміну в непрямому випарному охолоджувачі повітря, виходячи з уявлення про те, що робочий потік повітря непрямо попередньо охолоджується перед його надходженням у вологі канали (рис. 5). Це призводить до значно нижчих температур первинного повітря, які наближаються майже до температури точки роси повітря, що надходить у повітря (цей цикл іноді називають охолодженням при випаровуванні з точкою роси [4, 18]). Найпростішим теплообмінником з циклом Майсоценка є регенеративна протипотокова установка (рис. 5). У цьому теплообміннику первинний та робочий потоки повітря проходять через один і той самий сухий канал (змішане первинне та робоче повітря в сухих каналах буде називатися основним потоком) і охолоджуються без зволоження (процес 1_i - 1_0 = 2_i на рис. 5). В кінці сухого каналу частина основного потоку (робоче повітря) надходить у вологий канал, де він реалізує процес непрямого випарного охолодження (процес 2_i - 2_0 на рис. 5). При виснаженні робочий повітряний потік насичується і має температуру меншу, ніж вхідне повітря, але більшу за температуру вологого (рис. 5).

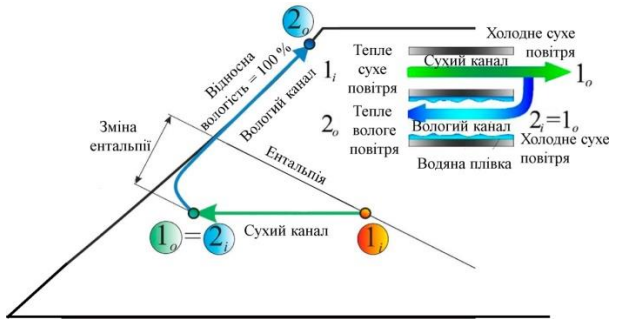


Рис. 5. Психрометрична інтерпретація циклу Майсоценка [18].

Fig. 5. Psychrometric interpretation of the Maisotsenko cycle [18].

Повітряні теплообмінники побічно-випарного типу на основі циклу Майсоценка мають більший коефіцієнт трансформації, тому їх доцільно застосовувати для охолодження тваринницьких приміщень. Однак однією із задач підвищення ефективності таких теплообмінників є оптимізація його параметрів за рахунок зменшення пневмовтрат.

Мета досліджень

Метою досліджень є визначення пневмовтрат теплообмінника побічно-випарного типу та встановлення закономірності зміни втрат тиску і потужності, що необхідна для прокачування повітря через нього, від його конструктивно-технологічних параметрів.

Результати досліджень

Теплообмінник побічно-випарного типу представляє собою систему каналів, яка представлена на рис. 6. Теплообмінник містить незалежні робочі канали і з'єднанні вологі і сухі канали.

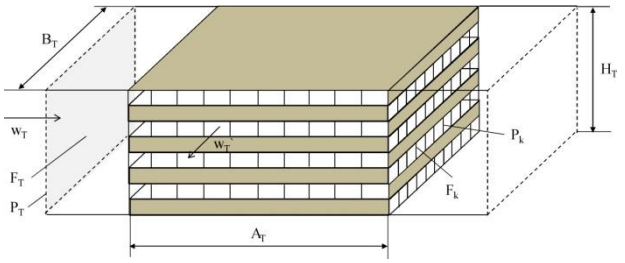


Рис. 6. Розрахункова схема теплообмінника побічно-випарного типу.

Fig. 6. Calculation scheme of the heat exchanger of the side-evaporating type.

Розглянемо спочатку рух повітря через робочі канали. При цьому повітря проходить три ділянки. Перша ділянка - це розподіл потоку повітря з повітропроводу великого діаметру у канали меншого діаметру. Втрати тиску розраховуються за формулою

$$\Delta p_T = \eta_1 \left(1 - \frac{N_k F_k}{F_T}\right) \frac{\rho (w_T)^2}{2}, \qquad (1)$$

де η_1 - коефіцієнт пом'якшення удару, η_1 = 0,5 [5];

N_k - кількість каналів;

F_T - площа перерізу вхідного повітропроводу, м^2;

F_k - площа перерізу каналу, м^2;

w_T - середня швидкість повітря в робочих каналах теплообмінника побічно-випарного типу.

Друга ділянка - це переміщення потоку повітря по каналам. Втрати тиску розраховуються за формулою

$$\Delta p_k = 0{,}11 N_k \frac{P_k A_T}{4F_k} \frac{\rho w_T^2}{2} \sqrt[4]{\frac{17 \mu_a P_k}{F_k \cdot w_k \cdot \rho} + \frac{\psi_k \cdot P_k}{4F_k}}, \qquad (2)$$

де P_k - периметр перерізу каналу, м^2;

A_T - довжина робочого каналу, м^2;

ψ_k - еквівалентна шорсткість стінок робочого каналу [20];

μ_a - динамічна в'язкість повітря, μ = 18,27·10^{-6} Н·с/м^2 [20].

Третя ділянка - це злиття потоку повітря з каналів у повітропровід великого діаметру. Втрати тиску розраховуються за формулою

$$\Delta p_{kT} = \eta_2 \left(1 - \frac{N_k F_k}{F_T}\right)^2 \frac{\rho (w_T)^2}{2}, \quad (3)$$

де η_2 - коефіцієнт пом'якшення удару, η_2 = 0,5 [20].

Наступним етапом розглянемо рух повітря через з'єднанні вологі і сухі канали. При цьому повітря проходить п'ять ділянок. Перша ділянка - це розділення потоку повітря з повітропроводу великого діаметру у канали меншого діаметру. Втрати тиску $\Delta p'_{Tk}$ розраховуються за формулою (1). Друга ділянка - це переміщення потоку повітря по сухим каналам. Втрати тиску $\Delta p'_k$ розраховуються за формулою (2). Третя ділянка - це втрати тиску в просторовому (кільцевому) повороті на 180° $\Delta p'_{k180}$ [21]

$$\Delta p'_{k180} = \zeta'_{k80} \frac{\rho (w'_T)^2}{2}, \quad (4)$$

де ζ_{k180} - коефіцієнт місцевого опору для просторового (кільцевого) повороту на 180°, згідно [21] ζ_{k180} = 2.

Четверта ділянка - це переміщення потоку повітря по вологим каналам. Втрати тиску $\Delta p''_k$ розраховуються за формулою (2). П'ята ділянка - це злиття потоку повітря з вологих каналів у повітропровід великого діаметру. Втрати тиску $\Delta p'_{kT}$ розраховуються за формулою (3).

Загальні втрати тиску через теплообмінник побічно-випарного типу дорівнюють сумі втрат тиску на всіх вищезазначених ділянках. Приймаючи однакову кількість N_k і розмір (площа F_k і периметр P_k) робочих, сухих і вологих каналів отримуємо формулу для розрахунку пневмовтрат повітряного теплообмінника побічно-випарного типу

$$\begin{aligned}
&\Delta p_T = \Delta p_{Tk} + \Delta p_k + \Delta p_{kT} + \\
&+\Delta p'_{Tk} + \Delta p'_k + \Delta p'_{k180} + \Delta p''_k + \Delta p'_{kT} = \\
&= \frac{\rho (w_T)^2}{2} \left[\eta_1 \left(1 - \frac{N_k F_k}{F_T}\right) \right. \\
&+ 0{,}11 N_k \frac{P_k A_T}{4F_k} \sqrt[4]{\frac{17 \mu_a P_k}{F_k \cdot w_T \cdot \rho} + \frac{\psi_k P_k}{4F_k}} \\
&\left. + \eta_2 \left(1 - \frac{N_k F_k}{F_T}\right)^2 \right] + \\
&+ \frac{\rho (w'_T)^2}{2} \left[\eta_1 \left(1 - \frac{N_k F_k}{F_T}\right) \right. \\
&+ 0{,}11 N_k \frac{P_k B_T}{4F_k} \frac{\rho w_T^2}{2} \sqrt[4]{\frac{17 \mu_a P_k}{F_k \cdot w'_k \cdot \rho} + \frac{\psi''_k \cdot P_k}{4F_k}} \\
&+ \zeta_{k180} + \\
&+ 0{,}11 N_k \frac{P_k B_T}{4F_k} \sqrt[4]{\frac{17 \mu_a P_k}{F_k \cdot w'_k \cdot \rho} + \frac{\psi''_k \cdot P_k}{4F_k}} \\
&\left. + \eta_2 \left(1 - \frac{N_k F_k}{F_T}\right)^2 \right].
\end{aligned} \quad (5)$$

де B_T - довжина сухого і вологого каналів, м²;

ψ'_k - еквівалентна шорсткість стінок сухого і вологого каналів [20];

w'_T - середня швидкість повітря в сухих і вологих каналах теплообмінника побічно-випарного типу, м/с.

Побудуємо залежності втрат тиску через теплообмінник побічно-випарного типу Δp_T від кількості каналів N_k, площі перерізу каналів F_k, середньої швидкості повітря в каналах за умови $w'_T = w_T$ і їх форми (квадрат, рівносторонній трикутник, коло). Для цього використаємо залежності периметрів каналів різної форми від їх площі:

- квадрат: $P_k = 4\sqrt{F_k}$, (6)
- рівносторонній трикутник:

$$P_k = 2\sqrt{F_k \sqrt{3}}, \quad (7)$$

- коло: $P_k = 2\sqrt{\pi F_k}$. (8)

Залежність (5) і перерахована потужність, що необхідна для прокачування повітря через теплообмінник побічно-випарного типу, визначається за формулою

$$N'_{w1} = \frac{V' \Delta p_2}{\eta'_n}, \quad (9)$$

де η_n - повний ККД вентилятора, η_n = 0,8 [20], представлені на рис. 7 – рис. 8.

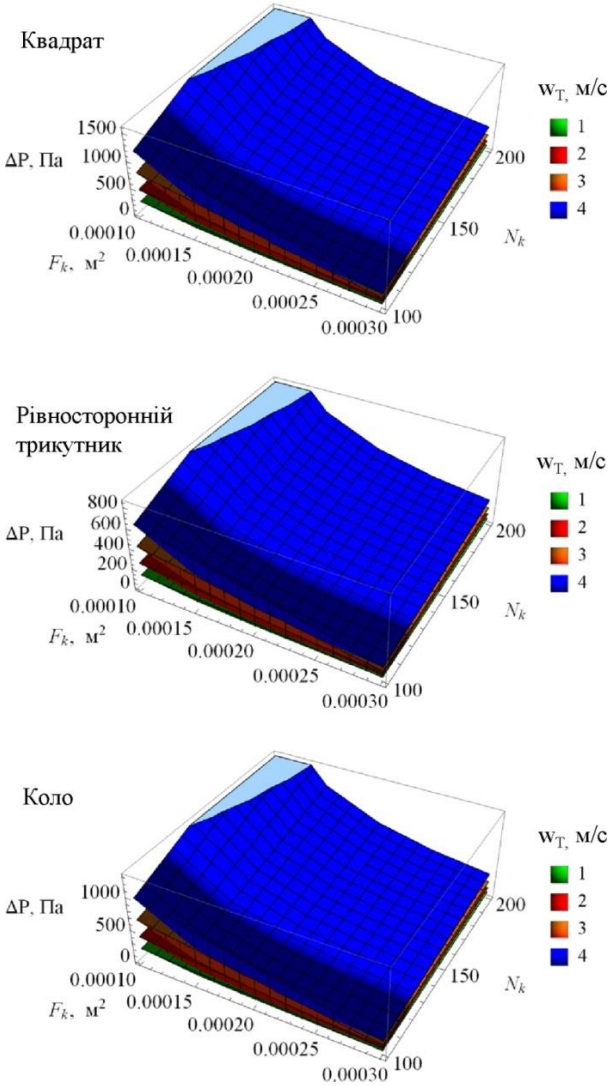


Рис. 7. Залежність втрат тиску Δp_T від кількості каналів N_k, площі перерізу каналів F_k, середньої швидкості повітря в каналах за умови $w'_T = w_T$ і їх форми (квадрат, рівносторонній трикутник, коло).

Fig. 7. Dependence of pressure losses Δp_T on the number of channels N_k, the cross-sectional area of the channels F_k, the average air velocity in the channels under the condition $w'_T = w_T$ and their shape (square, equilateral triangle, circle).

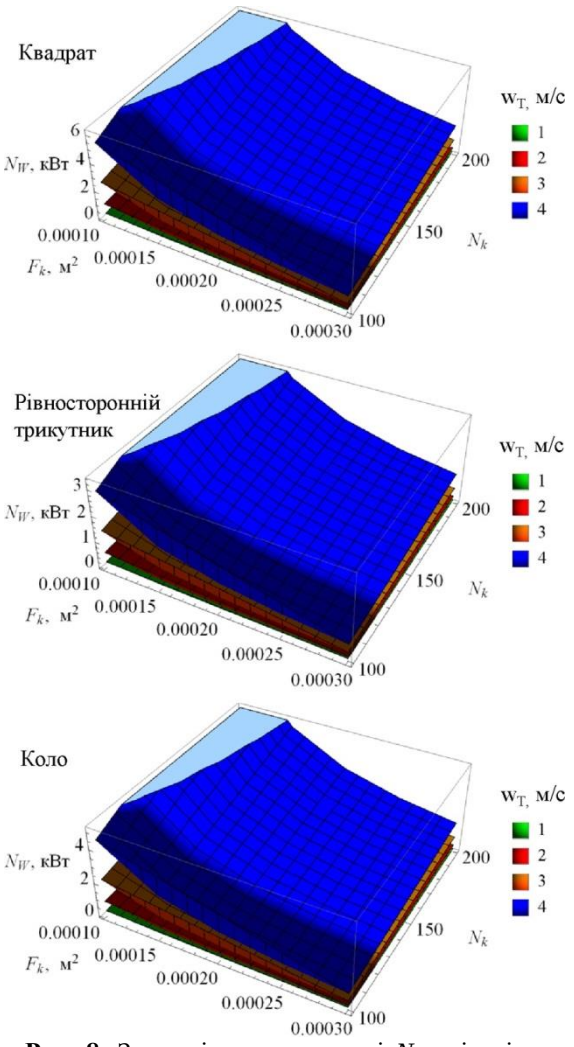


Рис. 8. Залежність потужності N_{W1} від кількості каналів N_k, площі перерізу каналів F_k, середньої швидкості повітря в каналах за умови $w'_T = w_T$ і їх форми (квадрат, рівносторонній трикутник, коло).

Fig. 8. Dependence of power N_{W1} on the number of channels N_k, the cross-sectional area of the channels F_k, the average air velocity in the channels under the condition $w'_T = w_T$ and their shape (square, equilateral triangle, circle).

Аналіз рис. 7, рис. 8 дозволяє стверджувати, що зі збільшенням площі перерізу каналів F_k спостерігається зменшення втрат тиску Δp_T і потужності N_{W1}, що необхідна для прокачування повітря через теплообмінник побічно-випарного типу. Разом з тим, збільшення середньої швидкості повітря в каналах w_T і їх кількості N_k призводить до збільшення втрат тиску Δp_T і потужності N_{W1}. Найбільш ефективну форму каналів (зменшення втрат тиску на 23 %) в аспекті пневмовтрат мають канали у формі рівностороннього трикутника.

Висновки

1. За результатами аналітичних досліджень втрат тиску повітряного теплообмінника побічно-випарного типу отримані залежності втрат тиску Δp_T і потужності N_T від кількості каналів N_k, площі перерізу каналів F_k, середньої швидкості повітря в каналах за умови $w'_T = w_T$ і їх форми (квадрат, рівносторонній трикутник, коло).

2. Встановлено, що найбільш ефективну форму каналів в аспекті пневмовтрат (зменшення втрат тиску на 23 %) мають канали у формі рівностороннього трикутника.

Список літератури

1. *Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C.* A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, 40: 2008. 394-398.

2. *Bellemo L., Elmegaard B., Reinholdt L. O., Kærn M. R., Jakobsen A., Markussen W. B.* Modelling and analysis of a desiccant cooling system using the regenerative indirect evaporative cooling process. ECOS, Proceedings of the 26th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Guilin (China), 2013. 109-122.

3. *Riangvilaikul B., Kumar S.* An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system. Energy Buildings, 42: 2010. 637-644.

4. *Hasan A.* (2010). Indirect evaporative cooling of air to a sub-wet bulb temperature. Applied Thermal Engineering, 30: 2460-2468.

5. *Калетнік Г. М.* Перспективи підвищення енергетичної автономії підприємств АПК в рамках виконання енергетичної стратегії України. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2019. Вип. 4. С. 90-98.

6. *Калетнік Г. М., Гончарук І. В.* Економічні розрахунки потенціалу виробництва відновлювальної біоенергії у формуванні енергетичної незалежності агропромислового комплексу. Економіка АПК. 2020. № 9. С. 6-16. DOI: 10.32317/2221-1055.202009006

7. *Пришляк В. М., Яропуд В. М.* Аналіз і класифікація технологічних схем теплоутилізаторів для тваринницьких приміщень. Вісник ЖНАЕУ. 2014. Вип. №2(45). Т. 4. Ч. ІІ. С. 344-350.

8. *Яропуд В. М.* Дослідження процесу функціонування та оптимізація конструктивно-технологічних параметрів тритрубного рекуператора. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. №1 (108). С. 142-150.

9. *Anisimov S., Pandelidis D.* Numerical study of the Maisotsenko cycle heat and mass exchanger. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2014. Vol. 75. P. 75-96.

10. *Xuan Y., Xiao F., Niu X., Huang X. W. S.* Research and application of evaporative cooling in China: A review (I). Research. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16. P. 3535-3546.

11. *Gillan L.* Maisotsenko cycle for cooling process. Clean Air, 2008. Vol. 9. P. 1-18.

12. *Anisimov S., Pandelidis D.* Modelowanie matematyczne wymienników do pośredniego ochładzania powietrza za pomocą parowania cieczy o krzyżowym układzie przepływu czynników (in Polish). Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja (Distric Heating, Heating, Ventilation). 2012. Vol. 8. P. 335-341.

13. *Anisimov S., Pandelidis D.* Porównanie pracy pośrednich wymienników wyparnych o różnych

schematach przepływu powietrza: wyniki symulacji numerycznej (in Polish). Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja (District Heating, Heating, Ventilation). 2013. Vol. 3. P. 126-129.

14. *Hasan A.* Going below the wet bulb temperature by indirect evaporative cooling: Analysis using a modified ε-NTU method. Applied Energy. 2012. Vol. 89. P. 237-245.

15. *Rogdakis E. D., Koronaki I. P., Tertipis D. N*. Experimental and computational evaluation of a Maisotsenko evaporative cooler at Greek climate. Energy and Buildings. 20,14. Vol. 70. P. 497-506.

16. *Maisotsenko V., Cimerzan A., Zexer M. P. N*. Device for indirect evaporative air cooling (in Russian). Soviet Union Patent. 1976. 979796.

17. *Anisimov S., Pandelidis D*. Numerical study of the Maisotsenko cycle heat and mass exchanger. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2014. Vol. 75. P. 75-96.

18. *Zhan C., Zhao X., Smith S., Riffat S. B.*. Numerical study of a M-Cycle cross-flow heat exchanger for indirect evaporative cooling. Building and Environment. 2011. Vol. 46. P. 657-668.

19. *Anisimov S., Pandelidis D., Danielewicz J.* Numerical analysis of selected evaporative exchangers with the Maisotsenko cycle. Energy Conversion and Management. 2014. Vol. 88. P. 452-464.

20. *Идельчик И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Машиностроение. 1992. 672 с.

21. *Грачев И. Г., Пирогов С. Ю., Савищенко Н. П.* Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем. Санкт-Петербург. Мир и семья. 2001. 1154 с.

References

1. *Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C.* (2008). A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings. 40. 394-398.

2. *Bellemo L., Elmegaard B., Reinholdt L. O., Kærn M. R., Jakobsen A., Markussen W. B.* (2013). Modelling and analysis of a desiccant cooling system using the regenerative indirect evaporative cooling process. ECOS, Proceedings of the 26th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Guilin (China). 109-122.

3. *Riangvilaikul B., Kumar S.* (2010). An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system. Energy Buildings. 42. 637-644.

4. *Hasan A.* (2010). Indirect evaporative cooling of air to a sub-wet bulb temperature. Applied Thermal Engineering. 30. 2460-2468.

5. *Kaletnik G. M.* (2019). Prospects for increasing the energy autonomy of agricultural enterprises in the framework of the energy strategy of Ukraine. Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Region. Vol. 4. 90-98.

6. *Kaletnik G. M., Honcharuk I. V.* (2020). Economic calculations of the potential of renewable bioenergy production in the formation of energy independence of the agro-industrial complex. Economics of agro-industrial complex. 9. 6-16. DOI: 10.32317/2221-1055.202009006.

7. *Prishlyak V. M., Yaropud V. M.* (2014). Analysis and classification of technological schemes of heat utilizers for livestock premises. Scientific and theoretical collection «Bulletin of ZhNAEU». 2(45). 4(II). 344-350.

8. *Yaropud V. M.* (2020). Research of process of functioning and optimization of constructive-technological parameters of a three-pipe recuperator. Machinery, energy, transport of agro-industrial complex. 1(108). 142-150.

9. *Anisimov S., Pandelidis D.* (2014). Numerical study of the Maisotsenko cycle heat and mass exchanger. International Journal of Heat and Mass Transfer. 75. 75-96.

10. *Xuan Y., Xiao F., Niu X., Huang X. W. S.* (2012). Research and application of evaporative cooling in China: a review (I). Research. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16. 3535-3546.

11. *Gillan L.* (2008). Maisotsenko cycle for cooling process. Clean Air. 9. 1-18.

12. *Anisimov S., Pandelidis D.* (2012). Modelowanie matematyczne wymienników do pośredniego ochładzania powietrza za pomocą parowania cieczy o krzyżowym układzie przepływu czynników (in Polish). Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja (Distric Heating, Heating, Ventilation). 8. 335-341.

13. *Anisimov S., Pandelidis D.* (2013). Porównanie pracy pośrednich wymienników wyparnych o różnych schematach przepływu powietrza: wyniki symulacji numerycznej (in Polish). Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja (District Heating, Heating, Ventilation). 3. 126-129.

14. *Hasan A.* (2012). Going below the wet bulb temperature by indirect evaporative cooling: Analysis using a modified ε-NTU method. Applied Energy. 89. 237-245.

15. *Rogdakis E. D., Koronaki I. P., Tertipis D. N.* (2014). Experimental and computational evaluation of a Maisotsenko evaporative cooler at Greek climate. Energy and Buildings. 70. 497-506.

16. *Maisotsenko V., Cimerzan A., Zexer M. P. N.* (1976). Device for indirect evaporative air cooling (in Russian). Soviet Union Patent. 979796.

17. *Anisimov S., Pandelidis D.* (2014). Numerical study of the Maisotsenko cycle heat and mass exchanger. International Journal of Heat and Mass Transfer. 75. 75-96.

18. *Zhan C., Zhao X., Smith S., Riffat S. B.* (2011). Numerical study of a M-Cycle cross-flow heat exchanger for indirect evaporative cooling. Building and Environment. 46. 657-668.

19. *Anisimov S., Pandelidis D., Danielewicz J.* (2014). Numerical analysis of selected evaporative exchangers with the Maisotsenko cycle. Energy Conversion and Management. 88. 452-464.

20. *Idelchik I. E.* (1992). Reference book on hydraulic resistance. Mechanical engineering. 672.

21. *Grachev I. G., Pirogov S. Yu., Savishchenko N. P.* (2001). Reference book on the calculations of hydraulic and ventilation systems. Peace and family. 1154.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПНЕВМОПОТЕРЬ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНОГО ТИПА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Г. Н. Калетник, В. М. Яропуд

Аннотация. Воздушные теплообменники косвенно-испарительного типа на основе цикла Майсоценка имеют больший коэффициент трансформации, поэтому их целесообразно применять для охлаждения животноводческих помещений. Однако одной из задач повышения эффективности таких теплообменников является оптимизация его параметров за счет уменьшения пневмопотерь. Поэтому целью исследований является определение пневмопотерь теплообменника косвенно-испарительного типа и определение закономерности изменения потерь давления и мощности, необходимой для прокачки воздуха через него, от его конструктивно-технологических параметров. В результате аналитических исследований потерь давления воздушного теплообменника косвенно-испарительного типа получены зависимости потерь давления и мощности от количества каналов, площади сечения каналов, средней скорости воздуха в каналах при условии их равенства и их формы (квадрат, равносторонний треугольник, круг). Установлено, что наиболее эффективную форму каналов в аспекте пневмопотерь (уменьшение потерь давления на 23%) имеют каналы в форме равностороннего треугольника.

Ключевые слова: микроклимат, животноводческое помещение, вентиляция, теплообменник, параметры, исследования, зависимости.

THEORETICAL STUDIES OF AIR LOSSES OF AIR HEAT EXCHANGER OF INDIRECT-EVAPORATIVE TYPE OF LIVESTOCK ROOMS

G. M. Kaletnik, V. M. Yaropud

Abstract. Air heat exchangers of the side-evaporating type based on the Maisotsenko cycle have a higher transformation coefficient, so it is advisable to use them for cooling livestock premises. However, one of the tasks of increasing the efficiency of such heat exchangers is to optimize its parameters by reducing pneumatic losses. Therefore, the aim of the research is to determine the pneumatic losses of the heat-evaporating type heat exchanger and to establish the regularity of the change of pressure and power losses required for pumping air through it from its design and technological parameters. As a result of analytical researches of pressure losses of the air heat exchanger of side-evaporating type dependences of losses of pressure and power on quantity of channels, the area of section of channels, average speed of air in channels provided their equality and their form (square, equilateral triangle, circle). It is established that the most effective form of channels in the aspect of pneumatic losses (reduction of pressure losses by 23%) have channels in the form of an equilateral triangle.

Key words: microclimate, livestock room, ventilation, heat exchanger, parameters, research, dependencies.

Г. М. Калетнік ORCID 0000-0002-4848-2796.
В. М. Яропуд ORCID 0000-0003-0502-1356.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 43-52*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.043

УДК 631.31:621.791.75

ВІДНОВЛЕННЯ РЕСУРСУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН НАНЕСЕННЯМ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТЬ

Ю. Б. Паладійчук[1], Ю. М. Мельник[2]

[1]Вінницький національний аграрний університет, Україна.
[2]Відокремлений структурний підрозділ "Чернятинський фаховий коледж" Вінницький національний аграрний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: rewet@vsau.vin.ua.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року.
Бібл. 10, рис. 7, табл. 8.

Анотація. Інтенсивне ущільнення ґрунту, що спричинене застосуванням сучасних потужних тракторів із великою вагою та наявністю у них більших робочих швидкостей, і як наслідок зменшується термін експлуатації ґрунтообробної техніки. Складні погодні умови викликають збільшення навантаження на робочі органи ґрунтообробних машин (леміші плуга, культиваторні лапи).

У статті розглядається проблема відновлення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин за рахунок нанесенням зносостійких покрить. Проаналізовано види зношування та вплив абразивних матеріалів на робочі органи ґрунтообробних машин. Визначинні оптимальні матеріали та методи підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Розглянуто особливості формування металізаційного покриття, що відображається в його структурі та характер дефектів, які можуть відрізнятися за розмірами, щільності, морфології і орієнтації. Обґрунтованно залежність властивостей покриттів від системи легування матеріалу. Наведенно устаткування і матеріали для нанесення покриттів.

З врахуванням отриманої інформації, зробленні висновки та проведений аналіз технології нанесення зносостійких покрить для відновлення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин.

Ключові слова: ґрунтообробна техніка, технічне обслуговування, обробіток ґрунту, металізація, наплавка, порошковий дріт, дугова металізація, напилення.

Постановка проблеми

Річна потреба сільського господарства України в робочих органах до плугів та інших ґрунтообробних машин доволі значна і не піддається численній оцінці. Для підтримки працездатності сільськогосподарської техніки щорічно випускається значна кількість запасних частин.

При обробці ґрунту (оранка, культивація) енергоємність процесу різко зростає через затуплення робочих органів внаслідок абразивного зносу [3].

Робочі органи ґрунтообробних машин піддаються ударно-абразивному характер зносу, який виникає через контакт з частинками ґрунту і камінням. На знос впливають супутні фактори такі як: механічний склад ґрунту; вологість; твердість; структура матеріалу; тиск і швидкість відносного переміщення ґрунту по поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

В таблицы 1 наведена орієнтовна класифікація ознак всього різноманіття процесів зношування, які є наслідком протікання складних процесів на поверхневому шарі металу при зношуванні, відмінності умов та режимів роботи пар тертя.

Таблиця 1. Класифікація видів зношування.
Table 1. Classification of types of wear.

Види зношування	Механічні
	Абразивне
	Гідроабразивне (газоабразивне)
	Гідроерозійне (газоерозійне)
	Кавітаційне
	Втомлюване
	Прифретинг
	Адгезійне
	Корозійно-механічне
	Окислюване

Абразивне зношування є основним видом контактної взаємодії при зовнішньому терті. При роботі сполучень робочих органів сільськогосподарських та інших машин присутнє абразивне зношування, що є головним чинником, який

обмежує технічні характеристики і ресурс машин, механізмів і обладнання [4].

На цей вид зносу припадає від 50 до 80% випадків відмов робочих органів машин, зокрема будівельних, дорожніх, транспортних, сільськогосподарських, машин для тваринництва і кормовиробництва [3].

В ґрунтах присутні абразивні частинки такі як, кварц (HV 10,5-12,5 ГПа) і польовий шпат (HV 6,5-7,2 ГПа). Наявність цих мінералів, в основі піщаних і супіщаних ґрунтів, пояснюють швидкий знос робочих органів. На рисунку 2 показаний характерний профіль зносу робочих органів ґрунтообробних машин.

Рис. 1. Робочі органи ґрунтообробних машин.
Fig. 1. Working bodies of tillage machines.

Виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин (лемешів плугів, культиваторних лап, дисків борін) повинно мати підвищені вимоги до матеріалу, методів підвищення зносостійкості, технології виготовлення [4, 5].

Абразивний вид зношування поділяється на основін чотири види:

1. руйнування матеріалу різанням;
2. руйнування матеріалу шляхом відриву (крихке руйнування);
3. руйнування матеріалу при багаторазовому деформуванні мікрооб'ємів поверхневого шару (утомлююче руйнування);
4. полідеформаційний процес руйнування матеріалів (спільний прояв трьох вищезазначених руйнувань, включаючи руйнування в результаті перенаклепування) [3].

Вологість, механічна структура ґрунту, швидкість відносного переміщення та інші фактори впливають на абразивне зношування робочих органів ґрунтообробних машин [3-6].

Вміст абразиву так званого кварцового піску в ґрунті має основний вплив на абразивний знос робочих органів ґрунтообробних машин. Окрім абразиву, що дряпає або знімає мікростружку з поверхні робочих органів ґрунтообробних машин, на швидкість зносу впливає присутня в ґрунті волога, яка має певну кислотність pH. Зі збільшенням вологості ґрунту і фракції абразиву (0,25–1,00 мм) величина зносу збільшується на 25-50%.

Рис. 2. Форма робочого органу культиватора.
Fig. 2. The shape of the working body of the cultivator.

Абразивний знос переважає над іншими видами зносу, в разі якщо твердість абразиву перевищує твердість матеріалу робочого органу ґрунтообробних машин.

Мета досліджень

Відновлення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин за рахунок нанесенням зносостійких покрить.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв’язати такі завдання:

1. Проаналізувати види зношування та вплив абразивних матеріалів на робочі органи ґрунтообробних машин;
2. Визначити оптимальні матеріали та методи підвищення зносостійкості;
3. З врахуванням отриманої інформації, зробити висновки та провести аналіз технології нанесення зносостійких покрить для підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин.

Результати досліджень

Матеріали і методи підвищення зносостійкості. Підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин у сільськогосподарському машинобудуванні відбувається завдяки:

- використанню зносостійкого матеріалу і багатошарового прокату;
- розробці складових робочих органів;
- термічній і термохімічній обробці;
- наплавленню і напиленню зносостійких матеріалів.

Під час, вибору методу зміцнення в залежності від типу ґрунтів слід враховувати не тільки технологічні та економічні показники, а й необхідність реалізації ефекту самозаточування робочих органів.

Сутність ефекту самозаточування полягає у вибірковому зносі неоднорідного по перерізу леза, при якому зберігаються необхідна форма і ріжучі властивості робочого органу [4, 5-7].

Виготовлення біметалічних лемішів трапецеподібної форми з двошаровою катаною

частиною леза зі сталі Х6Ф1 (нижній шар) і Л-53 (верхній шар), дає змогу підвищити термін служби і забезпечети ефект самозаточування. Дані леміші мають підвищений термін служби, але для їх відновлення необхідне виготовлення спеціалізованого оснащення для обробки металів тиском [4].

Однією з найпоширеніших технологічних операцій для зміцнення є термічна обробка. Завдяки термічній обробці твердість металу для сталі 45 становить HRC 40-46, а для сталі 65Г і легованих сталей – HRC 55-61. Зносостійкість таких робочих органів менша в порівнянні з деталями, виготовленими зі спеціальних матеріалів, але при застосуванні таких робочих органів на суглинкових ґрунтах не спостерігається самозаточування [6].

Знос культиваторних лап з індукційним загартовуванням (ширина шару загартування – 8-10 мм, HRC 48-52) за сезон складе 30 мм, при цьому не забезпечується якість обробки [6].

Застосування лазерної термообробки для зміцнення робочих органів в 1,5 рази знижує знос в порівнянні з об'ємним гартуванням. Лазерна наплавка сплавом ПС-14-60 + 6% В4С знижує знос в 1,7-1,8 рази в порівнянні з індукційним загартовуванням [4].

Підвищити зносостійкість деталей машин можливо за рахунок наплавлення.

Наплавлювальні матеріали це – самозахисні порошкові дроти типу ПП-АН170 (ПП-АН170М), забезпечують утворення наплавленого шару твердістю HRC 60-65.

Оптимальна зносостійкість і самозагострювання визначається регулюванням геометрії наплавленого шару (висота, глибина, крок наплавлення), а також співвідношенням твердості наплавлених ділянок і основного металу в межах 1,5: 1,0; 1,0: 1,0 [7].

Композиційні матеріали в основному отримують методом порошкової металургії. Крім цього існують інші методи, наприклад, метод безпосереднього введення наповнювача в рідкий метал або сплав перед розливом. В останьому випадку для очищення від жирових та інших забруднень, покращення змочування частин рід ким металом і рівномірного розміщення їх в матриці застосовують ультразвукуву обробку рідкого розплаву.

Застосування композиційних матеріалів (міцна, пластична основа - зносостійке покриття), відповідає критерієм «ціна-якість» та є кращим для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. При виготовленні великих партій робочих органів ґрунтообробних машин, повинні застосовуватися зміцнюючі технології на стадії виготовлення. Технології, щодо підвищення ресурсу повинні відповідати певним вимогам: виду виробництва, бути продуктивними, економічними та забезпечеувати задану товщину і зносостійкості покриттів.

Забезпечити великий термін служби робочих органів, скоротити час проведення робіт по зміцненню і знизити їх вартість, дозволяє метод газотермічного напилення.

Процес у газотермічне напилення відбувається наступним чином: матеріал розпилюється у вигляді порошку або дроту подається в зону нагріву; газ розпилює нагріті частинки і надає їм прискорення в осьовому напрямку; у зоні нагріву при подачі дроту розпилюючий газ диспергує розплавлений матеріал, а також він виконує і функцію нагріву; частинки, що надходять на поверхню, мають велику швидкість зіткнення, при цьому утворюються міцні міжатомні зв'язки та створюються умови для адгезії розпленого матеріалу за рахунок активації поверхневого контакту [4-7].

Класифікація методів газотермічних напилень за видом використовуваної енергії і джерела теплоти.

По виду енергії діляться на:

- газоелектричні, в яких використовуються електроенергія:
- газополум'яневі методи, де теплова енергія утворюється за рахунок згоряння горючих газів.

Щоб нагріти розпилений матеріал застосовують такі види джерела теплоти:

- дуга;
- плазма;
- газове полум'я.

Методи напилення поділяються на види:

– дугова металізацієя;
– плазмове напилення;
– газополуменеве напилення;
– детонаційне-газове напилення.

До газоелектричних відносяться перші два методи, останні – до газополуменевих [4, 5-7].

Коефіцієнт використання енергії, що підводиться, коефіцієнт використання напилюваного металу, продуктивність, якість покриттів і вартість їх нанесення визначає ефективність методів газотермічного напилення. Переважаючим методом газотермічного напилення по тепловій ефективності, продуктивності та вартості покриттів є дугова металізація.

При застосуванні дугової металізації частка енергії, що підводиться, йде безпосередньо на нагрівання і плавлення порошкового матеріалу, дозволяє підвищити ефективний ККД нагріву до 60%. Низькі теплові втрати обумовлені фізичними особливостями процесу.

Процес дугової металізації відбувається за рахунок розпилення дроту в дугу, що горить між ним, і порошком, який транспортується газом, а утворювані частинки прискорюються і при попаданні на поверхню формують покриття. Висока теплова ефективність дугової металізації обумовлена прямою передачею енергії від дуги до дроту. Частка введеної теплової енергії від дуги, що йде на розплавлення порошкового матеріалу, становлять 60-70%, що в 7-10 разів більше, ніж для інших способів газотермічного напилення. Продуктивність дугової металізації досить велика – до 18 кг/год при розпилюванні сталі. Ціна дроту 2-3 рази дешевше порошків, застосовуваних для інших способів газотермічного напилення.

Рівень міцності залежить від об'ємного складу зміцнюючої фази, рівномірність її розміщення, степеня дисперстності і розташування між частинками. Згідно з формулою Орована, опір зрушенню збільшується зі зменшенням відстанні між частинками:

$$\sigma = \frac{Gb}{l} \qquad (1)$$

де G – модуль зсуву; b – міжатомна відстань; l – відстань між частинками.

Вигорання легуючих елементів в матеріалі який наноситься і насичення порошкового металу газами з атмосфери в зоні горіння дуги є фізико-хімічними особливості процесу дугової металізації, які спричиняють складність отримання якісних покриттів. Обладнання для процесу дугової металізації характеризується широким кутом розпилу, до 70°, невисоким 0,5-0,6, коефіцієнтом використання металу, зниженням концентрації легуючих елементів і надмірним вмістом оксидів в покритті.

Обладнання активованої дугової металізації, створене для усунення зазначених недоліків, яке відрізняється від типового тим, що використовуються продукти згоряння (пропаноповітряна суміш) в якості транспортера газу [9].

Матеріалами для нанесення зносостійких покриттів при плазмовому напиленні і дуговій металізації виступають дорогі порошки сплавів, на основі нікелю [4]. Для дугової металізації поширення набули економно леговані порошкові дроти на основі заліза типу Fe-Cr-B, що дозволяють, на відміну від суцільних дротів, простіше отримати зносостійкі покриття необхідної системи легування, що необхідно для варіювання складу покриття при різних режимах зношування.

Покриття із зазначених порошкових дротів забезпечують підвищення зносостійкості сталей в 2-5 разів та роблять метод дугової металізації переважаючим при напиленні на робочі органи сільськогосподарських машин [5].

Найбільшу небезпеку становить знос за механізмом внутрішнього тертя, при підвищених контактних навантаженнях і наявності ударів. Для покриттів він обумовлений, ймовірно, виникненням і розвитком мікротріщин по оксидним плівкам. Оксидні плівки і тим більші пори можуть сприяти відшаровування металу за механізмом внутрішнього тертя, збільшуючи швидкість механічного зносу металевого покриття.

Отже, необхідно розглянути особливості формування металізаційних покриттів і методи вдосконалення технології їх нанесення, що дозволяють забезпечити зносостійкість покриттів при ударно-абразивному зношуванні, характерному для умов експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин [4, 8].

Металізаційне покриття утворюється з шаруватих елементів, сформованих при високошвидкісному ударі об холодну поверхню, що в подальшому призводить до затвердівання частинок. Частинки розплавляються до пластичного стану та рівномірно розприділяються по поверхні. Контакт частинок між собою відбувається після зачеплення їх по нерівній поверхності.

Під час напилювання відбувається окислення частинок, що призводить до утворення оксидної плівки, яка потрапляє в покриття. Оксидна плівка потрапляючи на покриття чинить на нього негативний вплив:

1. перешкоджає дифузії частинок;
2. знижує міцність зчеплення;
3. зменшує твердість покриття.

На останнім напиленний шар наноситься фракція у вигляді пилу розплавленого матеріалу або його оксидів і адсорбції газів.

Висока швидкість при напиленні призводить до розтікання і кристалізація частинок, які контактують з раніше нанесеною поверхнею, це спричинняє дефекти, порожнини, мікропорожнечі наповненні газом.

Перегрів частинок призводить до їх випаровування і осідання в паровій фазі [5, 9].

Формування одержуваних покриттів, які утворенні з нерозплавлених частинок, оксидів, пор, тонких пластин з'єднаних між собою або звареними ділянками, або шляхом «схоплювання» утворених під час кристалізації і затвердіння.

Покриття має нижчу міцність і щільність, ніж у основного матеріалу, тому що зварні ділянки не заповнюють всю площу контакту між нанесеними частинками.

У насенному покритті виділяють границі між шарами і частинками, які визначають міцність зчеплення між покриттям і підкладкою:

1. когезія;
2. пошарові границі;
3. границя між шаром і частинками. [4-9].

Міцність покриття забезпечується адгезією та характеризується наступними механізмами:

- нанесенні частини маю мають входити в механічне зчеплення з поверхнею підкладки або з попередньо осадженим шаром;

- наявність металургіного з’язка свідчить про наявність хімічних реакцій в зоні частинки і підкладки, що призводить до дифузії взаємної переплавки;

- фізична взаємодія між частинками і основою в результаті зближення атомів на відстань порядку розмірів атомів, свідчить про наявність ван дер Вальсових сил в даному процесі.

На властивості нанесеного покриття впливають процеси, що відбуваються в двофазному потоці. До собливостей напиленого матеріалу відносять: здатність змінювати склад частинок при взаємодії з навколишнім середовищем; при ударі частинок відбувається швидка кристалізація і деформація; характер контактів між частинками в покритті.

Структура та харктер дефектів відображає особливості формування металізаційного покриття та відрізняється за розмірами, щільностю, морфологією і орієнтацією.

У дослідженні металізаційного покриття на прикладі сталі 30Х13 описно склад напилюваного шару. Вона має дуже тонкі по черзі розміщені хвилеподібні прошарки білого і сіро-блакитного кольору, що являються затверділим металом і оксидами. Наявність металу і оксидів свідчить про присутність ділянок змішаної структури. Окремі частитки металу мають більш округлу форму та глобулярну, в свою чергу пори мають глобулярну і дископодібну форми [10].

Недостатність пошарового змочування крапель є причиною утворення дископодібних пори, що формуються між шарами. Глобулярні пори виникають в результаті недостатнього заповнення твердіючого шару.

Травлення зразків дало змогу виявити швидкість проявляння, на тонких шарах металу проявляння відбувалося швидше ніж у більш товстих шарах і великих частках. Високий вміст хрому в структурних складових спричинняє слабке травлення у порівнянні із світлими ділянками.

Пошаровий хімічний аналіз покриттів, напилених ДМ-апаратом, показав, що вміст елементів практично однаковий по глибині напилюваного шару, але в процесі напилення відбувається їх вигоряння в порівнянні з вихідним вмістом [10].

Щоб визначити вплив складу атмосфери транспортного газу на особливості формування металізаційного покриття, було відібранні зразки із застосуванням різних варіантів металізації. Серійний апарат ЕМ-14 став базовим для порівння. В апараті АДМ-10 для розпилення застосовуються продукти згоряння пропаноповітряної суміші.

Припустивши, що округлі частки металу потрапили в покриття вже у затверділому стані, з розміром частинок менше 30 мкм. Тому покриття отримані при розпилюванні в повітряному середовищі мають грубу неоднорідну структуру з витягнутими по шарам порами і великими частками.

Використання пропаноповітряного середовища дало змогу отримати покриття з більш тонкою структурою, пор і пустот значно менше і вони дрібніші.У структурі мала кількість оксидів, а оксидні плівки тонші. Тому при застосуванні АДМ-апарата із використанням пропаноповітряного середовища, отиримані покриття являються є більш кращими.

Дослідження, при використанні відновлювальної атмосфери, одержуваної з застосуванням пропаноповітряного середовища показали, що мікротвердість покриттів значно вище. Відбувається зниження пористості покриттів та підвищення мікротвердості у різних структурних складових становить 6-12%. Збільшення пористості покриттів, збільшення числа і розмірів прошарків оксидів, відбувається за рахунок кисню, що міститься у складі транспортного газу. Підвищення пористості знижує когезійну міцність, тому що пори - це порожнечі з нульовою міцністю.

Порівнюючи покриття напиленне апаратом ЕМ-14 без застосування відновлювальної атмосфери із покриттям, нанесеним апаратом АДМ-10, було виявленно, що стійкійсть покриттів та ударно-абразивний знос збільшується в кілька разів при зниженні ступеня окислення крапель, і як результат - ступеня окислення покриття.

Випробування матеріалів 10ХГСА, 45Г, 50ХФА, 30Х13 показало, що покриття зі сталі 30Х13 має найкращі результати: зносостійкість в 2-5 разів вище, ніж у покриттів з інших матеріалів; є відпущений мартенсит і структурні перетворення в ньому будуть супроводжуватися напруженнями стиску, сприятливими для експлуатаційних навантажень.

В подальшому для дослідження в якості еталону при випробуваннях зносостійкості покриттів був прийнятий зразок активовної дугової металізація-покриттів з суцільного дроту 30Х13.

Отже, для підвищення властивостей покриттів, необхідно створити захисну атмосферу, особливо в зоні горіння дуги, а також легування порошкового металу елементами – розкислювачами, це дасть змогу зменшети кількість оксидної плівки на поверхні частинки [4, 8-9].

Залежність властивостей покриттів від системи легування матеріалу. Вибір системи легування розпилюваного матеріалу, через моделювання процесу надходження кисню в частки, що розпилюються дає можливість, отримати необхідну кількість оксидів в металізаційному покритті і необхідні показники його властивостей. Технологічні параметри дугової металізації доцільно оптимізовувати по незалежному критерію, який визначає працездатність покриттів при експлуатації. Адгезійна міцність покриттів є критерієм в умовах ударно-абразивного зношування, що показує їх здатність чинити опір відшарування від основи.

При оцінці залежності властивостей покриттів від складу розпилюваного матеріалу прийнята модель окислення частинок при дуговій металізації, представлена в роботах [4, 9-10].

В роботах описано процес дугової металізації, що складається з трьох зон, які відрізняються особливістю взаємодії розпилюваного металу з киснем в кожній зоні. Перша стадія описує поведінку металу на торці електрода. Друга стадія характеризує метал в зоні горіння дуги. Третя стадія описує політ крапель по дистанції напилювання.

Устаткування і матеріали для нанесення покриттів. Установка активної дугової металізації АДМ-10, призначена для нанесення зносостійких і антикорозійних покриттів з дротяних матеріалів способом термічного напилення. Установка експлуатується в умовах, на які розраховані вироби виконання У, категорії 3, відповідно до ГОСТ 15150-69.

Установка працює від трьохфазної мережі змінного струму напругою 380/220 В, частотою 50 Гц. Для роботи установки необхідна наявність мереж підведення стисненого повітря, пропану, а також зварювального джерела харчування з жорсткою характеристикою ВДУ-506.

Процес плавлення дротів електричною дугою і розпорошення розплавленого металу високошвидкісним струменем транспортного газу є основою роботи установки.

Робота установки відбувається наступним чином:

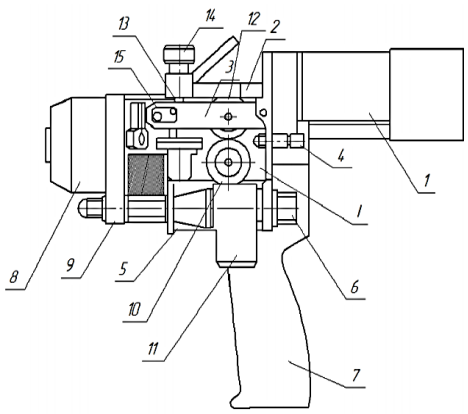
1. на два дроти, які виконують роль електродів, подається напруга;

2. дроти з постійною швидкістю надходять в розпилювальну головку металізатора, де в результаті зближення між ними виникає електрична дуга і відбувається плавлення;

3. транспортний газ (стиснене повітря і пропан) здуває частки розплавленого металу з торців дротів, підхоплює їх, розганяє до високої швидкості і забезпечує доставку до поверхні оброблюваної деталі.

Для виконання роботи установці потрібне підведення:

- стисненого повітря;
- пропану;
- напруги від зварювального джерела живлення.



а

б

Рис. 3. Загальний вигляд металізатора: а – пристрій металізатора; б – установка в роботі; черв'ячного редуктора – I; електродвигун – 1; кронштейн механізму притискання роликів – 2; важелі – 3; передні і задні направляючі – 4; піддон картера – 5; струмопроводи – 6; ручка – 7; розпилювальна головка – 8; плита – 9; подавальні ролики – 10; кран – 11; притискні ролики – 12; пружини – 13; гайки – 14; важелі – 15.

Fig. 3. General view of the metallizer: a – metallizer device; b – installation in operation; worm reducer – I; electric motor – 1; bracket of the mechanism of pressing of rollers – 2; levers – 3; front and rear guides – 4; crankcase tray – 5; power lines – 6; handle – 7; spray head – 8; plate – 9; feed rollers – 10; crane – 11; clamping rollers – 12; springs – 13; nuts – 14; levers – 15.

При дослідженні нанесення покриттів були використані: суцільна дріт марки 30Х13 системи легування FeC-Cr і порошкові дроту базової системи легування Fe-Cr-B різних марок: 45Х13Р10СІ системи легування Fe-Cr-B-C-Y; 40Х18Р10С5І системи легування Fe-Cr-B-Si-Y; 40Х18Р5Ю5СІ системи легування Fe-CrB-Al-Y діаметром 2,0 мм (таблиця 2).

Під час виконання процесу дугової металізації за допомогою установки АДМ-10 використовувалося допоміжне обладнання:

- касети з електродним дротом;
- пристрій для установки касет, що виключає можливість торкання дротів при розмотування щоб уникнути короткого замикання:
- мережа стисненого повітря;
- мережа (балон) пропану.

Таблиця 2. Розрахунковий хімічний склад використовуваних дротів.

Table 2. Estimated chemical composition of the wires used.

Марка дротів	Масова доля елементів, %						
	C	Cr	B	Al	Si	Y	Fe
СП 30Х13	0,16-0,25	12-14	-	-	До 0,6	-	Основна
ПД 45Х13Р5СІ	0,6	13	5	0,2	1	1	Основна
ПД 20Х11Р5С5І	0,2	11	5	0,2	4,5	1	Основна
ПД 20Х11Р5 Ю3СІ	0,2	11	5	3	1	1	Основна

Напилення покриттів проводилось на поверхню пластин, виготовлених зі сталі 40 по ГОСТ 1050-88, товщина напилення становить 2,5 мм. Підготовку поверхні зразків під напилення покриттів здійснювали відповідно до ГОСТ 9.304.

Перед напиленням поверхня пластин була знежирена ацетоном по ГОСТ 2768-84. Поверхня піддавалася продуванню стисненим повітрям і струменево-абразивній обробробці. Температура повітря при підготовці поверхні під напилення проводили становила не нижче плюс 5 °С з метою виключення конденсації вологи на зразках.

Покриття наносили не пізніше 2 годин після струменево-абразивної обробки за допомогою установки активованої дугового металізації АДМ-10.

Зразки для досліджень були вирізані на електроерозійному верстаті AGIE CHARMILLES CUT 20 з пластин з напиленим активованої дугової металізації покриттям.

Підготовка мікро- і макрошліфів зразків для досліджень структури, фізико-механічних і експлуатаційних властивостей зразків покриттів здійснювалася з використанням азотної кислоти (HNO3) - ГОСТ 4461-77, етилового технічного спирту (C2H5OH) - ГОСТ 18300-87, дистильованої води (H2O) - ГОСТ 6709, пасти ГОІ № 2 (ТУ 6-18-36) і алмазної пасти НОМ 60/40 (ГОСТ 25593).

Результати оптимізації режимів дугового металізації. В таблицях 3 і 4 наведенні результати визначення режимів дугової металізації методом планування експерименту за критерієм максимальної адгезійної міцності покриттів з порошкового дроту 20Х11Р5Ю3СІ, що визначає їх здатність чинити опір відшаровуванню в умовах експлуатації робочих органів грунтообробних машин.

Таблиця 3. Оцінка статистичної значущості коефіцієнтів*.

Table 3. Estimation of statistical significance of coefficients*.

Фактори	Beta	t (3)	$p-level$
I, А	0,55	8,78	0,005
U, В	0,07	1,38	0,287
T, мм	0,73	12,59	0,002
S, мм	-0,4	-5,05	0,018

* Beta - коефіцієнт регресії; p - рівень значущості; t - Критерій Стьюдента.

Лінійне рівняння регресії адекватно експериментальними даними за критерієм Фішера. Всі коефіцієнти рівняння регресії, крім визначального вплив напруги дуги, статистично значущі за t-критерієм Стьюдента для заданого p-рівня значущості.

Таблиця 4. Оцінка адекватності лінійної моделі *

Table 4. Assessment of the adequacy of the linear model *

Factor	SS	cc	MS	F	p
I, A	90,64	1	89,06	78,06	0,004
U, B	2,18	1	2,14	1,84	0,267
T, мм	184,16	1	184,16	159,45	0,001
S, мм	28,95	1	29,95	25,20	0,015
Error	3,46	3	1,16		
Total SS	308,33				

* SS – сума квадратів; cc – ступінь свободи; MS – середнє квадратичне; F – критерій Фішера; p – рівень значущості.

Оцінити залежність адгезійної міцності покриття від параметрів ДМ можна за результатами регресійного аналізу:

$$y = 0{,}52x_1 + 0{,}74x_3 - 0{,}34x_4 \qquad (2)$$

де x_1 - струм дуги, А; x_3 - товщина покриття, мм; x_4 - дистанція напилювання, мм.

Отримані результати виконані за допомогою графіків поверхні (рис. 4 і рис. 5).

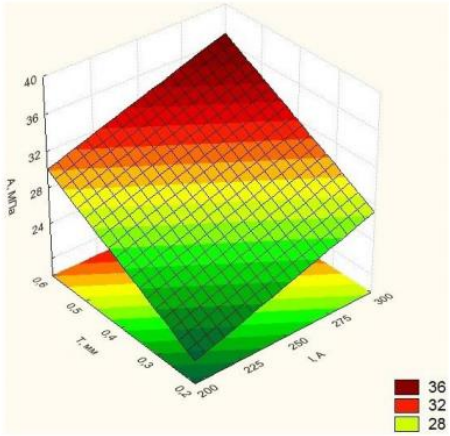


Рис. 4. Графік поверхні для факторів струму дуги і товщини покриття.

Fig. 4. Graph of the surface for the factors of arc current and coating thickness.

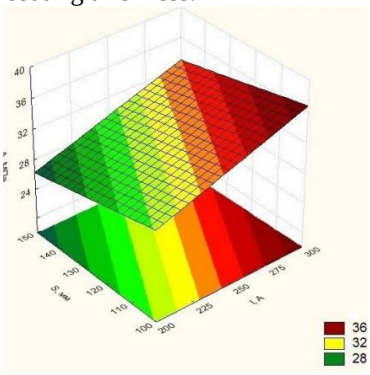


Рис. 5. Графік поверхні для факторів струму дуги і дистанції напилювання.

Fig. 5. Graph of the surface for the factors of arc current and spraying distance.

Аналіз наведених даних дозволяє зробити висновок, що адгезія металізаційних покриттів зростає зі збільшенням їх товщини, струму дуги, а також зменшенням дистанції напилювання (впорядку зменшення ефекту чинників), вплив напруги дуги статистично значимий.

При ДМ збільшення струму дуги призводить до підвищення температури частинок, розвитку взаємодії в контакті «частинка-підкладка» і підвищенню адгезійної міцності покриття. Збільшення напруги дуги, незважаючи на підвищення температури частинок, призводить до зниження коефіцієнта використання металу частинок і його вигоряння за рахунок збільшення довжини дуги [4], що, мабуть, обумовлює малий вплив цього фактора на адгезію металізаційного покриття. Отримані в даній роботі закономірності збігаються з даними інших авторів [3, 4]. При ДМ питома енергія, що витрачається на плавлення, перегрів і випаровування металу, з ростом потужності дуги збільшується, а отже, збільшується і температура розпилюються частинок. Збільшення температури розпилюються частинок в свою чергу призводить до підвищення міцності зчеплення, щільності і розвиненості поверхні одержуваних покриттів.

При виборі режиму слід прагнути до мінімальних значень напруги дуги без порушення стабільності процесу, а необхідну для перегріву напилюваних частинок величину потужності встановлювати за допомогою зміни сили струму [7].

Для оптимізації технологічних параметрів дугової металізації за критерієм максимальної міцності напилюваних покриттів застосовували метод крутого сходження, таблиця 4 [7].

В результаті визначені оптимальні параметри дугової металізації покриттів з порошкового дроту 20Х11Р5Ю3СІ: $I = 320 \pm 15$ А; $U = 34 \pm 1{,}5$ В; $S = 0{,}7 \pm 0{,}05$ мм; $L = 95 \pm 5$ мм, це металізаційне покриття виявилось найбільш зносостійким, тому можна констатувати, що воно і має найбільшу адгезійну міцність.

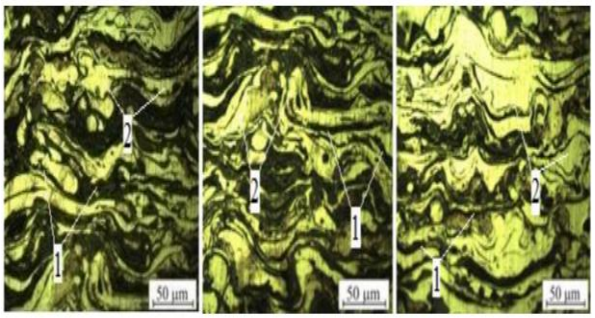
Таблиця 5. Оптимізація режимів дугової металізації методом крутого сходження.

Table 5. Optimization of arc metallization modes by steep ascent.

Характеристика	Фактор		
	x_1, А	x_3, мм	x_4, мм
Нульовий рівень x_{i0}	300	0,8	100
Інтервал варіювання Δx_i	50	0,2	25
Коефіцієнт b_i	0,54	0,75	-0,30
Добуток $b_i \Delta x_i$	27	0,15	7,5
Крок h_a при зміні базового фактору x_i на 10	10	0,054	2,778
Округлення кроку варіювання	10	0,05	2,8
Змінна стану	Крутий ріст		
$\bar{y}$	310	0,65	97,2
36,97	310	0,65	97,2
42,76	320	0,7	94,4
31,18	330	0,75	91,6

Отримані метализаційні покриття (рис. 6) мають характерну для методів газотермічного напилення ламелярно-пористу структуру, де світлі ділянки - металева основа, яка формується з крапель розплавленого металу, а темні - прошарку оксидів, що утворюються при окисленні крапель на дистанції напилювання. Покриття відрізняються значною нерівномірним сплавом окремих напилених часток один з одним. Ймовірно, мікрогетерогенність структури покриттів обумовлена наявністю в ПП тугоплавких борвмісних компонентів.

Покриття з порошкового дроту 20Х11Р5Ю3СІ (рис.6, в) мають меншу мікрогетерогенність, їх структура тонша, оксидних плівок менше, і вони дрібніші, що, ймовірно, пов'язано з меншим ступенем окислення покриттів.



а) б) в)

Рис. 6. Структура на поперечних шліфах покриттів: а – порошковий дріт 45Х13Р5СІ; б – порошковий дріт 20Х11Р5С5І; в – порошковий дріт 20Х11Р5Ю3СІ 1 – оксидні плівки; 2 – метал.

Fig. 6. Structure on cross sections of coatings: a – flux-cored wire 45X13P5CI; b – flux-cored wire 20X11P5C5I; in – flux-cored wire 20X11P5Ю3CI 1 – oxide films; 2 – metal.

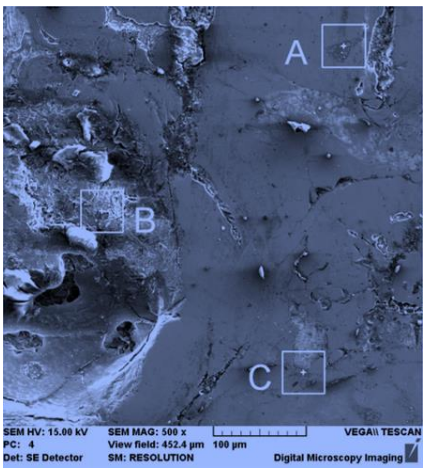


Рис.7. Мікроструктура покриття з порошковим дротом 20Х11Р5Ю3СІ: А, В, С – ділянки мікроструктури з різним складом.

Fig.7. The microstructure of the coating with flux-cored wire 20X11P5Ю3CI: A, B, C - areas of the microstructure with different composition.

Раніше зазначалось [11], що оксидні плівки сприяють відшаровування металу за механізмом внутрішнього тертя, збільшуючи швидкість механічного зносу покриття. Сприятлива мікроструктура покриття з порошкового дроту 20Х11Р5Ю3СІ з мінімальною кількістю оксидних плівок в кінцевому підсумку може обумовлювати високі показники його фізікомеханічних і експлуатаційних властивостей.

За результатами визначення пористості покриття з порошкового дроту 45Х13Р5СІ максимальний розмір пор становить 24,2 мкм, мінімальний - 1,2 мкм, при цьому число пор з розміром до 10 мкм оцінюється в 92,8%, площа зазначених пор становить 69,7%, обсяг - 46,7% (таблиця 6).

Таблиця 6. Розподіл часу покриття з порошковим дротом 45Х13Р5СІ за розмірами, площі і обсягу.

Table 6. Distribution of coating time with flux-cored wire 45X13P5CI by size, area and volume.

D, мкм	0,-2	2-4	4-6	6-8	8-10	Σ
n,%	30,0	43,5	12,0	4,4	1,8	91,7
A,%	5,4	22,6	19,8	13,12	9,8	70,72
V,%	1,12	8,3	12,92	12,4	11,56	46,3

Таблиця 7. Розподіл часу покриття з порошковим дротом 20Х11Р5С5І по розмірам, площі і об'єму.

Table 7. Distribution of coating time with flux-cored wire 20H11R5S5I by size, area and volume.

D, мкм	0,-2	2-4	4-6	6-8	8-10	Σ
n,%	30,2	42,5	12,8	5,5	2,3	93,3
A,%	5	20,8	17,9	14,8	11,8	70,3
V,%	1,01	8,5	11,75	13,8	14,1	49,16

Таблиця 8. Число пор з розміром до 10 мкм.

Table 8. The number of pores up to 10 µm.

D, мкм	0,-2	2-4	4-6	6-8	8-10	Σ
n,%	31,8	43,9	13,5	5,7	2,8	97,7
A,%	5,3	21,7	18,9	15,9	12,7	74,5
V,%	1,15	8,8	12,7	14	13,9	50,55

Для покриття з порошкового дроту 20Х11Р5С5І максимальний розмір пор становить 27,7 мкм, мінімальний - 1,2 мкм, при цьому число пор з розміром до 10 мкм оцінюється в 92,5%, площа зазначених пор складає 69,4%, обсяг - 47,9% (таблиця 7). Для покриття з порошкового дроту 20Х11Р5Ю3СІ максимальний розмір пор становить 28,3 мкм, мінімальний - 0,5 мкм, при цьому число пор з розміром до 10 мкм оцінюється в 96,2%, площа зазначених пор складає 72,2%, обсяг - 49,8% (таблиця 8).

Число великих пор з розмірами більше 10 мкм для покриттів порошкового дроту 45Х13Р5СІ, 20Х11Р5С5І, 20Х11Р5Ю3СІ оцінюється в 2,2; 2,5 і 2,6%, що дозволяє зробити припущення про їх незначну роль в зниженні стійкості покриттів до ударно-абразивного зносу. дрібнопориста структура покриттів свідчить про стабільність процесу розпилення порошкового дроту. При цьому найменша пористість у покриття з порошковим дротом 20Х11Р5Ю3СІ (2,8%), а найбільша – у покриття з порошковим дротом 45Х13Р5СІ (3,5%).

Висновки

1. Отже, Впровадження технології газотермічного напилення для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин, дає змогу розкрито вплив складу напилюваних матеріалів і режимів їх нанесення на процес при напиленні окисленні покриттів, що визначає їх фізикомеханічні і експлуатаційні властивості, зокрема стійкість до ударно-абразивного зносу, характерного для умов роботи робочих органів ґрунтообробних машин.

2. Під час проведення дослідєення було встановлено, залежність фізіко-механічних і експлуатаційних властивостей металізаційних покриттів з порошкових дротів від їх системи легування. Мікротвердість покриттів з порошкового дроту 20Х11Р5Ю3СІ в середньому в 1,35 рази вище, пористість в 1,45 рази нижче, а зносостійкість в 1,15 рази вище, ніж для покриттів з порошкового дроту 60Х13Р5СІ. Металографічні дослідження показали, що структури металізаційних покриттів з порошкових дротів 60Х13Р5СІ, 20Х11Р5С5І, 20Х11Р5Ю3СІ відрізняються.

3. Експлуатаційні дослідження розпушуючих лап з покриттям з порошкового дроту 20Х11Р5Ю3СІ показали, що відносна зносостійкість зміцнених крилоподібних лемішів склала 2,18-2,66 рази, для двостороннього долота - 1,97-2,45 рази по відношенню до серійних, що обумовлено високими показниками фізико-механічних і експлуатаційних властивостей металізаційних покриттів. Розроблено технологічний процес дугової металізації зносостійких покриттів з порошкового дроту 20Х11Р5Ю3СІ, що дозволяє підвищити зносостійкість робочих поверхонь розпушуючими лапами культиватора і їх ресурс в 1,8 рази.

Список літератури

1. Ринок сільгосптехніки України очима її дилерів: веб-сайт. URL: http://www.agroprofi. com.ua/statti/1726-rynok-silhosptekhniky-ukrayiny-ochyma-yiyi-dyleriv (дата звернення 01.10.21 р.).

2. *E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak, L. Shvets, Y. Paladiichuk, P. Aksom, I. Rybak, B. Sabadach, V. Hryhorychen.* Influence of a material the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 5/12 (95). ISSN 1729-3774. P. 48-56.

3. *Шкільов О. В.* Стан матеріально-технічної бази сільського господарства та джерела її оновлення. Формування і реалізація державної політики розвитку матеріально-технічної бази агропромислового комплексу в Україні. Київ. ІАЕ УААН, 2003. С. 398-400ю

4. Ринок техніки 2020: чи буде трактор у полі: веб-сайт. URL: https://agroportal.ua/ua/views/blogs/ rynok-tekhniki-2020-budet-li-traktor-v-pole.

5. *Непочатенко А. В.* Вплив рівня зносу машиннотракторного парку на основні результативні показники діяльності сільськогосподарських підприємств. Економіка та управління АПК. Біла Церква. 2012. Вип. 9 (97). С. 9-12.

6. *Paladiichuk Y.* Desining the structures of solid-alloy elements for broaching the holes of significant diameter based on the assessment of their strength Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. № 3 (7-105). P. 57-65.

7. *Добровольський А. Г.* Абразивна зносостійкість матеріалів: довідковий посібник. Київ: Техніка. 1989. 128 с.

8. *Сідашенко О. І.* Ремонт машин та обладнання: підручник. Харків. Міськдрук. 2010. 744 с.

9. *Wielage B., Pokhmurska H., Student M., Gvozdeckii V., Stupnyckyj T., Pokhmurskii V.* Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures. Surface & Coatings Technology. 2013. Vol. 220. P. 27-35.

10. *Будко С. І.* Методи підвищення ефективності зміцнення деталей лемішно-відвальних плугів дуговим наплавлення твердими сплавами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2009. 20 с.

11. *Молодецька Т. І.* Дослідження напружено-деформованого стану процесу згину покритих матеріалів. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Фізика». 2021. Вип. 50. С.15-24. doi: 10.24144/2415-8038.2021.50.15-24

References

1. The market of agricultural machinery of Ukraine through the eyes of its dealers: website. URL: http://www.agroprofi.com.ua/statti/1726-rynok-silhosptekhniky-ukrayiny-ochyma-yiyi-dyleriv.

2. *E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak, L. Shvets, Y. Paladiichuk, P. Aksom, I. Rybak, B. Sabadach, V. Hryhorychen.* (2018). Influence of a material the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 5/12 (95). ISSN 1729-3774. 48-56.

3. *Shkilov O. V.* (2003). The state of the material and technical base of agriculture and the sources of its renewal. O.B. Schools. Formation and implementation of the state policy of development of material and technical base of the agro-industrial complex in Ukraine. IAE UAAS. 398-400.

4. Machinery market 2020: will the tractor be in the field: website. URL: https://agroportal.ua/en/views/blogs/ rynok-tekhniki-2020-budet-li-traktor-v-pole.

5. *Nepochatenko A. V.* (2012). The influence of the level of wear of the machine-tractor fleet on the main performance indicators of agricultural enterprises. Economics and management of agro-industrial complex: coll. Science. wash. Bila Tserkva. 9(97). 9-12.

6. *Paladiichuk Y.* (2020). Desining the structures of solid-alloy elements for broaching the holes of significant diameter based on the assessment of their strength Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3(7-105). 57-65.

7. *Dobrovolsky A. G.* (1989). Abrasive wear resistance of materials: a reference guide. Kyiv. Tehnika. 128.

8. *Sidashenko O.I.* (2010). Repair of machinery and equipment: Textbook. Miskdruk. 744.

9. *Wielage B., Pokhmurska H., Student M., Gvozdeckii V., Stupnyckyj T., Pokhmurskii V.* (2013). Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures. Surface & Coatings Technology. 220. 27-35.

10. *Budko S. I.* (2009). Methods for increasing the efficiency of strengthening the parts of ploughshare-dump plows by arc surfacing with hard alloys: author's ref. dis. ... cand. tech. Science. 20.
11. *Molodetska T. I.* (2021). Investigation of the Stress-Strain State of the Bending Process of Coated Materials . Scientific Herald of Uzhhorod University. Series “Physics”, (50), 15-24. doi: 10.24144/2415-8038. 2021.50.15-24

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ МАШИН НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Ю. Б. Паладийчук, Ю. М. Мельник

Аннотация. Интенсивное уплотнение почвы, вызванное применением современных мощных тракторов с большим весом и наличием в них больших рабочих скоростей, и как следствие уменьшается срок эксплуатации почвообрабатывающей техники. Сложные погодные условия вызывают увеличение нагрузки на рабочие органы почвообрабатывающих машин, при этом происходит износ поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных агрегатов.

В статье рассматривается проблема повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин за счет нанесением износостойких покрытий. Проанализированы виды износа и влияние абразивных материалов на рабочие органы почвообрабатывающих машин. Визначинни оптимальные материалы и методы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин. Рассмотрены особенности формирования метализацийного покрытия, отражается в его структуре и характере дефектов, которые могут отличаться по размерам, плотности, морфологии и ориентации. Обгрунтованно зависимость свойств покрытий от системы легирования материала. Наведение оборудование и материалы для нанесения покрытий.

С учетом полученной информации, сделанной выводы и проведен анализ технологии нанесения износостойких покрытий для повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Ключевые слова: почвообрабатывающая техника, техническое обслуживание, обработка почвы, металлизация, наплавка, порошковая проволока, дуговая металлизация, напыления.

RESTORATION RESOURCE OF WORKING BODIES OF SOIL TREATMENT MACHINES BY APPLYING WEAR-RESISTANT COATINGS

Yu. B. Paladiychuk, Ju. M. Melnik

Abstract. Intensive soil compaction, which is caused by the use of modern powerful tractors with high weight and the presence of higher working speeds, and as a result reduces the service life of tillage equipment. Difficult weather conditions cause an increase in the load on the working bodies of tillage machines, with the wear of the surfaces of the working bodies of agricultural units.

The article considers the problem of increasing the resource of the working bodies of tillage machines due to the application of wear-resistant coatings. The types of wear and the influence of abrasive materials on the working bodies of tillage machines are analyzed. Determined optimal materials and methods to increase the wear resistance of the working bodies of tillage machines. Features of formation of a metallization covering which is reflected in its structure and character of defects which can differ in the sizes, density, morphology and orientation are considered. The dependence of the properties of coatings on the material doping system is substantiated. Equipment and materials for coating are given.

Taking into account the received information, conclusions are made and the analysis of technology of drawing wear-resistant coverings for increase of a resource of working bodies of tillage machines is carried out.

Key words: tillage equipment, maintenance, tillage, metallization, surfacing, flux-cored wire, arc metallization, spraying.

Ю. Б. Паладійчук ORCID 0000-0003-4257-9383.
Ю. М. Мельник ORCID 0000-0002-0827-5135.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 53-59
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.053

UDC [656.078.1+161.2]:664

FOOD SUPPLY TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM ORGANIZATIONS

O. M. Zagurskiy, T. S. Zhurakovska

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

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

Corresponding authors: zagurskiy_oleg@ukr.net.

Article History: Received – June 2021, Accepted – November 2021, Published – 17 December 2021.
Bibl. 24, fig. 1, tabl. 2.

Abstract. The logistics system for agricultural products distribution in the current global economy is the main topic for discussion in society and in the scientific literature, and food security is closely linked to the concept of sustainable economic development.

The article considers a number of factors influencing the efficiency of logistics systems for agricultural products distribution in the global economy and analyzes the problems that arise in the management of business processes in food supply chains. It is determined that in the agri-food chain the decisive factors for creating and maintaining competitive advantages are access to the best buyer at the appropriate level of quality, with the required shelf life and proper passage through the supply chain.

In the context of globalization, the competitive advantages of logistics services, based only on price and consumer properties, lose their leading importance, and in the first place are flexibility, limited lead time, reliable and high-quality supplies, choice, and so on. The complexity of the organization of transport and logistics systems for the supply of perishable food products is due to, on the one hand, the participation of a large number of links in the chain, and, on the other hand, the features of perishable goods.

Key words: agrologistics, efficiency, losses, transport and logistics system, food products.

Introduction

The need to feed the world's ever-growing population is prompting countries around the world to take measures to reduce the millions of tons of perishable waste that can be avoided throughout the supply chain. A significant part of these losses is due to suboptimal processes and the provision of transport and logistics systems for food supplies. In addition, the global coronavirus pandemic has significantly disrupted traditional supply chains and necessitated the preservation of much larger amounts of food, which further increases the likelihood of their loss.

Formulation of problem

It should be noted that the problem of food losses at all stages of the transport and logistics chain is inherent in most economies and needs to be addressed both at the national level to improve the efficiency of the agricultural sector and the welfare of the population and internationally for development, addressing the complex issues of global food security and preventing hunger. After all, modern global transport and logistics systems of food supply face a variety of social problems that are constantly deepening.

Analysis of recent research results

In most developed countries, corporate logistics costs and their share in gross national product are constantly growing. In this regard, all countries of the world develop national strategies for the development of logistics systems and conduct research on the feasibility of realizing the existing logistics potential in accordance with the strategic priorities of the national economy.

In recent years, issues and problems of organization of agrological activities have been raised in the works of V.A. Kulik, V.Ye. Marchuk, O.M. Garmash, A.P. Zakharchuk, Yu.O. Gradysky [2]; O.B. Mnykh and B.D. Grechyn [3]; R. Badia-Melis, U. Mc Carthy, L. Ruiz-Garcia, J. Garcia-Hierro, J.I. Robla Villalba [8]; A. Chaudhuri, I. Dukovska-Popovska, N. Subramanian, H. Chan, R. Bai [9]; J. Dai, W. Che, J.J. Lim, Y. Shou [10]; A. Ratul, F.Z. Megat, S. Nazmus [18]; Rachel A. Weim, John P. Reganold, David W. Crowder, Kevin M. Murphy, Lynn A. Carpenter-Boggs [19]; Zagurskiy, S. Rogach, L. Titova, I. Rogovskii, T. Pokusa [22] and other scientists.

However, despite the significant number of developments, it is not necessary to determine that a comprehensive approach to the effective organization of transport and logistics systems of food supply needs to be expanded and improved. And bearing in mind the fact that a significant part of logistics operations on the movement of material flow from the primary source of raw materials to the final consumer is carried out using different modes of transport, and the cost of these operations is up to 50% of total logistics costs, it should be emphasized the need to

consider the optimization of logistics costs in the transportation of food.

Purpose of research

The purpose of the article is to consider the factors influencing the efficiency of logistics systems for the distribution of agricultural products in the global economy and to analyze the problems that arise in the management of business processes in food supply chains.

Research results

The logistics system for agricultural products distribution in the current global economy is the main topic for discussion in society and in the scientific literature, and food security is closely linked to the concept of sustainable economic development. Logistics, as a science and practice of managing material and related flows of financial resources and information is becoming increasingly popular in the agricultural sector.

It is clear that the need to use the tools of logistics in the process of logistics of agricultural production and marketing, i.e. in the field of agro-industrial complex and the creation of a new direction in logistics - agro-logistics. After all, the organization of resource provision of agricultural producers and the promotion of their products on the market on the principles of logistics gives significant economic, social and environmental effects. O. M. Sumets defines "agrologistics" as a scientific and practical direction in the management system of agricultural entities, which allows to increase the economic efficiency of their activities by reducing intra-firm costs associated with the implementation of logistics operations and processes in the production, storage and movement of agricultural products and information about it at a certain logistics site within the established time limits, and ensuring timely and quality customer service [4].

However, if we consider the logistics system of agriculture from a functional approach, we can give the following definition: agrologistics is the interaction of cyclical forecasting and planning of agricultural production, obtaining loans or funds, purchase or preparation for the season of machinery and equipment, procurement of materials, production, processing, delivery of finished products to consumers, receipt of proceeds to the accounts of enterprises.

From the process approach agrologistics is a form of optimal organization of flows of material and technical products between suppliers and consumers of this product in a market economy, as well as rational planning, regulation and management of financial, information, service and other flows in agriculture.

Agrologistics is directly related to the distribution of agricultural products, and in a broader sense - with the creation of the most optimal system of movement of all types of agricultural products in the distribution network with high standards of service in the field of consumption. Accordingly, the management of transport and logistics systems for the supply of agricultural products should be aimed primarily at transforming the supply chain into a single, efficient system of customer service - the population.

Table 1. List of the main problems of creating an effective transport and logistics system for agricultural products distribution and ways to solve them.

Problematic issues	Solutions
Infrastructure	Investing in joint logistics centers that will create a scale effect that will increase logistics efficiency by reducing routes, distances and transportation times
Information Technology	The implementation of information technology will help reduce losses and increase competitiveness.
Integrated logistics systems	Improving the efficiency of agri-food supply chain management is aimed at uniting all participants in the supply chain into a single, efficient system
Qualified personnel	Training of specialists in the field of logistics management and employees specializing in the finishing of products with a limited shelf life.
Specialized vehicles	Involvement of refrigeration equipment in the supply chain of agricultural products increases its quality and freshness and extends the shelf life.
Services of logistics companies	Involvement of logistics service operators.
Packaging	Improving packaging technologies that minimize losses and ensure appropriate product quality.
Monitoring and traceability	Improving monitoring of product identification and taking measures to maintain its proper quality

Source: compiled by the authors on the basis of literary sources

Analysis of literature sources [13, 21] allows to form the main problems on the way to the formation of an effective transport and logistics system of agricultural products distribution and possible solutions (Table 1).

Despite all the problems and shortcomings of the agro-industrial complex, the World Bank estimates that GDP growth, which is due to agricultural growth, is at least twice as effective in reducing poverty as GDP growth in other industries, and it is the innovative development of this industry provides a large reduction of rural poverty in recent years in many countries around the world. In addition, the calculations of scientists show that one percent of additional products produced in the agricultural sector, provides an increase in production of industrial infrastructure by 2.5%, respectively, manufacturing by 1.4%, transport services – by 0.33%, adequate trade – by 2.7% [20].

Therefore, accelerating the growth rate of agricultural production on the basis of increasing its competitiveness is a

priority of economic policy [5]. If we add to this that the reduction of logistics costs by about 1% is equal to an increase in sales by 10%, it becomes clear that a well-built transport and logistics system at an agricultural enterprise can provide more income than the traditional extensive business development scheme.

Modern development of agro-industrial complex with application of agrologistics will allow:

- reduce stocks along the entire path of material flow by 30-50%;
- reduce the time of movement of goods along the logistics chain 25-45% (according to scientists of the Institute of Agrarian Economics UAAS transportation of products by field roads, which are typical for most domestic transportation at grain producers, accompanied by annual losses of 1-2% of gross grain harvest) [6];
- reduce transportation costs;
- reduce the cost of manual labor.

The above indicates the need to adapt the transport and logistics systems of the agro-industrial complex to the market model of management. The development of logistics in the agro-industrial complex will soon become more and more popular. Its colossal efficiency in business development is proved by the results of application of the logistics approach in the economy of developed countries and large agrarian vertically integrated firms.

Therefore, if we consider the transport and logistics systems of agro-industrial complex or agri-food supply chains, it should be noted that these are self-organized systems that depend on the internal and external environment. Over time, some factors determine the evolutionary direction of the entire system. The self-organizing system has the initiative to adapt and choose parameters, which means that key enterprises can negotiate and actively cooperate, weakening and assimilating negative parameters, and vice versa, increasing and developing positive parameters.

As a result, synergies between key enterprises and synergies between supply chains and the environment can be created, and supply chain efficiencies can be improved. Under certain conditions, supply chain subsystems can form self-organized structures and create new ordered connections through nonlinear interaction [12].

In the agri-food chain, the decisive factors for creating and maintaining a competitive advantage are access to the best buyer (the one who provides the highest income) at the appropriate level of quality, with the required shelf life and proper passage through the supply chain [7].

However, these requirements need to be expanded when we talk about sustainable development issues in strategic decision making. Since the ultimate goal of a sustainable agri-food chain is to meet the needs of consumers, it will be most appropriate to take into account the impact of operating activities on the environment and society. In his research, O. P. Velichko [1] and M. P. Butko emphasize that in the conditions of transformation the concept of socially responsible business is gradually spreading. In their opinion, socially responsible companies get a positive result from their social activities aimed at both external and internal environment, which is manifested in increased productivity, increasing product quality, reducing the duration of the production cycle, as well as increasing the company's reputation, increasing volume sales and a positive attitude of the population to the company, which they propose to perceive as a long-term unique competitive advantage of the firm.

At the same time, food products are special and so far irreplaceable goods of daily consumption. Their availability, quality and accessibility are the main conditions of human life and ability to work. However, despite the stable demand for food, the current market situation is characterized by certain difficulties:

1. Increasing customer requirements for product quality.
2. The importance of maintaining consistent results.
3. Unpredictable changes in the market.
4. Rising logistics costs [9].

Given this, companies in the food and processing industries, to ensure the competitiveness of their products, it is necessary to maintain a balance in the supply chain by providing optimal solutions that provide value to the company, namely:

- support of logistics costs at a reasonable level;
- efficiency of use of production equipment;
- differentiation of markets;
- providing opportunities for production growth;
- ensuring the reliability and sustainability of supplies of their products [14].

Along with the difficulties in managing business processes in food supply chains, there are also a number of problems in the development of the market for such products in general:

1. Constant changes in the formats of retail trade - the growth of forms of sales channels. Retailers seek to reach customers in different geographical locations, they create different store formats, which in turn requires an understanding of the business model for each store format and the orientation of logistics to this format;
2. Expansion and specialization of the range. Retailers use customer segmentation to more accurately identify their needs. However, most of them are unable to support the growth of the range, which affects the availability of goods on the shelf. Compliance with this requirement requires a reduction in the supply of individual items and a corresponding increase in logistics costs in general;
3. The growing importance of individual products. Trademarks are a source of differentiation for retailers. Providing these items with stocks requires significant support for demand, which is difficult to obtain without sales statistics, which leads to both an increase in the level of stocks and additional transportation costs. Accordingly, improving the quality of the forecast will increase the quality of forecasting parameters, and this will affect the level of stocks in the supply chain. Reducing inventories in the supply chain will reduce the share of urgent supplies and, as a result, reduce logistics costs.

The presence of internal difficulties in managing food supplies and external externalities in this market encourages the analysis of the supply chain and the technologies used in it. If we consider in detail the process structure of the food supply chain, it usually contains all types of activities for growing and preparing raw materials, direct production of the final product and all post-production activities, such as storage, transportation, sale (wholesale and retail) of finished products, its export and imports.

It should be noted that these activities have a number of specific characteristics such as the duration of the finished

product, seasonality in production, limited shelf life, the need for air conditioning during transportation and storage.

In this regard, food supply chains are subject to increased requirements related to their safety. The rigidity of food safety rules and the growing awareness of consumers about food safety are encouraging businesses to take steps to improve and modernize agri-food chains and are attracting increasing attention from researchers in food science, technology and supply chain management.

To ensure food safety, their quality must be carefully and continuously monitored and controlled at every stage of the supply chain. The International Organization for

actor contributing to such a high level of waste is the inability to control/monitor the temperature in global food logistics systems [8].

The problem of food losses at all stages of the transport and logistics chain is inherent in most economies and needs to be addressed both at the national level to improve the efficiency of the agricultural sector and the welfare of the population and internationally to solve complex problems. related to global food security and hunger prevention.

Thus, in the United States, Canada, Australia and New Zealand (in total) in 2011 (according to the Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO) there were the following losses:

Standardization (ISO) provides the most popular definition of food quality "A set of properties and characteristics of products and services related to the ability to meet the established requirements or needs of the consumer" [17].

Therefore, in order to preserve the value and quality of food products and meet customer requirements, the freshness and safety of these products must be ensured at every stage of the logistics chain. However, modern global transport and logistics food supply systems face a variety of social problems that are constantly deepening. As a result, many of them work "below ideal", with the result that about one-third of the food produced for human consumption is lost. A key f

- grain products: 38% lost vs 62% consumed;
- seafood: 50% lost vs 50% consumed;
- fruits and vegetables: 52% lost vs 48% consumed;
- meat: 22% lost vs 78% consumed;
- milk: 20% lost vs 80% consumed [15].

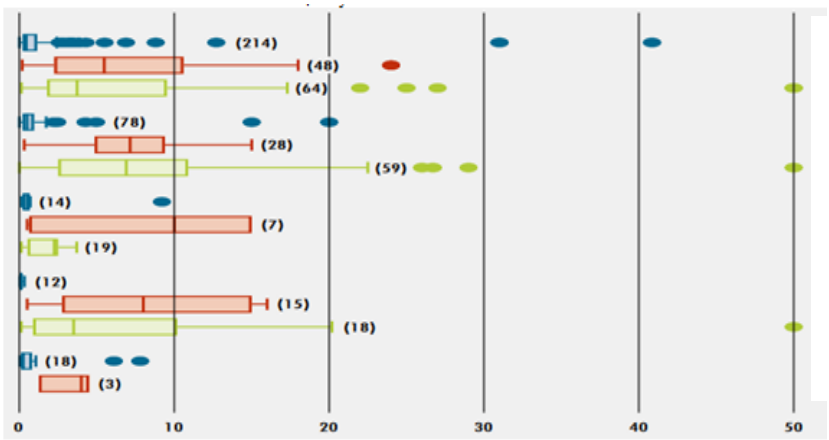
Moreover, food losses occur along the entire food production and distribution chain. Thus, the data of the Regional Office for Europe and Central Asia of the Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO show that the aver age loss of basic perishable foods (cereals, potatoes, fruits and vegetables, meat, milk) is almost evenly distributed between supply chain operations (Table 2).

Table 2. Average level of losses of agricultural products along the supply chain, %.

Product	Supply chain operations				
	Production	Storage	Processing and packaging	Distribution	Consumption
Crops	10-40	5-10	5-10	4-10	5-15
Potatoes	10-20	10-30	2-5	2-10	2-15
Fruits and vegetables	2-10	10-40	2-5	5-15	5-10
Meat	5-15	5-20	5-15	5-20	2-5
Milk	10-30	2-5	10-30	10-20	10-15

Source: Themen D. Food losses and waste in Ukraine [Electronic resource]. Regional Office for Europe and Central Asia Food and Agriculture Organization of the UN. 2013. URL: http://www.fao.org/europe/agrarian-structures-initiative/en

If we consider in more detail the places of origin and scale of losses and spoilage of food products at all stages of the food supply chain, for example for cereals and legumes (Fig. 1), then according to FAO studies in 2000-2017, conducted for countries in Asia and Africa, they were as follows.



NOTE: the number of observations is given in parentheses. Dates (2000-2017) refer to the time of the measurements, but in cases where the survey dates were unknown or known inaccurately, the dates of their publication were used.

Fig. 1. Places of loss and spoilage of cereals and legumes in Asia and Africa in 2000-2017- (%)

Source: FAO research data for 2000-2017.

Such losses led to the fact that in 2010 the total volume of unsold goods increased by 3-5 billion US dollars compared to 2008 [16].

In our opinion, the reasons for such deterioration can be divided into three categories. Firstly, the reduction of consumer tolerance regarding to the level of food quality. Secondly, it is the potential lack or lack of control over the cargo, which can lead to the supply to the market of unmarketable goods, which, in turn, can pose a threat to consumer health. Product spoilage during distribution is a serious problem. About one-third of the world's food production is spoiled or lost, with a total loss of 1.3 billion tons per year. Food losses in the United States alone are estimated at about 10% of the country's total food supply at the retail level [15]. Thirdly, the difficulty is the urgent need to reduce high operating costs in transport and logistics systems and at the same time increase the efficiency of their work.

Conclusions

1. In the context of globalization, the competitive advantages of logistics services, based only on price and consumer properties, lose their leading importance, and in the first place are flexibility, limited lead time, reliable and high-quality supplies, choice, and so on. In the context of globalization, effective management of logistics and trade flows have become a central element of the competitiveness of almost any company that plans to operate internationally. And the global trend of logistics of the modern economy is "7R" rule whose main slogan is: the right product - the right quality - in the right quantity - must be delivered - at the right time - and in the right place - the right consumer - with the right level of costs.

2. The complexity of the organization of transport and logistics systems for the supply of perishable food products is due to, on the one hand, the participation of a large number of links in the chain, and, on the other hand, the features of perishable goods, namely: scattering of perishable food production points; seasonality of freight flows; the complexity of coordination of loading and unloading processes on interacting modes of transport; indeterminate arrival of rolling stock to transshipment points (transport hubs); non-deterministic mode of transportation of perishable goods to wholesale collection points; forced the need for reverse empty run of rolling stock; the need to pass phytosanitary and veterinary control when crossing state borders, which delays cargo at terminals of departure and destination, often not adapted for storage of perishable products.

References

1. *Velychko O. P., Butko M. P.* (2017). Management of distribution activities of food industry enterprises. Modern transformations of the organizational and economic mechanism of management and logistics of business entities in the system of economic security of Ukraine. Dnipro. Bila K.O. 125-130.

2. *Kulyk V. A., Marchuk V. Ye, Harmash O. M., Zakharchuk A. P., Hradys'kyj Yu. O.* (2019). Formation of global chains of complex supplies in the system of agrologistics. Tekhnichnyj servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv. 16. 61-69.

3. *Mnykh O. B., Hrechyn B. D.* (2016). Strategic role of ecology in the development of the enterprise in the deepening of the ecological crisis in Ukraine. Ekonomichnyj analiz. 2. 108-118.

4. *Sumets O. M.* (2016). Logistic activity of enterprises of oil and fat industry and evaluation of its efficiency: avtoref. dys. ... d-ra ekon. nauk . 08.00.04. NUKhT. 43.

5. *Ulianchenko Yu. O.* (2013). Competitiveness of the agricultural sector of the economy: mechanisms of state regulation]. Kharkiv: Vyd-vo Asotsiatsii doktoriv hauk z derzh. upravl. 368.

6. Formation and functioning of the market of agro-industrial products: a practical guide. (2000). Kyiv. IAE. 556.

7. *Ahumada O., Villalobos J. R.* (2011). Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products.International Journal of Production Economics. 133. 677-687.

8. *Badia-Melis R., Mc Carthy U., Ruiz-Garcia L., Garcia-Hierro J., Robla Villalba J. I.* (2018). New trends in cold chain monitoring applications - a review. Food Control. 86. 170-182.

9. *Carter R. H.* (1985). Stores Management and Related Operations. Second Ed. Macdonald & Evans. XII. 228.

10. *Chaudhuri A., Dukovska-Popovska I., Subramanian N., Chan H., Bai R.* (2018). Decision-making in cold chain logistics using data analytics: a literature re-view. International Journal of Logistics Management. 29(3). 839-861.

11. *Dai J., Che W., Lim J. J., Shou Y.* (2020). Service innovation of cold chain logistics service providers: A multiple-case study in China, Industrial Marketing Management. 89. 143-156.

12. *Dan T.* (2012). Developing Agricultural Products Logistics in China from the Perspective of Green Supply Cain. International Jornal of Business and Management. 7. 106-111.

13. *Fonseca J. M.,Vergara N.* (2014). Logistics systems need to scale up reduction of produce losses in the latin america and caribbean region. Proc. III rd Int. Conf. on Postharvest and Quality Management of Horticultural Products of Interest for Tropical Regions. 173-180.

14. Gartner Research: Improving On-Shelf Availability for Retail Supply Chains Requires the Balance of Process and Technology. May 2011. URL. https://www.gartner.com/en/documents/1701615/improving-on-shelf-availability-for-retail-supply-chains.

15. *Gunders D.* (2012). Wasted: How America is losing up to 40 percent of its food from farm to fork to landfill. NRDC Issue Paper Natural Resources Defense Council URL. https://www.nrdc. org/sites/default/files/wasted-food-IP.pdf.

16. *Grunow M., Piramuthu S.* (2013). RFID in highly perishable food supply chains – remaining shelf life to supplant expiry date? Martin Grunow, International Journal of Production Economics. 14(2). URL: https://proxy.library.spbu.ru:2069.

17. ISO 90000-1-94. URL. https://files.stroyinf.ru/Data1/4/4993/index.htm.

18. *Ratul A., Megat F.Z., Nazmus S.* (2020). Enhanced Blockchain transaction: a case of food supply chain management. Journal of Engineering and Applied Sciences. 15(1). 99-106.

19. *Rachel A. Wieme, John P. Reganold, David W. Crowder, Kevin M. Murphy, Lynne A.* (2020). Carpenter-Boggs Productivity and soil quality of organic forage, quinoa, and grain cropping systems in the dryland Pacific Northwest, USA Agriculture. Ecosystems & Environment. 293. 384-392.

20. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. (2011). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan. London. FAO. 285.

21. *Themen D.* (2013). Food losses and waste in Ukraine. Regional Office for Europe and Central Asia Food and Agriculture Organization of the UN. URL: http://www.fao.org/europe/agrarian-structures-initiative/en.

22. *Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T.* (2019). «Green» supply chain as a path to sustainable development. Mechanisms of stimulation of socio-economic development of regions in conditions of transformation. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 199-213.

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

24. *Zhang Y., Zhao L., Qian C.* (2017). Modeling of an IoT-enabled supply chain for perishable food with two-echelon supply hubs. Industrial Management & Data Systems. 117(9). https://proxy.library.spbu.ru:2156.

Список літератури

1. *Величко О. П., Бутко М. П.* Управління дистрибуційною діяльністю підприємств харчової промисловості. Сучасні трансформації організаційно-економічного механізму менеджменту та логістики суб'єктів підприємництва в системі економічної безпеки України: колективна монографія. Дніпро. Біла К.О. 2017. С. 125-130.

2. *Кулик В. А., Марчук В. Є, Гармаш О. М., Захарчук А. П., Градиський Ю. О.* Формування глобальних ланцюгів комплексних постачань в системі агрологістика. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2019. № 16. С. 61-69.

3. *Мних О. Б., Гречин Б .Д.* Стратегічна роль екологістики в розвитку підприємства в умовах поглиблення екологічної кризи в Україні. Економічний аналіз. 2016. № 2. С. 108-118.

4. *Сумець О. М.* Логістична діяльність підприємств олійно-жирової галузі та оцінка її ефективності : автореф. дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.04. НУХТ. Київ. 2016. 43 с.

5. *Ульянченко Ю. О.* Конкурентоспроможність аграрного сектора економіки: механізми державного регулювання: монографія. Харків. Вид-во Асоціації докторів гаук з держ. управл. 2013. 368 с.

6. Формування та функціонування ринку агропромислової продукції: практичний посібник. Київ. IAE. 2000. 556 с.

7. *Ahumada O., Villalobos J. R.* Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products.International Journal of Production Economics. 2011. No 133. P. 677-687.

8. *Badia-Melis R., Mc Carthy U., Ruiz-Garcia L., Garcia-Hierro J., Robla Villalba J.I.* New trends in cold chain monitoring applications - a review. Food Control. 2018. Vol. 86. P. 170-182.

9. *Carter R. H.* Stores Management and Related Operations. Second Ed., Macdonald & Evans. 1985. Vol. XII. 228 p.

10. *Chaudhuri A., Dukovska-Popovska I., Subramanian N., Chan H., Bai R.* Decision-making in cold chain logistics using data analytics: a literature re-view. International Journal of Logistics Management. 2018. Vol. 29. No 3. P. 839-861.

11. *Dai J., Che W., Lim J. J., Shou Y.* Service innovation of cold chain logistics service providers: a multiple-case study in China. Industrial Marketing Management. 2020. Vol. 89. P. 143-156.

12. *Dan T.* Developing Agricultural Products Logistics in China from the Perspective of Green Supply Cain. International Jornal of Business and Management. 2012. No 7. P. 106-111.

13. *Fonseca J. M.,Vergara N.* Logistics systems need to scale up reduction of produce losses in the latin america and caribbean region. Proc. III rd Int. Conf. on Postharvest and Quality Management of Horticultural Products of Interest for Tropical Regions. 2014. P. 173-180.

14. Gartner Research: Improving On-Shelf Availability for Retail Supply Chains Requires the Balance of Process and Technology. May 2011. URL. https://www.gartner.com /en/documents/1701615/improving-on-shelf-availability-for-retail-supply-chains.

15. *Gunders D.* Wasted: How America is losing up to 40 percent of its food from farm to fork to landfill. NRDC Issue Paper 2012 Natural Resources Defense Council URL.: https://www.nrdc. org/sites/default/files/wasted-food-IP.pdf.

16. *Grunow M., Piramuthu S.* RFID in highly perishable food supply chains – remaining shelf life to supplant expiry date? Martin Grunow. International Journal of Production Economics. 2013. Vol. 146. Issue 2. https://proxy.library. spbu. ru: 2069.

17. ISO 90000-1-94. URL. https://files.stroyinf.ru/ Data1/4/4993/index.htm.

18. *Ratul A., Megat F. Z., Nazmus S.* Enhanced Blockchain transaction: a case of food supply chain management. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020. Vol. 15. Issue 1. P. 99-106.

19. *Rachel A. Wieme, John P. Reganold, David W. Crowder, Kevin M. Murphy, Lynne A.* Carpenter-Boggs Productivity and soil quality of organic forage, quinoa, and grain cropping systems in the dryland Pacific Northwest, USA. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2020. Vol. 293. P. 384-392.

20. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London. FAO. 2011. 285 p.

21. *Themen D.* Food losses and waste in Ukraine. Regional Office for Europe and Central Asia Food and Agriculture Organization of the UN. 2013. URL: http://www.fao.org/europe/agrarian-structures-initiative/en.

22. *Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T.* «Green» supply chain as a path to sustainable

development. Mechanisms of stimulation of socio-economic development of regions in conditions of transformation. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2019. P. 199-213.

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

24. *Zhang Y., Zhao L., Qian C.* Modeling of an IoT-enabled supply chain for perishable food with two-echelon supply hubs. Industrial Management & Data Systems. 2017. Vol. 117. Issue 9. URL https://proxy.library.spbu.ru:2156.

ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ПОСТАЧАНЬ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

О. М. Загурський, Т. С. Жураковська

Анотація. Логістична система розподілу сільськогосподарської продукції в нинішній, глобальній економіці є основним предметом дискусії як в суспільстві так і в науковій літературі, а продовольча безпека розглядається у тісному взаємозв'язку з концепцією сталого розвитку економіки країни.

В статті розглянуто низку факторів, що впливають на ефективність логістичних систем розподілу сільськогосподарської продукції в глобальній економіці та аналіз проблем, що виникають в управлінні бізнес-процесами в ланцюгах постачань харчових продуктів. Визначено, що в агропродовольчому ланцюгу вирішальними факторами для створення та підтримки конкурентних переваг є доступ до найкращого покупця за належного рівня якості, з необхідним терміном придатності та належним проходженням по ланцюгу постачання.

В умовах глобалізації конкурентні переваги логістичних послуг, засновані тільки на цінових і споживчих властивостях, втрачають провідне значення, а на перше місце виходять гнучкість, обмежені терміни виконання замовлення, надійні та якісні постачання, можливість вибору тощо. Складність організації транспортно-логістичних систем постачань швидкопсувних харчових продуктів обумовлена, з одного боку, – участю великої кількості ланок у ланцюзі, а з іншого боку, – особливостями швидкопсувних вантажів.

Ключові слова: агрологістика, ефективність, втрати, транспортно-логістична система, харчові продукти.

ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОСТАВОК ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

О. Н. Загурский, Т. С. Жураковская

Аннотация. Логистическая система распределения сельскохозяйственной продукции в нынешней, глобальной экономике является основным предметом дискуссии, как в обществе, так и в научной литературе, а продовольственная безопасность рассматривается в тесной взаимосвязи с концепцией устойчивого развития экономики страны. В статье рассмотрен ряд факторов, влияющих на эффективность логистических систем распределения сельскохозяйственной продукции в глобальной экономике и анализ проблем, возникающих в управлении бизнес-процессами в цепях поставок пищевых продуктов. Определено, что в агропродовольственной цепи решающими факторами для создания и поддержания конкурентных преимуществ есть доступ к лучшему покупателя при надлежащем уровне качества, с необходимым сроком годности и должном прохождением по цепи поставки.

В условиях глобализации конкурентные преимущества логистических услуг, основанные только на ценовых и потребительских свойствах, теряют ведущее значение, а на первое место выходят гибкость, ограниченные сроки выполнения заказа, надежные и качественные поставки, возможность выбора и т. п. Сложность организации транспортно-логистических систем поставок скоропортящихся пищевых продуктов обусловлена, с одной стороны, - участием большого количества звеньев в цепи, а с другой - особенностями скоропортящихся грузов.

Ключевые слова: агрологистика, эффективность, потери, транспортно-логистическая система, пищевые продукты.

О. М. Загурський ORCID 0000-0002-5407-8466.
Т. С. Жураковска ORCID 0000-0001-8795-7267.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 61-66
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.061

УДК 631.313.022.2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАБІЛЬНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДИСКАТОРА

О. В. Козаченко, К. В. Сєдих, О. М. Шкрегаль

Державний біотехнологічний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: o.v.kozachenko21@gmail.com.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року. Бібл. 14, рис. 8, табл. 0.

Анотація. Дослідження присвячено побудові математичних моделей стійкості функціонування механічної системи дискатора для поверхневого обробітку ґрунту. Об'єктами наукових досліджень обрані дискові робочі органи на пружних стійках і опорно-прикочувальним котком. У статті представлено результати математичного моделювання стійкості функціонування механічної системи дискатора з кріпленням робочих органів на пружних стійках і опорно-прикочувальним котком. В результаті аналітичних досліджень складено систему диференційних рівнянь коливання рами і робочих органів дискатора під час виконання технологічного процесу з урахуванням змін фізико-механічних властивостей ґрунту. За розробленим алгоритмом в програмному пакеті Mathematica встановлено вираз у вигляді рівняння регресії щодо визначення ступеня асимптотичної стійкості за кутом коливання рами φ системи робочих органів дискатора в залежності від його конструктивно-технологічних параметрів, а саме, кроком спіралі пружної стійки першого і другого ряду a_I a_{II}, відстані між пружними стійками Δx, діаметра d, кутів атаки α і нахилу γ дискового робочого органу, швидкості його переміщення V при виконанні технологічного процесу.

Ключові слова: дискатор, диск, пружна стійка дискатора, дискове знаряддя, деформація пружної стійки, стійкість функціонування системи.

Постановка проблеми

Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур передбачають виконання низки технологічних операцій обробітку ґрунту щодо утворення заданого гранулометричного складу по глибині та накопичення поживних речовин для нормального розвитку рослин [1, 2, 3]. Для забезпечення означених задач є актуальним розроблення нових та удосконалення існуючих машин для поверхневого обробітку ґрунту, що зумовлюють підвищення якості виконання технологічного процесу та зменшення його енергоємності [4].

На сьогодні одним із найбільш перспективних напрямків підвищення якості обробітку ґрунту при зменшенні енергоємності процесу є застосування дискових знарядь із індивідуальним кріпленням робочих органів на пружних стійках. Такий конструктивний підхід зумовлює їх коливання внаслідок нерівномірності сил опору в напрямку руху агрегату та руйнування ґрунту при менших витратах енергії та кращій пристосованості до рельєфу оброблюваного поля, що підвищує можливість забезпечення заданої якості обробітку [5, 6, 7].

З метою підвищення ефективності технічних засобів з дисковими робочими органами актуальним науковим завданням є встановлення закономірностей впливу конструктивно-технологічних параметрів дискатора та властивостей ґрунтового середовища на стійкість функціонування системи.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз досліджень в напрямку підвищення ефективності ґрунтообробних знарядь з дисковими робочими органами вказують на переваги застосування їх індивідуального кріплення на пружних стійках та розташування на рамі знаряддя за певною схемою [6-8]. В дослідженнях Шевченка І. А. [9, 10] отримано рівняння руху матеріальної частинки по увігнутій сферичній поверхні дискового робочого органу.

В роботах Бакума М. В. і Ящука Д. А. [11] розглянуто задачу нарисної геометрії визначення висоти гребенів над дном борозни при обробці ґрунту лущильником. А в монографії Гуцола О. П. і Ковбаси В. П. [12] представлені фізичні рівняння зв'язку напружень зі швидкостями деформацій для ґрунтового середовища при дії на нього дискового робочого органу.

Відомі моделі недостатньо повно представлені аналізом стійкості руху дискатора при виконанні процесу. Тому для їх доповнення запропоновано виконати задачу стійкості функціонування механічної системи дискатора.

Мета досліджень

Метою роботи є чисельне моделювання стійкості функціонування механічної системи дискатора з кріпленням робочих органів на пружних стійках і опорно-прикочувальним котком. Це дасть можливість створення більш ефективних технічних засобів для основного чи поверхневого обробітку ґрунту.

Результати досліджень

В залежності від призначення дискатора (для основного (глибокого) чи поверхневого обробітку ґрунту) та типів ґрунтів, на яких рекомендується його використовувати, дискатор комплектується дисковими робочими органами відповідної форми і розмірів та стійками різної жорсткості. При підготовці дискатора до роботи сферичні диски прикріплюють до рами на окремих пружних стійках фронтально у два ряди на однаковій висоті з поперечним зміщенням заднього ряду відносно переднього. Причому, диски першого ряду прикріплюють до рами дискатора на пружних стійках більшої жорсткості ніж пружні стійки кріплення дисків другого ряду. Далі зміною положення опорно-прикочувального котка у вертикальному напрямку встановлюють задану глибину обробітку ґрунту дисковими робочими органами дискатора. Під час роботи такого знаряддя деформація стійок незначна і однакова для обох рядів дисків, що забезпечує однакову глибину ходу дисків. Це підвищує не лише рівномірність обробітку ґрунту, а і якість виконання операції в цілому, що підвищує не лише урожайність сільськогосподарських культур, а і продуктивність сільськогосподарських агрегатів на виконанні послідуючих (після обробітку ґрунту) технологічних операцій через кращу вирівняність поверхні поля при рівномірній якісній обробці ґрунту.

У результаті аналізу процесу взаємодії окремо взятих робочих органів дискатора (диски першого і другого ряду на пружних стійках, коток на пружинах) з ґрунтовим середовищем виявлено, що їх відхилення від точки рівноваги пов'язані з відмінностями фізико-механічних властивостей ґрунту та нерівностями його поверхні. Цей процес відносяться до категорії випадкових, який при певних припущеннях можна вважати основним джерелом сил збурення при роботі дискатора. В зв’язку з тим, що робочі органи дискатора зв’язані з основою рами знаряддя пружними стійками та пружинами, нерівномірні коливання кожного робочого органу окремо призводить до коливання рами дискатора, що спричиняє погіршення якості обробітку ґрунту та підвищенню тягового опору агрегату в цілому [13-16].

Для визначення впливу конструктивних параметрів знаряддя на величину коливань рами і значення сили його опору складемо розрахункову динамічну модель функціонування дискатора на основі положень класичної механіки. При цьому приймаємо, що трактор і дискатор переміщуються прямолінійно з постійною швидкістю в горизонтальній площині. Конструкція з’єднання дискатора з трактором забезпечує коливання його у вертикальній площині відносно точки з’єднання причепа дискатора та нижніх тяг механізму навіски трактора. Дискатор розглядаємо як систему твердих тіл.

Схема конструкції дискатора зображена на рис. 1.

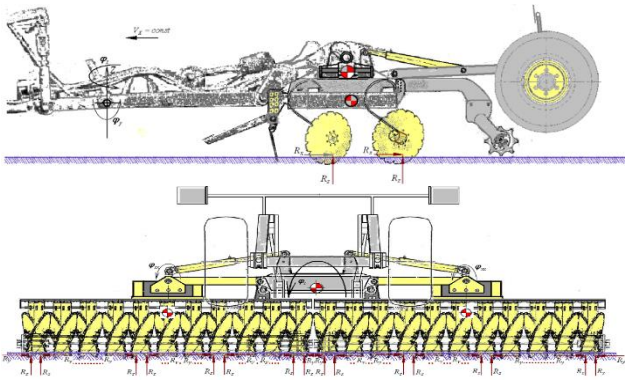


Рис. 1. Схема конструкції дискатора в робочому режимі.

Fig. 1. The scheme of the design of the discator in working mode.

На еквівалентній схемі (рис. 2) приводимо місця розміщення центру мас та точки прикладання приведених рівнодіючих сил опору ґрунту робочим органам дискатора.

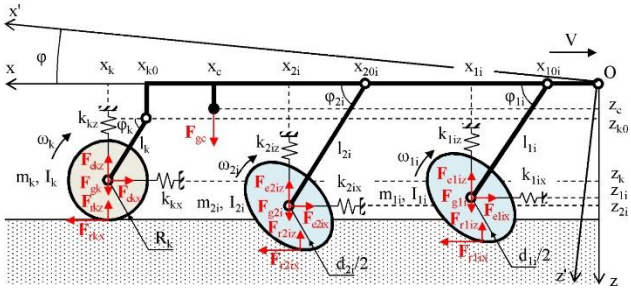


Рис. 2. Еквівалентна схема дискатора.

Fig. 2. Equivalent circuit of the discator.

Вибираємо нерухому декартову систему координат xOz. Для спрощення перетворень під час складання розрахункової моделі приймаємо додаткову рухому декартову систему координат x`Oz`, центр якої розташований в точці з’єднання причепа дискатора з трактором і горизонтальна вісь якої пов’язана з рамою машини. Приведені рівнодіючі будемо розглядати через їх проекції на вісі рухомої системи координат.

При використанні методів аналітичної механіки для нашого випадку спочатку вибираємо незалежні параметри, які визначають положення розглянутої механічної системи в просторі. Такі параметри називають узагальненими координатами цієї механічної системи, а їх кількість визначає її число ступенів вільності. При допущенні, що трактор із закріпленим до нього причіпним пристроєм дискатора здійснює прямолінійний, рівномірний, горизонтальний рух, випливає, що $V_x=V=const$ та $V_z=0$.

При зазначених вище припущеннях система має 2+ N1 + N2 ступеня вільності, а відповідно і 2+N1 + N2 узагальнюючих координат – кути зсуву першого φ11,…, $\varphi_{1N_1}=0$ і кути зсуву другого φ21,…, $\varphi_{2N_1}=0$ рядів навколо поздовжньої осі кріплення пружної стійки до опорної рами, кут зсуву котка φk навколо осі кріплення до опорної рами, кут повороту опорної рами φ навколо поздовжньої осі кріплення дискатора до трактора. Тоді диференційні рівняння Лагранжа 2-го роду для системи, що розглядається, мають вид [14]:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}}\right)-\frac{\partial L}{\partial \varphi}=Q, \\ \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_{11}}\right)-\frac{\partial L}{\partial \varphi_{11}}=Q, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_{1N_1}}\right)-\frac{\partial L}{\partial \varphi_{1N_1}}=Q, \\ \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_{21}}\right)-\frac{\partial L}{\partial \varphi_{21}}=Q, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_{2N_2}}\right)-\frac{\partial L}{\partial \varphi_{2N_2}}=Q, \\ \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_{k}}\right)-\frac{\partial L}{\partial \varphi_{k}}=Q. \end{cases} \quad (1)$$

де L – функція Лагранжа динамічної системи, Дж:

$$L = T - U, \quad (2)$$

T – кінетична енергія системи твердих тіл, Дж;

U – потенційна енергія системи твердих тіл, Дж;

Q – узагальнена не потенційна сила (момент сили), Н·м;

φ – узагальнена координата (кут повороту), рад;

$\dot{\varphi}$ – швидкість зміни узагальненої координати (кутова швидкість), рад/с;

t – час, с.

Кінетична енергія системи робочих органів дискатора визначається наступним чином:

$$T = T_c + T_1 + T_2 + T_k, \quad (3)$$

де Тс – кінетична енергія центра мас рами дискатора, Дж:

$$T_c = \frac{1}{2} M_c\left(\dot{x}_c'^2 + \dot{z}_c'^2\right), \quad (4)$$

де Мс – маса рами дискатора, кг;

$\dot{x}_c'$, $\dot{z}_c'$ – швидкість руху центра мас рами дискатора в проекціях на вісі системи координат x`Oz`, м/с;

T_1 – кінетична енергія першого ряду робочих органів дискатора, Дж:

$$T_1 = \sum_{i=1}^{N_1}\left(\frac{1}{2} m_{1i}\left(\dot{x}_{1i}'^2 + \dot{z}_{1i}'^2\right) + \frac{1}{2} I_{1i}\omega_{1i}^2\right), \quad (5)$$

де m_{1i} – маса дисків першого ряду робочих органів дискатора, кг;

$\dot{x}_{1i}'$, $\dot{z}_{1i}'$ – швидкість руху дисків першого ряду робочих органів дискатора в проекціях на вісі системи координат x`Oz`, м/с;

I_{1i} – момент інерції дисків першого ряду робочих органів дискатора, кг·м^2;

ω_{1i} – кутова швидкість обертання дисків першого ряду робочих органів дискатора, рад/с;

i – номер диска першого ряду робочих органів дискатора, кг;

N_1 – кількість дисків першого ряду робочих органів дискатора, кг;

T_2 – кінетична енергія другого ряду робочих органів дискатора, Дж:

$$T_2 = \sum_{i=1}^{N_2}\left(\frac{1}{2} m_{2i}\left(\dot{x}_{2i}'^2 + \dot{z}_{2i}'^2\right) + \frac{1}{2} I_{2i}\omega_{2i}^2\right), \quad (6)$$

де m_{2i} – маса дисків другого ряду робочих органів дискатора, кг;

$\dot{x}_{2i}'$, $\dot{z}_{2i}'$ – швидкість руху дисків другого ряду робочих органів дискатора в проекціях на вісі системи координат x`Oz`, м/с;

I_{2i} – момент інерції дисків другого ряду робочих органів дискатора, кг·м^2;

ω_{2i} – кутова швидкість обертання дисків другого ряду робочих органів дискатора, рад/с;

N_2 – кількість дисків другого ряду робочих органів дискатора, кг;

T_k – кінетична енергія котка дискатора, Дж:

$$T_k = \frac{1}{2} m_k\left(\dot{x}_k'^2 + \dot{z}_k'^2\right) + \frac{1}{2} I_k\omega_k^2, \quad (7)$$

де m_k – маса котка дискатора, кг;

$\dot{x}_k'$, $\dot{z}_k'$ – швидкість руху котка дискатора в проекціях на вісі системи координат x`Oz`, м/с;

I_k – момент інерції котка дискатора, кг·м^2;

ω_k – кутова швидкість котка дискатора, рад/с;

Після відповідних перетворень, отримали систему диференційних рівнянь коливання дискатора і окремо його робочих органів, в яких фігурують фізико-механічні властивості ґрунту, які мають випадкову природу і змінюються в заданих межах. Тому рішення даної системи рівнянь проведено в програмному пакеті Mathematica. Приймаючи g = 9,8 м/с2, q = 1,3·103 Н/м3; ρ = 1340 кг/м3; R = 0,66 м; h = 0,1 м визначимо максимальну амплітуду коливань кута рами дискатора від його параметрів (рис. 3–рис. 8) у вигляді рівняння регресії:

φ = 41,0116 + 0,843796 aI – 0,96348aI2 –
– 26,2602 aII + 1,38778·10-15 aI aII + 14,1676 aII2– – 3,24 d + 4,91 d2 + 1,11092 V – 0,0782407 aI V–
– 0,304222aII V – 0,0968132 V2 + 0,0126α –
– 0,0098 γ + 0,0629 d γ + 0,000174 α γ –
– 75,2555 Δx – 0,898148 aI Δx + 2,02531aIIΔx –
– 0,0786996 V Δx + 48,168 Δx2. (8)

де aI aII – крок спіралі пружної стійки першого і другого ряду дискатора, м; Δx – відстань між пружними стійками першого і другого ряду дискатора, м; d – діаметр дискового робочого органу, м; V – швидкість переміщення дискатора, м; α – кут атаки дискового робочого органу дискатора, м; γ – кут нахилу дискового робочого органу дискатора, м.

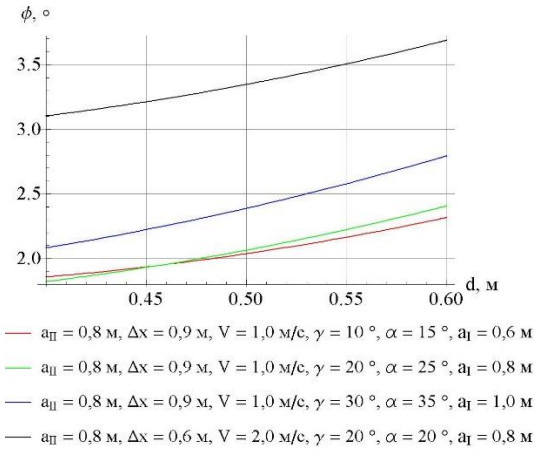


Рис. 3. Залежність максимальної амплітуди коливань кута рами дискатора від діаметра дискового робочого органу.

Fig. 3. Dependence of the maximum amplitude of oscillations of the angle of the discator frame on the diameter of the disk working body.

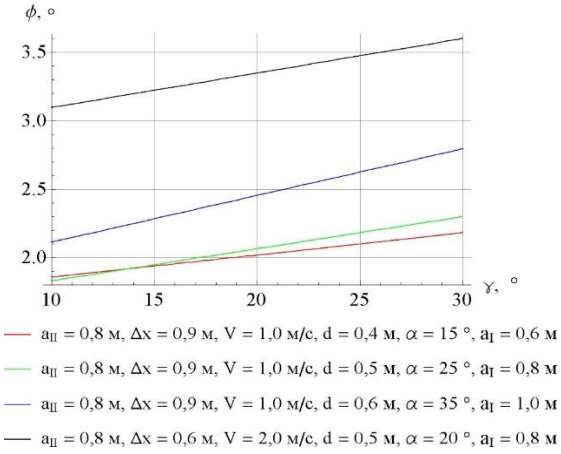


Рис. 4. Залежність максимальної амплітуди коливань кута рами дискатора від кута нахилу дискового робочого органу.

Fig. 4. Dependence of the maximum amplitude of oscillations of the angle of the discator frame on the angle of the disk working body.

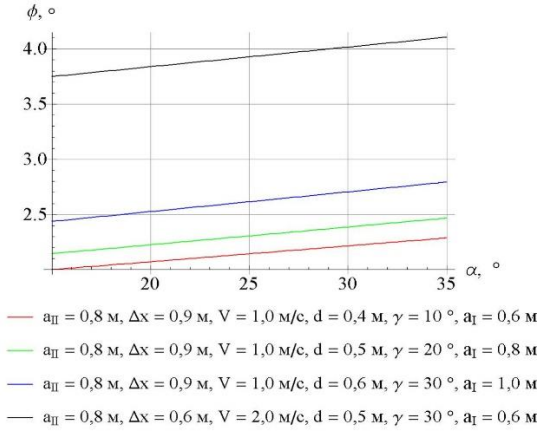


Рис. 5. Залежність максимальної амплітуди коливань кута рами дискатора від кута атаки дискового робочого органу

Fig. 5. Dependence of the maximum amplitude of oscillations of the angle of the discator frame on the angle of attack of the disk working body

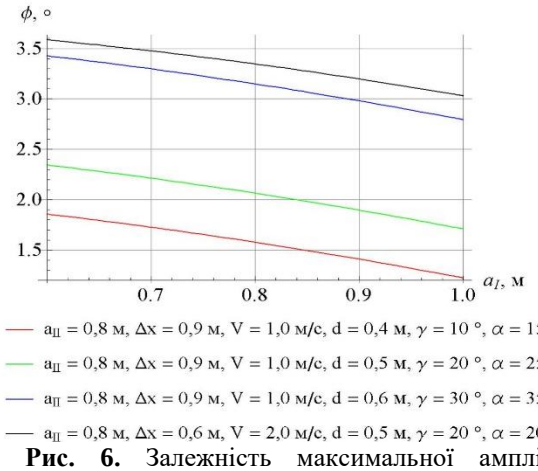


Рис. 6. Залежність максимальної амплітуди коливань кута рами від кроку спіралі пружної стійки першого ряду дискатора.

Fig. 6. Dependence of the maximum amplitude of oscillations of a corner of a frame on a step of a spiral of an elastic rack of the first row of a discator.

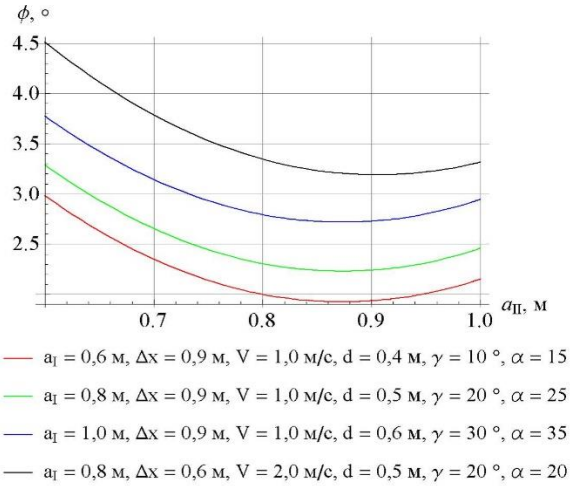


Рис. 7. Залежність максимальної амплітуди коливань кута рами від кроку спіралі пружної стійки другого ряду дискатора.

Fig. 7. The dependence of the maximum amplitude of oscillations of the frame angle on the step of the spiral of the elastic rack of the second row of the discator.

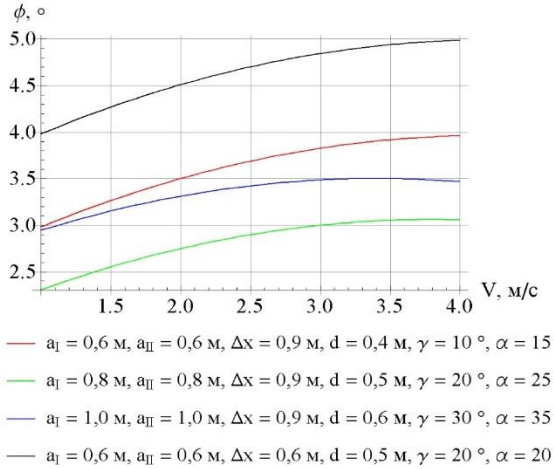


Рис. 8. Залежність максимальної амплітуди коливань кута рами від швидкості переміщення дискатора

Fig. 8. Dependence of the maximum amplitude of oscillations of the frame angle on the speed of the discator

Аналіз одержаних залежностей (рис. 3 – рис. 8) за результатами наукових досліджень впливу конструктивно-режимних параметрів на стійкість механічної системи дискатора дозволяє зробити наступні висновки. Збільшенню коливань кута рами дискатора сприяє збільшення діаметра дискового робочого органу, кутів нахилу у вертикальній площині та кута атаки. Зменшення кроку спіралі пружної стійки першого ряду (рис. 6) зумовлює зменшення коливання кута рами дискатора.

Мінімальні значення коливань механічної системи спостерігаються в інтервалі зміни кроку спіралі пружної стійки другого ряду дискових робочих органів, найбільш бажаним є зміна цього показника в інтервалі від 0,8 до 0,9 м. При зміні швидкісного режиму дискового знаряддя від 1 м/с до 4 м/с спостерігається збільшення коливань кута рами дискатора (рис. 8).

Висновки

1. В результаті аналітичних досліджень складено систему диференційних рівнянь коливання рами і робочих органів дискатора під час його руху з урахуванням змін фізико-механічних властивостей ґрунту.

2. За розробленим алгоритмом в програмному пакеті Mathematica встановлено вираз у вигляді рівняння регресії щодо визначення ступеня асимптотичної стійкості (кути коливання φ) системи робочих органів дискатора в залежності від його конструктивно-технологічних параметрів (крок спіралі пружної стійки першого і другого ряду a_I a_{II}, відстань між пружними стійками Δx, діаметр d, кути атаки α і нахилу γ дискового робочого органу, швидкість переміщення V).

Список літератури

1. *Шевченко І. А.* Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища. Київ. Видавничий дім «Вініченко». 2016. 320 с.

2. *Гуков Я. С.* Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. Київ. ДІА. 2007. 276 с.

3. *Заїка П. М.* Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (4.1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків. Око. 2001. 444 с.

4. *Козаченко О. В.* Проблеми ресурсозбереження у сільськогосподарських агрегатах. Харків. Торнадо. 2008. 272 с.

5. *Кушнарев А., Шевченко И., Дюжаев В., Кушнарев С.* Механика взаимодействия рабочих органов на упругой подвеске с почвой. Техника АПК. 2008. №8. С. 22-25.

6. *Гапоненко О. І.* Обґрунтування параметрів пружних стояків дискових ґрунтообробних агрегатів: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.05.11. Національний університету біоресурсів і природокористування України. Київ. 2017. 23 с.

7. *Козаченко О. В., Сєдих К. В., Волковський О. М.* Фізико-математична модель взаємодії диска з грунтом. Інженерія природокористування. Харків. ХНТУСГ. №2(16). 2020. С. 69-77.

8. *Кушнарев А. С.* Дискатор – новое почвообрабатывающее орудие, обеспечивающее переход от традиционной технологии производства сельскохозяйственной продукции к энергосберегающей технологии No-till. Белая Церковь. 2010. 60 с.

9. *Шевченко І. А.* Обґрунтування геометричних параметрів дискових робочих органів. Праці Таврійської державної агротехнологічної академії. 2001. Вип. 2. Т. 16. С 13-19.

10. *Алієв Є. Б. Лабатюк Ю. М.* Теоретичне обґрунтування розміщення робочих органів глибокорозпушувача на рамі знаряддя. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2015. №3 (92). С. 5-9.

11. *Бакум М. В.* Проектування сільськогосподарських машин. Частина І. Книга 2. Машини для обробітку ґрунту. Харків. ПромАрт. 2019. 436 с.

12. *Гуцол О. П., Ковбаса В. П.* Обґрунтування параметрів і режимів руху ґрунтообробних машин з дисковими робочими органами: монографія. Київ. 2016. 145 с.

13. *Пащенко В. Ф., Ким В. В.* Методика построения математических моделей устойчивости функционирования механических систем. Харьков. ХНАУ. 2010. 115 с.

14. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Механика. Москва. Физматлит. 2012. 224 с.

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

16. Rogovskii I. L., Palamarchuk I. P., Kiurchev S. V., Verkholantseva V. O., Voinash S. A., Sokolova V. A., Gogolevski A. S. Mathematical modeling of the impulse bubbling process of bulk mass by the coolant flow. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. vol. 919. 052026. doi:10.1088/1757-899X/919/5/052026.

References

1. *Shevchenko I. A.* (2016). Keruvannya agrophysical camp of the soil center. Kyiv. Vidavnichy dim "Vinichenko". 320.

2. *Gukov Ya. S.* (2007). Technology and technology. Mechanical and technological processing of energy-saving means for mechanization of processing the structure in the minds of Ukraine. Kyiv. DIA. 276.

3. *Zayika P. M.* (2001). Theory of silskogospodarsky machines. Vol. 1 (4.1). Machines that are known for processing the runt. Kharkiv. Oko. 444.

4. *Kozachenko O. V.* (2008). Problems of resource conservation in silskogo-consumer units. Kharkiv. Tornado. 272.

5. *Kushnarev A., Shevchenko I., Dyuzhaev V., Kushnarev S*. (2008). Mechanics of interaction of working bodies on elastic suspension with soil. Agroindustrial complex technology. 8. 22-25.

6. *Gaponenko O. I.* (2017). Determination of parameters of spring risers of disk runtoobrobnyh aggregates: abstract of Ph.D. dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.05.11. National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine. Kyiv. 23.

7. *Kozachenko O. V., Syedikh K. V., Volkovskiy O. M.* (2020). Physical-mathematical model of interconnection of a disk with soil. Environmental engineering. Kharkiv. KhNTUSG. No. 2 (16). 69-77.

8. *Kushnarev A. S.* (2010). Discator - a new tillage tool that provides a transition from traditional agricultural production technology to energy-saving No-till technology. Bila Tserkva. 60.

9. *Shevchenko I. A.* (2001). Obruntuvannya geometric parameters in the disk working organs. Pratsi Taurian State Agrotechnological Academy. 2(16). 13-19.

10. *Aliyev Ye. B. Labatyuk Yu. M.* (2015). Theoretical arrangement of the distribution of working organs of glibokorozpushuvach on the frame of the yard. Technology, energy, transport of the agro-industrial complex. 3(92). 5-9.

11. *Bakum M. V.* (2019). Substantiation silskogospodarsky machines. Part I. Book 2. Machines for processing rruntu. Kharkiv. Promart. 436.

12. *Gutsol O. P., Kovbasa V. P*. (2016). Obruntuvannya parameters and modes in the hands of robotic machines with disk working organs: monograph. Kyiv. 145.

13. *Pashchenko V. F., Kim V. V.* (2010). Methods of constructing mathematical models of stability of the functioning of mechanical systems. Kharkov. KHNAU. 115.

14. *Landau L. D., Lifshits E. M*. (2012). Mechanics. Moscow. Fizmatlit. 224.

15. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohiienko M. M., Kulik V. P.* (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 60(1). 45-52. doi: 10.35633/INMATEH-60-05.

16. Rogovskii I. L., Palamarchuk I. P., Kiurchev S. V., Verkholantseva V. O., Voinash S. A., Sokolova V. A., Gogolevski A. S. (2020). Mathematical modeling of the impulse bubbling process of bulk mass by the coolant flow. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. vol. 919. 052026. doi:10.1088/1757-899X/919/5/052026.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСКАТОРА

А. В. Козаченко, К. В. Седых, А. Н. Шкрегаль

Аннотация. Исследование посвящено построению математических моделей устойчивости функционирования механической системы дискатора для поверхностной обработки почвы. Объектами научных исследований выбраны дисковые рабочие органы на упругих стойках и опорно-приктывающим катком. В статье представлены результаты математического моделирования устойчивости функционирования механической системы дискатора с креплением рабочих органов на упругих стойках и опорно-прикатывающим катком. В результате аналитических исследований составлена система дифференциальных уравнений колебания рамы и рабочих органов дискатора во время выполнения технологического процесса с учетом изменений физико-механических свойств почвы. По разработанному алгоритму в программном пакете Mathematica установлено выражение в виде уравнения регрессии по определению степени асимптотической устойчивости по углу колебания рамы φ системы рабочих органов дискатора в зависимости от его конструктивно-технологических параметров, а именно, шагом спирали упругой стойки первого и второго ряда aI aII, расстояния между упругими стойками Δx, диаметра d, углов атаки α и наклона γ дискового рабочего органа, скорости его перемещения V при выполнении технологического процесса.

Ключевые слова: дискатор, диск, упругая стойка дискатора, дисковое орудие, деформация упругой стойки, устойчивость функционирования системы.

MATHEMATICAL MODELING OF STABILITY OF MECHANICAL SYSTEM OF DISCATOR

O. V. Kozachenko, K. V. Syedykh, O. M. Shkrehal

Abstract. The study is devoted to the construction of mathematical models of the stability of the mechanical system of the disc harrow for surface tillage. The objects of scientific research are selected disk working bodies on elastic racks and a support-rolling roller. The article presents the results of mathematical modeling of the stability of the mechanical system of the disc with the attachment of the working bodies on the elastic racks and the support-rolling roller. As a result of analytical researches the system of differential equations of oscillations of a frame and working bodies of the disc harrow during performance of technological process taking into account changes of physical and mechanical properties of soil is made. According to the developed algorithm in the Mathematica software package the expression in the form of regression equation for determining the degree of asymptotic stability at the angle of oscillation of the frame φ of the working bodies of the disc depending on its design and technological parameters, namely, the step of the spiral of the first and second rows aI aII, the distance between the elastic struts Δx, diameter d, angles of attack α and the inclination γ of the disk working body, the speed of its movement V when performing the process.

Key words: discator, disk, elastic disk rack, disk tool, deformation of the elastic rack, the stability of the system.

О. В. Козаченко ORCID 0000-0003-1326-4307.
К. В. Сєдих ORCID 0000-0002-5720-8430.
О. М. Шкрегаль ORCID 0000-0002-5552-9679.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 67-76*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.067

УДК 621.87

ПІДВИЩЕННЯ ВИХОДУ БІОГАЗУ ПРИ ЗБРОДЖУВАННІ ГНОЮ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ З ВІДХОДАМИ ВИНОРОБСТВА В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ

В. М. Поліщук[1], С. А. Шворов[1], Г. В. Крусір[2], Д. А. Дерев'янко[3], Є. О. Дворник[1], Т. С. Давиденко[1]

[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
[2]Одеська національна академія харчових технологій, Україна.
[3]Поліський національний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: polischuk.v.m@gmail.com; sosdok@i.ua; krussir.65@gmail.com; derevyanko.dmutro@gmail.com; dvornykevgen@gmail.com; davidenkotaras009@gmail.com

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року. Бібл. 27, рис. 4, табл. 0.

Анотація. Метою роботи є підвищення виходу біогазу на біогазових установках за рахунок спільного зброджування гною великої рогатої худоби (ВРХ) з стічними водами виноробних виробництв (СВВВ). Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання: визначався вихід біогазу з гною ВРХ з СВВВ при періодичному завантаженні метантенка; на основі отриманих експериментальних даних здійснювалось калібрування математичної моделі оцінки виходу біогазу при зброджуванні гною ВРХ з додаванням СВВВ; за допомогою відкаліброваної математичної моделі прогнозувався вихід біогазу для квазібезперервного завантаження метантенка. Дослідження проводились на лабораторній біогазовій установці, що складається з метантенка корисним об'ємом 30 л і газгольдера мокрого типу. Вихід біогазу фіксувався за підняттям циліндра-рівнеміра мокрого газгольдера за допомогою закріпленої на ньому шкали, відградуйованої в сантиметрах. Теплота згоряння біогазу визначалась за його елементним складом, який фіксувався газоаналізатором. Найбільш істотними результатами є наступні: за даними експериментальних досліджень виходу біогазу при періодичному режимі завантаження з використанням розробленої математичної моделі забезпечується прогнозування виходу біогазу для квазібезперевного завантаження метантенка. В результаті проведених досліджень встановлено, що максимальний вихід біогазу при 2% заміні води на СВВВ в субстраті становить 0,415 л/(год.·кг СОР), 6,5% – 0,862 л/(год.·кг СОР), 13% – 1,372 л/(год.·кг СОР). Значимість результатів досліджень полягає в тому, що використання відходів виноробства в якості косубстрату дозволить збільшити в господарстві з поголів'ям 1000 голів ВРХ добовий вихід біогазу до 20,5 тис. м^3, річне виробництво електроенергії – до 54,7 млн. МДж (15,2 млн. кВт·год.), теплової енергії – до 14,79 тис. Гкал. При цьому термін окупності біогазової установки потужністю 4,4 МВт при використанні «зеленого» тарифу скоротиться до 6,5 року.

Ключові слова: біогаз, субстрат, гній великої рогатої худоби, відходи виноробства, стічні води виноробних виробництв, суха органічна речовина, метантенк, біогазова установка, метанове бродіння.

Постановка проблеми

Як відомо, гній ВРХ часто використовується для отримання біогазу, з якого виробляється електрична і теплова енергія. Однак, внаслідок наявності в гної великої кількості сирої клітковини, вихід біогазу при його зброджуванні за допомогою біогазових установок відносно низький. Тому актуальним завданням є підвищення виходу біогазу з гною ВРХ за рахунок використання різних стимулюючих добавок. Якщо ж така стимулююча добавка є відходом виробництва, при цьому вирішується завдання її утилізації, тим самим поліпшується екологічна ситуація в регіоні.

З метою підвищення виходу біогазу і вироблення енергії, на даний час широко практикується спільне зброджування гною ВРХ з силосом кукурудзи. Разом із тим, дану сировину можна використовувати як корм для тварин і продуктів харчування для людини. Тому для підвищення виходу біогазу з гною ВРХ доцільно використовувати більш дешеву сировину, яка стимулює вихід біогазу - відходи виробництв, які необхідно утилізувати з мінімальними витратами, покращуючи при цьому екологію.

Аналіз останніх досліджень

Як показано в роботі [1], вихід біогазу при зброджуванні кукурудзяного силосу (650 м^3/кг VS) або харчових відходів (660 м^3/кг VS) значно вищий, ніж з гною тварин (450 м^3/кг VS). Зброджування відходів виноробства з гноєм ВРХ в лабораторному

реакторі з фіксованою плівкою при температурі 35°С забезпечує вихід метану 1048 л/кг VS. При цьому також фіксувалось збільшення загального виходу метану в порівнянні з монозброджуванням гною ВРХ [2]. В роботі [3] наведені результати дослідження процесу метанового зброджування відходів виробництва червоних вин з високим вмістом таніну (2-3 г/л) і високими концентраціями сульфатів (3-8 г/л). Встановлено, що дубильні речовини не гальмують утворення кислоти і відновлення сульфату в ацідогенній фазі. Навіть при концентрації 800 мг/л у ацідогенному реакторі було деградовано 30% дубильних речовин. Концентрація танінів 500 мг/л у метановому реакторі на 20% обмежувала біологічну активність метаногенів.

В роботі [4] наведені результати дослідження можливості утилізації стічних вод первинного виноробного виробництва шляхом їх метанового зброджування, що в свою чергу є обґрунтуванням для застосування метаногенезу як найбільш ефективного методу очищення висококонцентрованих стічних вод. Вологість стічних вод виноробних виробництв з осадом становить 92%, що є оптимальним значенням для ефективного процесу метанового зброджування. Відношення C:N коливаються від 20:1 до 100:1. Стічні води виноробних підприємств первинного виноробства характеризуються слаболужним середовищем, значення pH якого складає 7,4 при допустимому значенні pH середовища, при якому процес метаноутворення протікає стабільно, в межах 6,5-7,5.

Результати проведених досліджень, наведених в роботі [4], дозволяють зробити висновок про те, що процес утворення біогазу починається через 22 год. після завантаження субстрату і по мірі збільшення виходу біогазу зростає і вміст в ньому метану. Максимальний вихід біогазу спостерігався на 21 добу бродіння і склав 5,65 дм^3/добу при вмісті метану 67%. В роботі [5] наведено усереднений склад стічних вод виноробних підприємств. Стічні води основного виробництва заводів первинного виноробства мають наступні показники: ХСК=380-6400 мг О^2/дм^3, БСК=300-4300 мг О^2/дм^3, pH=4,7-7,5, цеху утилізації: ХСК=4000-30000 мг О^2/дм^3, БСК=2800-23000 мг О^2/дм^3, pH=4,4-6,0, заводів вторинного виноробства: ХСК=80-1000 мг О^2/дм^3, БСК=40-900 мг О^2/дм^3, pH=7,2-9,6. Як зазначено в [5], використання сучасних метантенків дає можливість підтримувати високу концентрацію біомаси в зоні бродіння (60-80 г/дм^3), підвищити навантаження до 17-18 кг ХСК О^2/м^3 метантенка і скоротити тривалість очищення до 1,5-2 діб.

В роботі [6] найвищий вихід біогазу з відходів виноробства склав 855,5 л/кг VS (774,5 л/кг СР), в [7] - від 400 до 600 л/кг ХСК, в [8] і [9] – 9 м^3 CH$_4$/м^3, тоді як в [10] – 172 мл/год. VS, в [11] – 207 мл CH$_4$/год. ХСК, а в [12] – 43 мл CH$_4$/год. VS. Вихід біогазу із стоків бананових вин при завантаженні в ферментатор 62,4 м^3/добу, відповідно до [13], становив 163 м^3/добу.

Як зазначено в роботі [14], метанове зброджування стоків заводів по виробництву соків і вина з подрібненням осаду протягом 15 діб дозволило отримати накопичений вихід біогазу близько 1600 мл/год. VS, без подрібнення – близько 800 мл/год. VS.

У роботах [15-18] проводилось дослідження спільного зброджування відходів виноробства з активним мулом в мезофільних умовах, вихід біогазу при цьому склав 0,4 м^3/кг СОР, тоді як в роботі [19] при зброджуванні в термофільних умовах – 0,64 л/год. VS (для порівняння, при зброджуванні тільки активного мулу вихід біогазу склав 0,38 л/год. VS), а при обробці ультразвуком – 1,411 л/год. VS [20]. Автори рекомендують для термофільного зброджування на одну частину активного мулу додавати три частини винних стоків.

Представлені результати досліджень в [21] показують, що в процесі виноробства крім стічних вод утворюється багато побічних продуктів, в основному виноградних кісточок, виноградних стебел і винних осадів. Анаеробне зброджування особливо підходить для обробки відходів виноробства завдяки високому вмісту багатих поживними речовинами органічних речовин і значного енергетичного потенціалу. В роботі показано, що на сьогоднішній день широко представлені тільки результати мезофільних тестів. У цьому дослідженні потенційна продукція метану і кінетичні константи були визначені за допомогою періодичних досліджень в термофільних умовах і зіставлені з мезофільними значеннями, вже відомими в літературі. Показано, що з виноградних відходів, вироблених в Італії (808 тис. т на рік) може бути вироблено близько 245 ГВт·год. теплової та 201 ГВт·год. електричної енергії за рік.

У дослідженні [22] приведена оцінка вироблення біогазу та метану з вичавок винограду (сорт Каберне Фран). Були визначені фізичні і хімічні характеристики сировини, а структурні полісахариди ідентифіковані та проаналізовані методом Ван-Соеста. Для оцінки виробництва метану з вичавки винограду, м'якоті і насіння, проведені періодичні анаеробні зброджування. При цьому оцінено вплив подрібнення біомаси шляхом механічної попередньої її обробки на метановий потенціал. Показано, що попередня обробка біомаси збільшує анаеробну біорозкладність для вичавки, м'якоті і насіння винограду на 13,1%, 4,8% і 22,2% відповідно.

В роботі [23] представлені результати експериментів на лабораторних установках для оцінки виходу біогазу і метану, отриманих в результаті анаеробного зброджування свіжих виноградних відходів. Результати експериментів показують, що вихід метану досягає до 110 м^3/т з більш високою продуктивністю, ніж з інших видів біомаси. Включення виноградних кісточок позитивно впливає на вироблення біогазу та метану. Крім того, при використанні подрібнених виноградних відходів може бути досягнутий більш високий відсоток CH^4.

Аналіз проведених досліджень показує, що потрібне подальше вивчення питань інтенсифікації виходу біогазу та вироблення електроенергії на основі зброджування гною ВРХ зі стимулюючими добавками. При цьому в розглянутих вище роботах оцінка виходу біогазу здійснювалась тільки за даними експериментальних досліджень, що вимагає значних тимчасових і вартісних витрат, особливо при

періодичному завантаженні субстратів. Хоча в теперішньому часі велика кількість сучасних біогазових установок працює в системі з квазінбезперервним завантаженням.

Одним з підходів до усунення зазначених недоліків є застосування математичних моделей прогнозування виходу біогазу при переході від періодичного до квазінепереривного завантаження метантенка.

Мета досліджень

Метою роботи є підвищення виходу біогазу із гною ВРХ за рахунок додавання стимулюючої добавки у вигляді відходів виноробства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– визначити вихід біогазу із гною ВРХ з додаванням відходів виноробства при періодичному завантаженні метантенка;

– оцінити вихід біогазу при зброджуванні гною ВРХ з додаванням відходів виноробства;

– за допомогою математичної моделі спрогнозувати вихід біогазу при квазінепереривному завантаженні метантенка.

Результати досліджень

Для проведення дослідження використовувалась лабораторна біогазова установка з 30 л метантенком, мокрим газгольдером (рис. 1) при періодичному завантаженні субстрату, при якому метантенк повністю заповнюється свіжою порцією субстрату, яка видаляється з нього лише після закінчення періоду метанового бродіння.

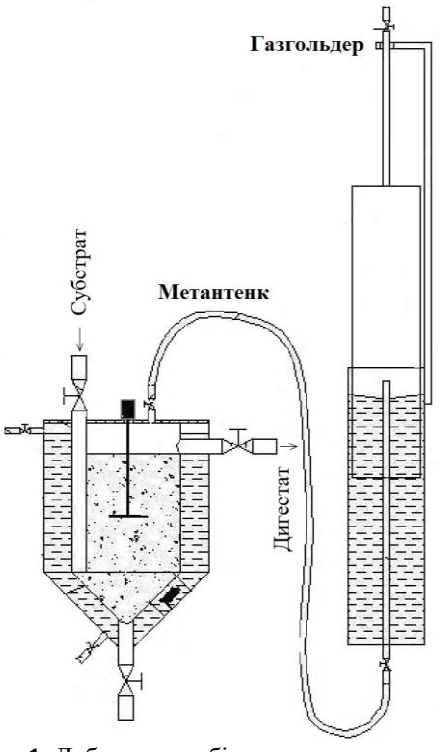


Рис. 1. Лабораторна біогазова установка.
Fig. 1. Laboratory biogas plant.

Нагрівання субстрату в метантенку здійснюється за допомогою водяної сорочки з електронагрівачем. Завантаження свіжого субстрату в нижню частину активної зони метантенка проводиться через трубку метантенка, що забезпечує витіснення відпрацьованого дигестату на рівні межі субстрату і біогазу. При заправці метантенка в ньому необхідно зберегти не менше 1/3 відпрацьованого дигестату для незмінності мікрофлори комплексу метаноутворюючих бактерій. Вихід біогазу фіксується за шкалою, відградуйованою в сантиметрах, нанесеною на циліндр-рівнемір мокрого газгольдера. Біогаз спалюється на газовій плиті, нагріваючи при цьому воду у вимірювачі теплотворення [24].

Для проведення дослідів з додаванням стічних вод виноробних виробництв (СВВВ) субстрат готувався шляхом додавання до водопровідної води подрібнених виноградних гребенів в співвідношенні 10:1. В ході досліджень частина води в субстраті була замінена СВВВ, як показано в табл. 1.

Середній виміряний pH субстрату при вмісті в ньому 2% СВВВ склав 7,86, при вмісті 6,5% СВВВ – 7,4, при вмісті 13% СВВВ – 7,38.

Метантенк завантажувався субстратом наполовину (коефіцієнт завантаження – 0,5). При додаванні нової порції субстрату переброджений субстрат змінювався наполовину (коефіцієнт спорожнення – 0,5). Тобто, при новому завантаженні в метантенк додавалось 7,5 кг субстрату. Як субстрат використовувався гній ВРХ (тверда фракція), зібраний на пасовищі, з його відносною вологістю 84%. У метантенк завантажувалось 3 кг гною, розведеного 4,5 кг рідини (води або її суміші з СВВВ). Температура бродіння становила 40°С.

Таблиця 1. Склад субстрату при дослідженні впливу СВВВ на вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ.

Table 1. The composition of the substrate in the study of the effect of wastewater from wineries on biogas yield during methane fermentation of cattle manure

Показник	№ досліду			
	1	2	3	4
ВРХ	3	3	3	3
Волога, кг, в якій:	4,5	4,5	4,5	4,5
вода, кг	4,5	4,35	4	3,5
СВВВ, кг %	0 0	0,15 2	0,5 6,5	1 13
Вміст СОР в субстраті, кг %	0,46 5,44	0,40 5,34	0,41 5,47	0,42 5,65
Відносна вологість субстрату, %	93,40	93,5	93,4	93,2

Дослідження виходу біогазу при зброджуванні гною ВРХ з додаванням СВВВ. На рис. 2 представлені результати досліджень, які свідчать, що при зброджуванні гною ВРХ та заміною частини води в субстраті 2% СВВВ в субстраті, динаміка зброджування аналогічна збраживанию чистого гною ВРХ [24]. У цьому випадку вихід біогазу поступово

зростає в часі, а потім так само поступово спадає.

Збільшення вмісту СВВВ в субстраті до 6,5% і більше дещо змінює динаміку зброджування субстрату. Вихід біогазу з часом різко зростає, а після досягнення максимуму так само різко падає.

При незначному вмісті СВВВ в субстраті спостерігається діауксія, яка чітко виражена, тоді як при збільшенні вмісту стоків в субстраті стає ледь помітною.

Із рис. 2 встановлено, що максимальний вихід біогазу при 2% заміні води на СВВВ в субстраті становить 0,415 л/(год.·кг СОР), 6,5% – 0,862 л/(год.·кг СОР), 13% – 1,372 л/(год.·кг СОР).

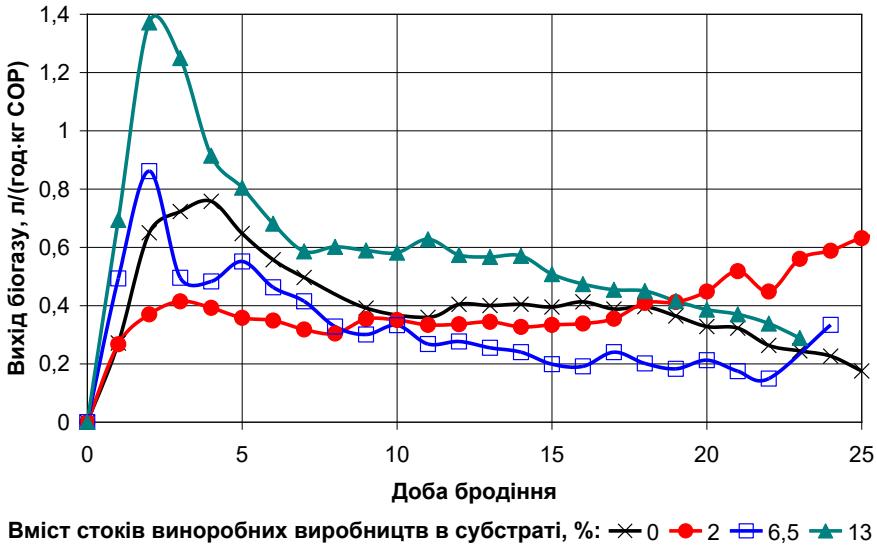


Рис. 2. Динаміка виходу біогазу при зброджуванні гною ВРХ з додаванням СВВВ при температурі бродіння 40°С.

Fig. 2. Dynamics of biogas output during fermentation of cattle manure with the addition of wastewater from wineries at a fermentation temperature of 40°C.

Біогаз, отриманий при зброджуванні гною ВРХ з додаванням замість води СВВВ 2%, 6,5% і 13%, в першу добу бродіння або зовсім не горів, або погано горів, виділяючи близько 8 МДж/м^3 біогазу за експрес-методом [25]. На другу добу метанового бродіння горіння біогазу стабілізувався з теплотою згоряння 14-18 МДж/м^3 за експрес-методом.

С допомогою газоаналізатора GEM-500 визначався елементний склад біогазу при різних рівнях циліндра-рівнеміра. У разі знаходження циліндра-рівнеміра на позначці 12,5 см вміст метану в біогазі становив 62%, а теплота згоряння біогазу складала 22,1 МДж/м^3. В інших випадках біогаз для вимірювання його елементного складу відбирався з газгольдера при опусканні циліндра-рівнеміра до рівнів 19,5 см, 15 см, 12 см, 10 см, 7 см, 5 см, 3 см. При цьому вміст метану в біогазі становив 52 %, 55%, 65%, 66%, 68%, 66% і 66% відповідно.

Таким чином, СВВВ доцільно використовувати для часткової заміни води при приготуванні субстратів для виробництва біогазу. В результаті проведених досліджень встановлено, що максимальний вихід біогазу реєструвався при концентрації 13% СВВВ. Менший вміст СВВВ в субстраті істотно не покращує вихід біогазу в порівнянні з використанням для приготування субстрату звичайної води.

Моделювання виходу біогазу при квазібезперервному завантаженні метантенка на основі результатів експериментальних досліджень виходу біогазу при періодичному завантаженні метантенка. Метантенк біогазової установки, на якому проводились експериментальні дослідження зброджування субстратів на основі гною ВРХ з додаванням СВВВ, призначений для періодичного завантаження субстрату. Режим квазінепереривного завантаження субстрату, коли він завантажується малими порціями через певний проміжок часу, як правило, близько 1 год., на цьому метантенку здійснити досить складно.

Разом з тим, на практиці на діючих біогазових установках періодичний режим завантаження метантенка застосовується рідко, частіше використовується квазінепереривний режим завантаження, коли субстрат в метантенк завантажується малими порціями через певний проміжок часу (як правило, близько 1 год.). При цьому вихід біогазу сягає максимального значення при періодичній системі завантаження і тримається на такому рівні протягом всього часу роботи біогазової установки. Тому, використовуючи результати дослідів при періодичній системі завантаження метантенка, можна змоделювати вихід біогазу при квазінепереривній системі завантаження. На основі даних, наведених в роботі [26], і власних досліджень [24], можна стверджувати, що вихід біогазу при квазібезперервній системі завантаження буде близький до максимального виходу біогазу при періодичній системі завантаження метантенка

Розглянемо математичну модель функціонування метантенка біогазової установки, що складається з системи диференціальних рівнянь, в якій зростання

популяції метаноучворюючих бактерій описується рівнянням Моно з урахуванням процесу відмирання, що задається рівнянням Колпікова, а швидкість утворення біогазу – прямо пропорційна концентрації бактерій. Модель концентрації поживних речовин субстрату враховує зміну концентрації поживних речовин субстрату в часі, завантажених з субстратом в метантенк, а також вивантажених з нього, перероблених бактеріями і використаних для формування їх клітинної біомаси, на виробництво енергії для підтримки їх життєдіяльності і вироблення біогазу:

$$\begin{cases} \dfrac{dC}{dt} = \left(\dfrac{\mu_m \cdot S}{k_a + S} - \dfrac{\mu_d \cdot k_b}{k_b + S} - p \right) \cdot C \\ \dfrac{dS}{dt} = p \cdot (S_0 - S) - \left(k_\alpha \cdot \mu_m \cdot C + \dfrac{k_\beta \cdot S \cdot \mu_m}{k_a + S} \cdot C + k \cdot \rho_б \cdot \rho_c \cdot \dfrac{dV_б}{dt} \right) \\ \dfrac{dV_б}{dt} = \dfrac{K_\gamma \cdot S}{\rho_c} \end{cases}$$

де C – концентрація бактерій, кг/м^3; S – концентрація поживних речовин в субстраті, кг/м^3; dV/dt – динаміка виходу біогазу, м^3/(кг·добу); p – коефіцієнт розведення культури потоком свіжого субстрату, доба$^{-1}$; k – коефіцієнт перетворення поживних речовин субстрату в біогаз, кг/кг; $\rho_б$, ρ_c – щільність біогазу і субстрату, кг/м^3; k_α, k_β – безрозмірні коефіцієнти засвоєння субстрату; k_a – константа, рівна такій концентрації поживних речовин субстрату, при якій швидкість росту досягає половини граничної, кг/м^3; k_b – емпіричний коефіцієнт, кг/м^3; μ_d – максимальна питома швидкість відмирання метанобразующих бактерій, доба$^{-1}$; μ_m – максимальна питома швидкість росту метаноутворюючих бактерій, доба$^{-1}$; $K\gamma$ – коефіцієнт швидкості перетворення поживних речовин субстрату в біогаз, м^3/(кг·добу.); t – час, діб

Початковими умовами для вирішення системи диференціальних рівнянь є:

– початкова концентрація біомаси метаноутворюючих бактерій (C_0) в метантенку – 1 кг/м^3;

– початкова концентрація поживних речовин в субстраті (S_0) визначалася з результатів експериментальних досліджень: в метантенк робочим об'ємом 30 л завантажувалося 8,5 кг субстрату, в т.ч. 3,5 кг гною ВРХ та 5 кг води; отже, $S_0 = 3{,}5/(30 \cdot 1000) = 115$ кг/м^3;

– початковий вихід біогазу V_0=0 м^3/м^3.

З урахуванням того, що з 1 г оцтової кислоти утворюється 0,27 г метану, коефіцієнт перетворення поживних речовин субстрату в біогаз приймається як k = 0,27.

У разі періодичного завантаження метантенка відносна швидкість надходження субстрату p=0 діб$^{-1}$, а для квазібезперервного режиму – p>0 діб$^{-1}$.

При квазінепереривному завантаженні відносна швидкість надходження субстрату p може бути визначена як величина, зворотна часу гідравлічного утримання: p=1/t$_{гу}$. На працюючих біогазових установках t$_{гу}$ близький до 20 діб, тому p=0,05 діб$^{-1}$ [27].

Параметри μ_m, μ_d, k_a, k_b, k_α, k_β, K_γ залежать від температурного режиму метантенка і типу косубстрату. Щільність біогазу становить 1,212 кг/м^3. Щільність субстрату становить ρ_c=1010 кг/м^3.

У пакеті Simulink, інтегрованого в програму MATLAB, було проведено імітаційне моделювання процесу зброджування гною ВРХ з додаванням СВВВ. В результаті отримана динаміка виходу біогазу, як показано на рис. 3.

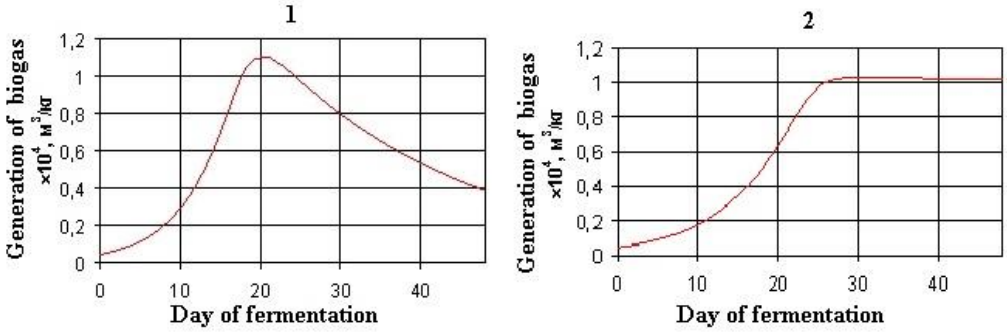


Рис. 3. Динаміка виходу біогазу, отримана в результаті моделювання процесу зброджування гною ВРХ з додаванням СВВВ: 1 – при періодичному завантаженні субстрату; 2 – при квазінепереривномух завантаженні субстрату

Fig. 3. Dynamics of biogas output obtained as a result of modeling the functioning of the digester of a biogas plant during fermentation of cattle manure with the addition of wastewater from wineries: 1 – with periodic loading of the substrate; 2 – with quasi-continuous substrate loading

Крім того, здійснювалося порівняння результатів імітаційного моделювання динаміки виходу біогазу з результатами експериментальних досліджень. Шляхом підбору параметрів μ_m, μ_d, k_a, k_b, k_α, k_β, K_γ домагалися того, щоб імітована модель, представлена в осцилографі Scope пакета Simulink, була найбільш близькою до залежності виходу біогазу в часі, отриманої експериментальним шляхом (див. рис. 2).

Вихід біогазу вимірювався в м^3/кг, оскільки при проведенні експериментальних досліджень вихід біогазу визначався з 1 кг субстрату.

Ступінь наближення результатів імітаційного моделювання генерації біогазу до виходу біогазу, отриманого експериментальним шляхом, оцінювалась коефіцієнтом детермінації.

Коефіцієнти імітаційної моделі виходу біогазу при зброджуванні гною ВРХ з додаванням СВВВ з різним їх вмістом в субстраті при температурі бродіння 40°С наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Коефіцієнти імітаційної моделі виходу біогазу при зброджуванні гною ВРХ з додаванням СВВВ з різним їх вмістом в субстраті при температурі бродіння 40°С.

Table 2. Coefficients of the simulation model of biogas yield during fermentation of cattle manure with the addition of wastewater from wineries with different content in the substrate at a fermentation temperature of 40°C

Вміст СВВВ, %	μ_m, діб$^{-1}$	μ_d, діб$^{-1}$	K_γ, м^3/(кг·добу)	R^2
2,0	2,4	0,085	0,00000093	0,9041
6,5	2,1	0,09	0,00000195	0,9083
13	2,0	0,095	0,00000313	0,9382

При імітаційному моделюванні приймалося, що k_α=10^{-9}, k_β=5, k_a 14 кг/м^3, k_b=0,01 кг/м^3.

Коефіцієнти μ_m, μ_d і K_γ визначалися шляхом підбору і порівняння даних імітаційного моделювання з експериментальними даними до отримання найнижчого можливого коефіцієнта детермінації R^2.

Коефіцієнт μ_m, в табл. 2 може бути описаний логарифмічною функцією, а коефіцієнти μ_d і K_γ – полиномом Ньютона другого порядку:

$$\mu_m = 0{,}2414 \cdot \ln(Wd) + 0{,}5514 \quad \text{при } R^2=0{,}9863, \tag{2}$$

$$\mu_d = -1{,}58 \cdot 10^{-3} \cdot Wd^2 + 3{,}15 \cdot 10^{-2} \cdot Wh - 4{,}82 \cdot 10^{-2} \quad \text{при } R^2=0{,}9999, \tag{3}$$

$$K_\gamma = -4{,}1 \cdot 10^{-9} \cdot Wd^2 + 2{,}62 \cdot 10^{-7} \cdot Wh + 4{,}23 \cdot 10^{-7} \quad \text{при } R^2=1{,}0, \tag{4}$$

де Wd – вміст СВВВ в субстраті, %.

Оскільки коефіцієнти детермінації імітаційної моделі виходу біогазу при зброджуванні гною ВРХ з додаванням СВВВ наближаються до одиниці, то вони досить точно відображають експериментальні дані. При перевірці за критерієм Фішера встановлена значимість коефіцієнта детермінації.

Змодельований вихід біогазу при зброджуванні гною ВРХ з СВВВ для квазінеперервної системи завантаження метантенка апроксимується ступеневою функцією:

$$V_{б\ мод} = 0{,}266 \cdot Wd^{0{,}64} \quad \text{при } R^2=0{,}9992 \tag{5}$$

де $V_{б\ мод}$ – змодельований вихід біогазу для квазібезперервної системи завантаження метантенка, л/кг СОР; W_d – вміст в субстраті стоків виноробних виробництв, %.

Новизна роботи полягає в тому, що за даними експериментальних досліджень виходу біогазу при періодичному режимі завантаження за допомогою розробленої математичної моделі, реалізованої в пакеті Simulink, забезпечується прогнозування виходу біогазу для квазібезперервного завантаження метантенка.

При зброджуванні гною з ферми на 1000 голів ВРХ (з них 500 дійних корів) добовий вихід біогазу становитиме 10,6 тис. м^3. При цьому термін окупності біогазової установки потужністю 2,3 МВт у складі двох метантенків об'ємом по 2500 м^3 (один з яких виступає в ролі доброджувача, де виробляється до 20% біогазу) при ціні електроенергії, отриманої з біогазу по "зеленому" тарифу, 0,157 $/кВт·год., становить 10 років. Річне виробництво електроенергії при спалюванні біогазу на когенераційної установку становить 27,9 млн. МДж (7,8 млн. кВт·год.). При цьому також виробляється 7,7 тис. Гкал теплової енергії, яку крім підтримки теплового балансу метантенків можна використовувати для побутових потреб.

При утилізації відходів виноробних виробництв шляхом їх метанового зброджування спільно з гноєм ВРХ з ферми на 1000 голів добовий вихід біогазу збільшиться до 20,5 тис. м^3. Річне виробництво електроенергії збільшиться до 54,7 млн. МДж (15,2 млн. кВт·год.), теплової енергії – до 14,79 тис. Гкал. При цьому термін окупності біогазової установки потужністю 4,4 МВт при використанні «зеленого» тарифу скоротиться до 6,5 років (рис. 4).

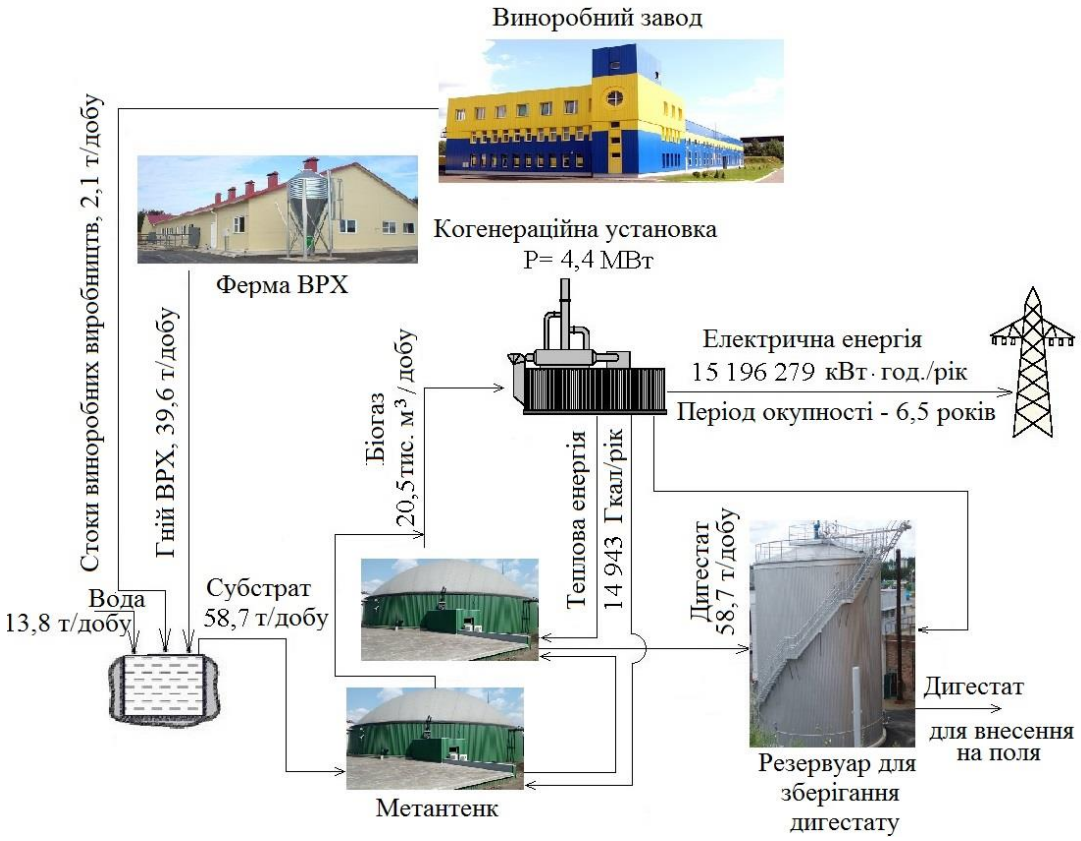


Рис. 4. Схема виробництва біогазу з гною великої рогатої худоби і стічних вод виноробних виробництв з виробленням теплової та електричної енергії.

Fig. 4. Diagram of biogas production from cattle manure and wastewater from wineries with the generation of heat and electricity.

Висновки

1. В результаті проведених досліджень встановлено, що при зброджуванні гною ВРХ з додаванням СВВВ максимальний вихід біогазу при 2% заміні води на СВВВ в субстраті становить 0,415 л/(год.·кг СОР), 6,5% – 0,862 л/(год.·кг СОР), 13% – 1,372 л/(год.·кг СОР).

2. Прогнозований вихід біогазу, отриманий за допомогою розробленої математичної моделі, реалізованої в пакеті Simulink при квазінеперервному завантаженні метантенка, і результати експериментальних досліджень виходу біогазу при періодичному режимі завантаження з додаванням до гною ВРХ 13% відходів виноробства в пікових точках повністю збігаються.

3. При реалізації нового методичного підходу до прогнозування виходу біогазу результати розрахунків показують, що використання відходів виноробства в якості косубстрату дозволить збільшити в господарстві з поголів'ям 1000 голів ВРХ добовий вихід біогазу до 20,5 тис. м^3, річне виробництво електроенергії – до 54,7 млн. МДж (15,2 млн. кВт.·год.), теплової енергії – до 14,79 тис. Гкал. При цьому термін окупності біогазової установки потужністю 4,4 МВт при використанні "зеленого" тарифу знизитися до 6,5 років.

Список літератури

1. *Lijo L., Gonzalez-Garcia S., Bacenetti J., Moreira M.T.* The environmental effect of substituting energy crops for food waste as feedstock for biogasproduction. *Energy*, 2017, vol. 137. P. 1130-1143. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.137.

2. *Lo K.V., Liao P.H.* Methane production from fermentation of winery waste. *Biomass*. 1986, Vol. 9, iss. 1. P. 19-27. doi: doi.org/10.1016/0144-4565(86)90009-0.

3. *Ehlinger F., Gueler I., Bal, F.X., Prevot C.* Treatment of lees vinasses of red wine by methanogenic fermentation in presence of tannins and sulphides. *Water Science & Technology*. 1992, Vol. 25, iss. 7. P. 275-284. doi: doi.org/10.2166/wst.1992.0159.

4. *Крусир Г. В., Дубровин В. А., Полищук В. Н., Дубовик А. А., Соколова И. Ф.* Исследование метаногенеза сточных вод предприятий первичного виноделия. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Т. 4. № 10 (70). С. 43–47. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.26227.

5. *Домарецкий В., Куц А., Билько М., Мельник И.* Получение биогаза из сточных вод винодельческих предприятий. *Научные труды Одесской национальной академии пищевых технологий.* 2010, Ч. 2, № 38. С. 300-305.

6. *Jasko J., Skripsts E., Dubrovskis V.* Biogas production of winemaking in anaerobic fermenyation process. *11th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development* (*May 24-25, 2012,*

Jelgava, Latvia), *Engineering for Rural Development.* 2012, Vol. 11. P. 576-579.

7. *Moletta R.* Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. *Water Science & Technology*. 2005, Vol. 51, iss. 1. P. 137-144. doi: 10.2166/wst.2005.0017.

8. *Perez M., Romero L.I., Sales D.* Organic matter degradation kinetics in an anaerobic thermophilic fluidised bed bioreactor. *Anaerobe*. 2001, Vol. 7, iss. 1. P. 25-35. doi: 10.1006/anae.2000.1362.

9. *Perez M., Romero L.I., Sales D.* Anaerobic thermophilic fluidized bed treatment of industrial wastewater: Effect of F : M relationship. *Chemosphere*. 1999, Vol. 38, iss. 14. P. 3443-3461. doi: 10.1016/S0045-6535(98)00556-6.

10. *Akassou M., Kaanane A., Crolla A., Kinsley C.* Statistical modelling of the impact of some polyphenols on the efficiency of anaerobic digestion and the co-digestion of the wine distillery wastewater with dairy cattle manure and cheese whey. *Water Science And Technology*. 2010, Vol. 62, iss. 3. P. 475-483. doi: 10.2166/wst.2010.235.

11. *Carrillo-Reyes J., Albarrán-Contreras B.A., Buitron G.* Influence of Added Nutrients and Substrate Concentration in Biohydrogen Production from Winery Wastewaters Coupled to Methane Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2019, Vol. 187. P. 140-151. doi: doi.org/10.1007/s12010-018-2812-5.

12. *Rebecchi S., Bertin L., Vallini V., Bucchi G., Bartocci F., Fava F*. Biomethane production from grape pomaces: a technical feasibility study. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2013, Vol. 12, iss. S11. P. 105-108.

13. *Paschal C., Gastory L., Katima J.H.Y., Njau K. N.* Application of up-flow anaerobic sludge blanket reactor integrated with constructed wetland for treatment of banana winery effluent. *Water Practice And Technology*. 2017, Vol. 12, iss. 3. P. 667-674. doi: 10.2166/wpt.2017.062.

14. *Makadia T.H., E., Adetutu T.M., Sheppard P.J., Ball A.S.* Effect of anaerobic co-digestion of grape marc and winery wastewater on energy production. *Australian Journal of Crop Science*. 2016, Vol. 10, iss. 1. P. 57-61.

15. *Cavinato C., Da Ros C., Pavan P., Cecchi F. Bolzonella D.* Treatment of waste activated sludge together with agro-waste by anaerobic digestion: focus on effluent quality. *Water Science And Technology*. 2014, Vol. 69, iss. 3. P. 525-531. doi: 10.2166/wst.2013.736.

16. *Da Ros C., Cavinato C., Cecchi F., Bolzonella D.* Anaerobic co-digestion of winery waste and waste activated sludge: assessment of process feasibility. *Water Science And Technology*. 2014, Vol. 69, iss. 2. P. 269-277. doi: 10.2166/wst.2013.692.

17. *Da Ros C., Cavinato C., Pavan P., Bolzonella D.* Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of winery wastewater sludge and winelees: An integrated approach for sustainable wine production. *Journal of Environmental Management*. 2017, Vol. 203, Part 2, SI. P. 745-752. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.03.029.

18. *Da Ros C., Cavinato C., Pavan P., Bolzonella D.* Winery waste recycling through anaerobic co-digestion with waste activated sludge. *Waste Management*. 2014, Vol. 34, iss. 11. P. 2028-2035. doi: 10.1016/j.wasman.2014.07.017.

19. *Tai M. Q., Chen J. R., Chang C. C.* Feasibility of anaerobic co-digestion of waste activated sludge under thermophilic conditions. For results 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (Jun 11-16, 2009, Beijing, China), Engineering for Rural Development. 2009, Vol. 1–11. 6320

20. *Tai M. Q., Chen J. R., Chang C. C.* Effect of ultrasonic pretreatment subsequent anaerobic co-digestion on naphthalene and pyrene removal. For results International Conference on Advances in Chemical Technologies for Water and Wastewater Treatment (May 15-18, 2008, Xian, China), Advanced in chemical Technologies for water and wastewater treatment. 2008. P. 637–646.

21. *Da Ros C., Cavinato C., Bolzonella D. Pavan R.* Renewable energy from thermophilic anaerobic digestion of winery residue: preliminary evidence from batch and continuous lab-scale trials. *Biomass Bioenergy*. 2016, Vol. 91. P. 150-159.

22. *Achkar J. H., Lendormi T., Hobaika Z., Salameh Il., Louka N., Maroun R. G., I.anoiselle J. L.* Anaerobic digestion of grape pomace: biochemical characterization of the fractions and methane production in batch and continuous digesters. *Waste Management.* 2016, Vol. 50. P. 275-282. doi: doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.028.

23. *Failla S., Restuccia A.* Methane potentials from grape marc by a laboratory scale plant. Applied Mathematical Sciences. 2014, Vol. 8, iss. 132. P. 6665-6678. doi: dx.doi.org/10.12988/ams.2014.474551.

24. *Polishchuk V., Titova L., Shvorov S., Gunchenko Y.* Estimation of Biogas Yield and Electricity Output during Cattle Manure Fermentation and Adding Vegetable Oil Sediment as a Co-substrate. *Problemele Energeticii Rregionale*. 2019. Vol. 2 (43). P. 117-132.

25. *Поліщук В. М., Василенков В. Є., Лободко М. М., Волошин В.С.* Експрес-метод визначення теплотворної здатності біогазу. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2012. № 170. Ч. 2. С. 258–263.

26. *Eder B., Schulz H.* Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Wirtschaftlichkeit, Beispiele, 2007. Freiburg, Germany: Ökobuch, 237 p.

27. *Королев С. А., Майков Д. В.* Идентификация математической модели и исследование различных режимов метаногенеза в мезофильной среде. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2012. Т.4. №1. С. 131–141.

References

1. *Lijo, L., Gonzalez-Garcia, S., Bacenetti, J., Moreira, M.T.* (2017). The environmental effect of substituting energy crops for food waste as feedstock for biogasproduction. Energy. 137. 1130-1143. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.137.

2. *Lo, K.V., Liao, P.H.* (1986). Methane production from fermentation of winery waste. Biomass. 9 (1). 19-27. doi: doi.org/10.1016/0144-4565(86)90009-0.

3. *Ehlinger, F., Gueler, I., Bal, F.X., Prevot, C.*

(1992). Treatment of lees vinasses of red wine by methanogenic fermentation in presence of tannins and sulphides. Water Science & Technology. 25 (7). 275-284. doi: doi.org/10.2166/wst.1992.0159.

4. *Krusir, G., Dubrovin, V., Polishchuk, V., Dubovik, A., Sokolova, I.* (2014). Research of metanogenesis waste waters of primary winemaking. Eastern-European Journal of Enterprice Technologies. 9 (10). 43-47. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26227.

5. *Domareckij, V., Kuts, A., Bilko, M., Melnik, I.* (2010). Reception of biogas from waste and waste water wine companies. Scientific works of the Odessa National Academy of Food Technologies. 2 (38). 300-305.

6. *Jasko, J., Skripsts, E., Dubrovskis, V.* (2012). Biogas production of winemaking in anaerobic fermenyation process. 11th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development (May 24-25, 2012, Jelgava, Latvia), Engineering for Rural Development. 11. 576-579.

7. *Moletta, R.* (2005). Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. Water Science & Technology. 51 (1). 137-144. doi: 10.2166/wst.2005.0017.

8. *Perez, M., Romero, L.I., Sales, D.* (2001). Organic matter degradation kinetics in an anaerobic thermophilic fluidised bed bioreactor. Anaerobe. 7 (1). 25-35. doi: 10.1006/anae.2000.1362.

9. *Perez, M., Romero, L.I., Sales, D.* (1999). Anaerobic thermophilic fluidized bed treatment of industrial wastewater: Effect of F : M relationship. Chemosphere. 38 (14). 3443-3461. doi: 10.1016/S0045-6535(98)00556-6.

10. *Akassou, M., Kaanane, A., Crolla, A., Kinsley, C.* (2010). Statistical modelling of the impact of some polyphenols on the efficiency of anaerobic digestion and the co-digestion of the wine distillery wastewater with dairy cattle manure and cheese whey. Water Science And Technology. 62 (3). 475-483. doi: 10.2166/wst.2010.235.

11. *Carrillo-Reyes, J., Albarrán-Contreras, B.A., Buitron, G.* (2019). Influence of Added Nutrients and Substrate Concentration in Biohydrogen Production from Winery Wastewaters Coupled to Methane Production. Applied Biochemistry and Biotechnology. 187. 140-151. doi: doi.org/10.1007/s12010-018-2812-5.

12. *Rebecchi, S., Bertin, L., Vallini, V., Bucchi, G., Bartocci, F., Fava, F.* (2013). Biomethane production from grape pomaces: a technical feasibility study. Environmental Engineering and Management Journal. 12 (S11). 105-108.

13. *Paschal, C., Gastory, L., Katima, J.H.Y., Njau, K.N.* (2017). Application of up-flow anaerobic sludge blanket reactor integrated with constructed wetland for treatment of banana winery effluent. Water Practice And Technology. 12 (3). 667-674. doi: 10.2166/wpt.2017.062.

14. *Makadia, T.H., Adetutu, T.M., Sheppard, P.J., Ball, A.S.* (2016). Effect of anaerobic co-digestion of grape marc and winery wastewater on energy production. Australian Journal of Crop Science. 10 (1). 57-61.

15. *Cavinato, C., Da Ros, C., Pavan, P., Cecchi, F. Bolzonella, D.* (2014). Treatment of waste activated sludge together with agro-waste by anaerobic digestion: focus on effluent quality. Water Science And Technology. 69 (3). 525-531. doi: 10.2166/wst.2013.736.

16. *Da Ros C., Cavinato C., Cecchi F., Bolzonella D.* Anaerobic co-digestion of winery waste and waste activated sludge: assessment of process feasibility. *Water Science And Technology*. 2014, Vol. 69, no. 2. pp. 269–277. doi: 10.2166/wst.2013.692.

17. *Da Ros, C., Cavinato, C., Pavan, P., Bolzonella, D.* (2017). Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of winery wastewater sludge and winelees: An integrated approach for sustainable wine production. Journal of Environmental Management. 203 (2). 745-752. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.03.029.

18. *Da Ros, C., Cavinato, C., Pavan, P., Bolzonella, D.* (2014). Winery waste recycling through anaerobic co-digestion with waste activated sludge. Waste Management. 34 (11). 2028-2035. doi: 10.1016/j.wasman.2014.07.017.

19. *Tai, M.Q., Chen, J.R., Chang, C.C.* (2009). Feasibility of anaerobic co-digestion of waste activated sludge under thermophilic conditions. For results 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (Jun 11-16, 2009, Beijing, China), Engineering for Rural Development. 1-11. 6320

20. *Tai, M.Q., Chen, J.R., Chang, C.C.* (2008). Effect of ultrasonic pretreatment subsequent anaerobic co-digestion on naphthalene and pyrene removal. For results International Conference on Advances in Chemical Technologies for Water and Wastewater Treatment (May 15-18, 2008, Xian, China), Advanced in chemical Technologies for water and wastewater treatment. 637-646.

21. *Da Ros, C., Cavinato, C., Bolzonella, D. Pavan R.* (2016). Renewable energy from thermophilic anaerobic digestion of winery residue: preliminary evidence from batch and continuous lab-scale trials. Biomass Bioenergy. 91. 150-159.

22. *Achkar, J.H., Lendormi, T., Hobaika, Z., Salameh, I., Louka, N., Maroun, R.G., Lanoiselle, J.L.* (2016). Anaerobic digestion of grape pomace: biochemical characterization of the fractions and methane production in batch and continuous digesters. Waste Management. 50. 275-282. doi: doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.028.

23. *Failla, S., Restuccia, A.* (2014). Methane potentials from grape marc by a laboratory scale plant. Applied Mathematical Sciences. 8 (132). 6665-6678. doi: dx.doi.org/10.12988/ams.2014.474551.

24. *Polishchuk, V., Titova, L., Shvorov, S., Gunchenko, Y.* (2019). Estimation of Biogas Yield and Electricity Output during Cattle Manure Fermentation and Adding Vegetable Oil Sediment as a Co-substrate. Problemele Energeticii Rregionale. 2 (43). 117-132.

25. *Polishchuk, V.M., Vasilenkov, V.E., Lobodko, M.M., Voloshin, V.S.* (2012). Express method for determining the calorific value of biogas Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences. 174 (2). 258-263.

26. *Eder, B., Schulz, H.* (2007). Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Wirtschaftlichkeit, Beispiele, Freiburg, Germany: Ökobuch. 237.

27. *Korolev, S.A., Maykov, D.V.* (2012). Identification of a mathematical model and study of various modes of methanogenesis in a mesophilic

medium. Computer Research and Modeling. 4 (1). 131-141.

ПОВЫШЕНИЕ ВЫХОДА БИОГАЗА ПРИ СБРАЖИВАНИИ НАВОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА С ОТХОДОВ ВИНОДЕЛИЯ В БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

В. Н. Полищук, С. А. Шворов, Г. В. Крусир, Д. А. Деревянко, Е. А. Дворник, Т. С. Давиденко

Аннотация. Целью работы является повышение выхода биогаза и выработки электроэнергии на биогазовых установках за счет совместного сбраживания навоза крупного рогатого скота с отходами виноделия. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: определялся выход биогаза из навоза крупного рогатого скота с отходами виноделия при периодической загрузке метантенка; на основе полученных экспериментальных данных осуществлялась калибровка математической модели оценки выхода биогаза при сбраживании навоза крупного рогатого скота с добавлением отходов виноделия; с помощью откалиброванной математической модели прогнозировался выход биогаза для квазинепрерывной загрузки метантенка. Исследования проводились на лабораторной биогазовой установке, состоящей из метантенка полезным объемом 30 л и газгольдера мокрого типа. Выход биогаза фиксировался по поднятию цилиндра-уровнемера мокрого газгольдера с помощью, закрепленной на нем шкалы, отградуированной в сантиметрах. Теплота сгорания биогаза определялась по его элементному составу, который фиксировался газоанализатором. Наиболее существенными результатами являются следующие: по данным экспериментальных исследований выхода биогаза при периодическом режиме загрузки с использованием разработанной математической модели обеспечивается прогнозирование выхода биогаза для квазинепрерывной загрузки метантенка. В результате проведенных исследований установлено, что максимальный выход биогаза при 2% замене воды на СВВП в субстрате составляет 0,415 л/(ч.·кг СОВ), 6,5% – 0,862 л/(ч.·кг СОВ), 13% – 1,372 л/(ч. ·кг СОВ). Значимость результатов исследований состоит в том, что использование отходов виноделия в качестве косубстрата позволит увеличить в хозяйстве с поголовьем 1000 голов КРС суточный выход биогаза до 20,5 тыс. м^3, годовое производство электроэнергии – до 54,7 млн. МДж (15,2 млн. кВт·ч.), тепловой энергии – до 14,79 тыс. Гкал. При этом срок окупаемости биогазовой установки мощностью 4,4 МВт при использовании «зеленого» тарифа сократится до 6,5 года.

Ключевые слова: биогаз, субстрат, навоз крупного рогатого скота, отходы виноделия, сточные воды винодельческих производств, сухое органическое вещество, метантенк, биогазовая установка, метановое брожение.

INCREASED BIOGAS OUTPUT DURING FERMENTATION OF MANURE OF CATTLE WITH WINEMAKING WASTE IN BIOGAS PLANTS

V. M. Polishchuk, S. A. Shvorov, G. V. Krusir, D. A. Derevianko, Ye. O. Dvornyk, T. S. Davidenko

Abstract. The aim of the work is to increase biogas output and generation of electricity in biogas plants due to the joint fermentation of cattle manure with winemaking waste. To achieve this goal, the following tasks were solved: the biogas yield from cattle manure with winemaking waste was determined during periodic loading of the digester; on the basis of the obtained experimental data, a mathematical model was calibrated to estimate the biogas yield during fermentation of cattle manure with the addition of winemaking waste. As a result of the studies, it was found that when manure is fermented with part of the water replaced in the substrate 2% of the winemaking waste, the fermentation dynamics in the substrate are similar to the fermentation of pure cattle manure. Biogas obtained by fermentation of manure with the addition of 2%, 6.5% and 13% of wastewater from wine production instead of water in the first day of fermentation either did not burn at all or burned poorly. The addition of winemaking waste to a substrate based on manure in an amount of 13% allows increasing the maximum biogas yield by a third to 1,372 l/(hr·kg dry organic matter). The significance of the research results lies in the fact that the use of winemaking waste as a substrate will allow a third increase in biogas output and power generation, and a reduction in the payback period of a 4,4 MW biogas plant using the green tariff to 6,5 years.

Key words: biogas, substrate, cattle manure, winemaking waste, dry organic matter, digester, biogas plant, methane fermentation.

В. М. Поліщук ORCID 0000-0002-9654-9051.
С. А. Шворов ORCID 0000-0001-7776-9940.
Г. В. Крусір ORCID 0000-0001-6464-5754.
Д. А. Дерев'янко ORCID 0000-0001-8487-2153.
Є. О. Дворник ORCID 0000-0003-4904-1076.
Т. С. Давиденко ORCID 0000-0003-0277-6892.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 77-84
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.077

УДК 621.825

СИНТЕЗ ЕНЕРГООЩАДНИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ З ГВИНТОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

І. І. Чвартацький[1], І. В.Фльонц[2], А. В. Грабар[1], Р. В. Шатров[3]

[1]Відокремлений підрозділ національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут», Україна.
[2]Відокремлений структурний підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський фаховий коледж», Україна.
[3]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття зі спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: igorchvartatskiy@gmail.com, flonc_igor@ukr.net, grabar_andriy@ukr.net, rvshatrov@outlook.com

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року. Бібл. 12, рис. 7, табл. 0.

Анотація. В роботі запропоновано методику генерування конструкцій енергоощадних транспортно-технологічних систем з гвинтовими робочими органами синтезом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Розроблена модель механічної системи «гвинтовий транспортер» з групуванням конструктивних елементів за ієрархічними групами і віднесенням до першої групи механізми транспортування вантажу, гвинтові робочі органи та механізми передачі крутного моменту.

Результати. Запропоновано спосіб структуризації конструкцій енергоощадних транспортно-технологічних систем з гвинтовими робочими органами і методику їх вдосконалення на основі дослідження властивостей елементів їх структури відповідно до теорії синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу.

Ключові слова: гвинтові робочі органи, транспортування, транспортно-технологічна система, синтез.

Постановка проблеми

Однією із передумов високої конкурентної здатності підприємств є подальше вдосконалення конструктивних параметрів продукції, яка виготовляється, що сприяє зростанню продуктивності, підвищенню ефективності, покращенню якості продукції та вимагає принципово нових підходів для створення і використання високоефективних ресурсоощадних технічних систем.

Гвинтові конвеєри застосовуються у різних галузях народного господарства, зокрема в машинобудуванні для транспортування, змішування, подрібнення, сортування та виконання інших операцій. Важливим питанням проектування гвинтових конвеєрів є розширення їх технологічних можливостей, удосконалення їх конструкції і розроблення методики їх розрахунку.

Аналіз останніх досліджень

Основи конструювання, проектування та дослідження гвинтових конвеєрів заклали такі вчені як А. Віденбаум, Р. Мор, М. Данквертс, Д. Лейсі, Ю.І. Марков, А.М. Ластовцев, Г. Шенкель, В. Штербачек, Г.Г. Кошелєв, Р.В. Торнер, М.В. Тебін, Д. Мак-Кельві, Р.М. Рогатинський, Б.М. Гевко та інші [1, 2]. Проте розробка кожної окремої модифікації гвинтового конвеєра має свою специфіку особливо при наданні їм можливостей виконання додаткових операцій, що зумовлює потребу в їх подальших дослідженнях і конструюванні..

Мета досліджень

Метою досліджень є синтез та представлення нових конструкцій енергоощадних транспортно-технологічних систем.

Результати досліджень

Важливим питанням проектування транспортно – технологічних систем з гвинтовими робочими органами є пошук їх удосконалених конструкцій для досягнення високих показників продуктивності і якості транспортних операцій.

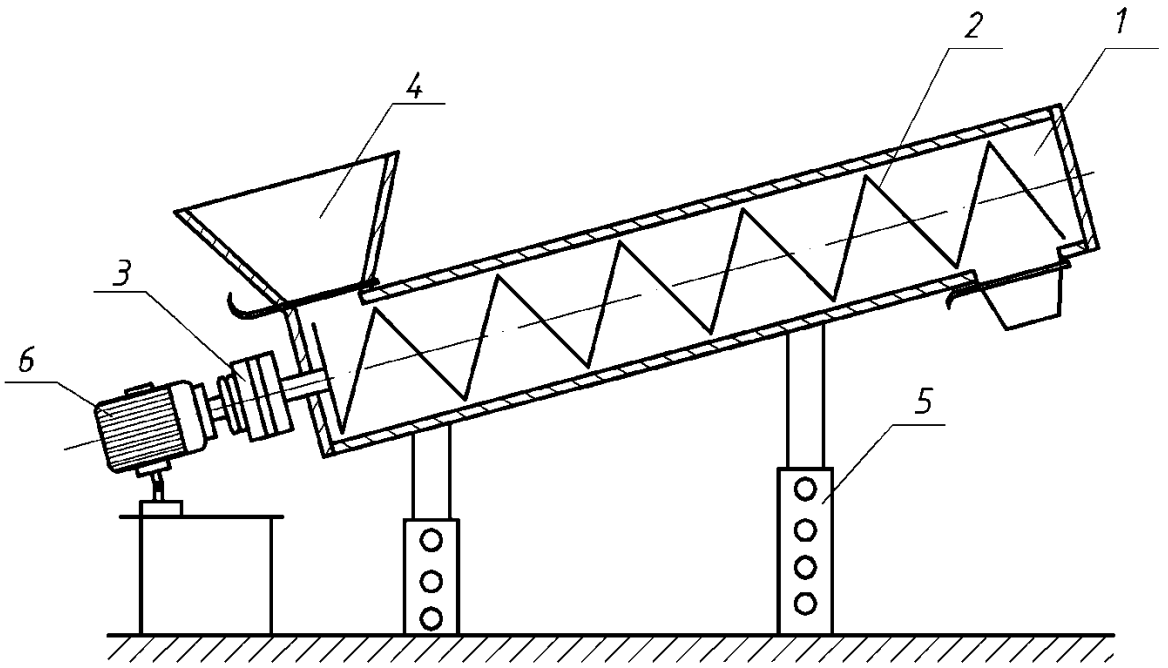


Рис. 1. Модель транспортно-технологічної системи з гвинтовим робочим органом: 1 – жолоб; 2 – гвинтовий робочий орган; 3 – механізм передачі крутного моменту; 4 – бункер; 5 – опорно-регулювальний механізм; 6 – двигун-редуктор

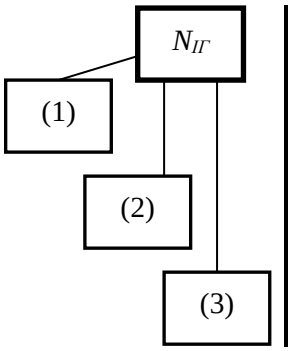
Fig. 1. Model of transport-technological system with a screw working body: 1 - gutter; 2 - screw working body; 3 - torque transmission mechanism; 4 - bunker; 5 - support and adjusting mechanism; 6 - gear motor

Одним із шляхів вирішення завдання створення нових конструкцій транспортно-технологічних систем є втілення прогресивних методів пошуку нових технічних рішень на ранніх стадіях конструкторської підготовки виробництва. Цього можна досягти при використанні морфологічного аналізу, який на четвертому етапі передбачає синтез варіантів об'єкта, що на основі складеної морфологічної матриці дає можливість отримати повну кількість рішень [1]:

$$N = \prod_{j=1}^{n} K_j , \qquad (1)$$

Проте кількість отриманих варіантів у результаті такого синтезу є дуже великою, що утруднює пошук найбільш раціональних рішень. Тому доцільно скористатись методом синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Цей метод базується на морфологічному аналізі [1], проте він передбачає поділ механічної системи на певну кількість ієрархічних рівнів (як правило 3) з віднесенням до кожного окремих конструктивних елементів системи. Даний метод передбачає розчленування загальної задачі на часткові та проведення пошуку раціонального рішення у часткових областях пошуку з подальшим їх компонуванням. Так до першого ієрархічного рівня слід віднести ті конструктивні елементи механічної систем, які безпосередньо впливають на якість і продуктивність виконання технологічного процесу (елементи першого порядку). До другого ієрархічного рівня слід віднести конструктивні елементи, що допомагають реалізовувати функції відповідної механічної системи і мають опосередкований вплив на виконання технологічного процесу (елементи другого порядку). До третього ієрархічного рівня слід віднести конструктивні елементи, які є необхідні для роботи механічної системи, але не мають впливу на реалізацію технологічного процесу (елементи третього порядку). Ці конструктивні елементи, при компонуванні механічної системи, слід вибирати в першу чергу виходячи із економічної доцільності (їх ціни та вартості експлуатації). Генерування альтернатив пропонованим вдосконаленим методом передбачає проведення генерації альтернатив на окремих ієрархічних рівнях, або й у межах окремих конструктивних елементів, починаючи з вищих рівнів. На наступному етапі до вибраних на цих рівнях конструктивних рішень проводиться добір можливих альтернативних варіантів конструктивних елементів з нижчих рівнів, що забезпечує отримання найбільш раціональних конструктивних рішень при значно менших витратах зусиль та часу, ніж при використанні морфологічного аналізу. При використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу кількість варіантів визначатиметься по формулі:

$$N_{IГ} = \sum_{z=1}^{l} \prod_{i=1}^{m} K_i , \qquad (2)$$



$$N_{ІГ} = \sum_{z=1}^{l} \prod_{i=1}^{m} K_i = 3 \cdot 9 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 4 = 70$$

$(1)1_1$, $(1)1_2$, $(1)1_3$;
$(1)2_1$, $(1)2_2$, $(1)2_3$, $(1)2_4$, $(1)2_5$, $(1)2_6$, $(1)2_7$, $(1)2_8$, $(1)2_9$;
$(1)3_1$, $(1)3_2$;
$(2)4_1$, $(2)4_2$, $(2)4_3$; $(2)4_4$;
$(2)5_1$, $(2)5_2$, $(2)5_3$.

$(3)6_1$, $(3)6_2$, $(3)6_3$, $(3)6_4$.

Рис. 2. Модель механічної системи «Гвинтовий змішувач»: (1) – перший ієрархічний рівень; (2) – другий ієрархічний рівень; (3) - третій ієрархічний рівень.

Fig. 2. Model of mechanical system "Screw mixer": (1) – the first hierarchical level; (2) – the second hierarchical level; (3) – the third hierarchical level.

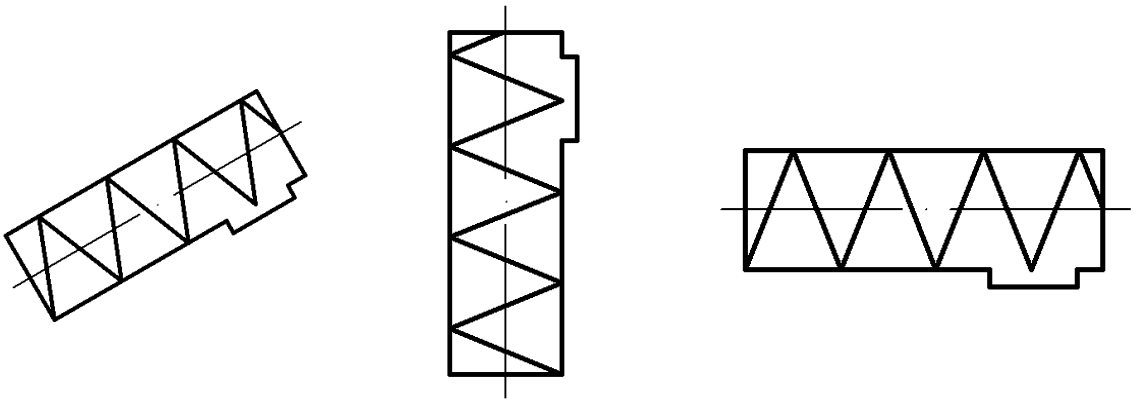
Розглянемо модель транспортно-технологічної системи з гвинтовим робочим органом, зображену на рис. 1. Згідно запропонованого групування до першої ієрархічної групи слід віднести такі конструктивні елементи: 1 – механізм транспортування вантажу; 2 – гвинтовий робочий орган; 3 – механізм передачі крутного моменту; до другої ієрархічної групи: 4 – бункер; 5 – опорно-регулювальний механізм; до третьої ієрархічної групи: 6 – двигун-редуктор.

Відповідно при кодуванні використаємо наступну схему кодів конструктивних елементів гвинтових транспортерів з використанням символу «і» (де «і» змінюється в межах від 1 до ∞): 1_i – механізми транспортування вантажу; 2_i – гвинтові робочі органи; 3_i – механізми передачі крутного моменту; 4_i – бункери; 5_i – опорно-регулювальні механізми; 6_i – двигун-редуктори. Якщо в конструкції міститься декілька ідентичних конструктивних елементів, то їх кількість доцільно записати відповідним степенем, наприклад: два гвинтових робочих органи – $(2_{12})^2$, а якщо міститься декілька різних конструктивних елементів одного виду, то їх доцільно записати наступним чином: два жолоби – $(1_7 \cup 1_{92})$.

В результаті генерування альтернатив конструкцій, на першому ієрархічному рівні одержано такі альтернативи (рис. 2):

- для першого ієрархічного рівня: $(1)1_1$ – $(1)1_3$ (рис. 3); $(1)2_1$ – $(1)2_9$ (рис. 4); $(1)3_1$ – $(1)3_4$ (рис. 5);
- для другого ієрархічного рівня: $(2)4_1$ – $(2)4_4$; $(2)5_1$ – $(2)5_3$;
- для третього ієрархічного рівня: $(3)6_1$ – $(3)6_4$.

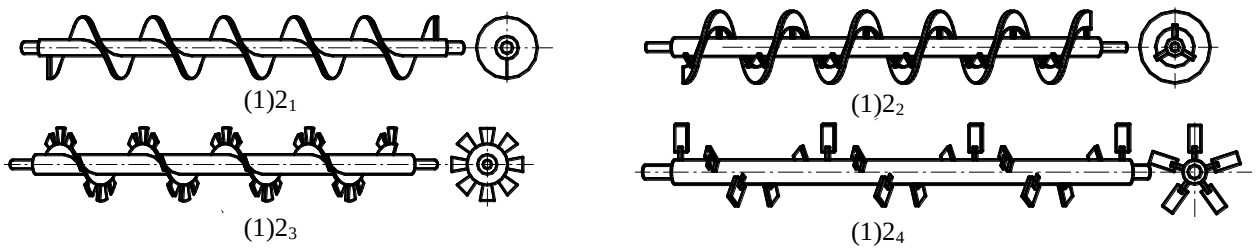
Приклади компоновок конструктивних елементів першого ієрархічного рівня представлені на рис. 6.



$(1)1_1$ $(1)1_2$ $(1)1_3$

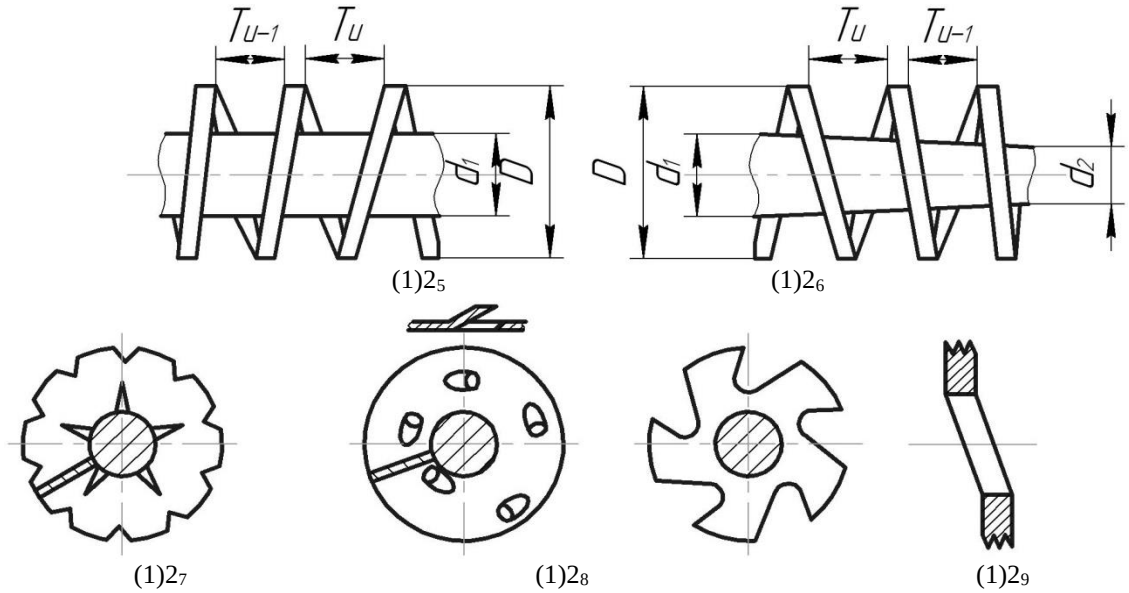
Рис. 3. Варіанти розміщення механізмів транспортування вантажу: $(1)1_1$ – розміщення під змінним кутом від 10º до 80º; $(1)1_2$ – вертикальне розміщення; $(1)1_3$ – горизонтальне розміщення

Fig. 3. Options for placement of cargo transportation mechanisms: (1) 1_1 – placement at a variable angle from 10º to 80º; (1) 1_2 – vertical placement; (1) 1_3 – horizontal placement



$(1)2_1$ $(1)2_2$

$(1)2_3$ $(1)2_4$



(1)2_5 (1)2_6

(1)2_7 (1)2_8 (1)2_9

Рис. 4. Варіанти конструкції гвинтових робочих органів: (1)2_1 – суцільний гвинт; (1)2_2 – гвинт з радіальними перемичками; (1)2_3 – стрічковий гвинт; (1)2_4 – лопатевий гвинт; (1)2_5 – циліндричний зі змінним кроком; (1)2_6 – циліндричний з конічним валом і змінним кроком; (1)2_7 – профільний гвинт; (1)2_8 – гвинт з внутрішніми отворами; (1)2_9 – конічний гвинт

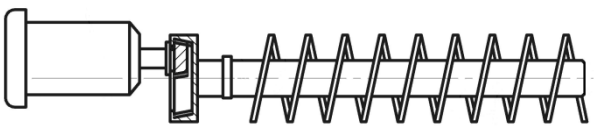
Fig. 4. Design options for screw working bodies: (1) 2_1 – solid screw; (1) 2_2 – screw with radial jumpers; (1) 2_3 – tape screw; (1) 2_4 – propeller; (1) 2_5 – cylindrical with variable pitch; (1) 2_6 – cylindrical with a conical shaft and variable pitch; (1) 2_7 – profile screw; (1) 2_8 – screw with internal holes; (1) 2_9 – conical screw

(1)3_1 (1)3_2

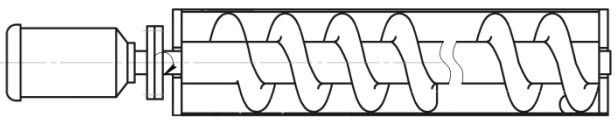
Рис. 5. Варіанти конструкцій механізмів передачі крутного моменту: (1)3_1 – ексцентричне розміщення валів; (1)3_2 – прямолінійне розміщення валів

Fig. 5. Variants of designs of mechanisms of transfer of the twisting moment: (1) 3_1 – eccentric arrangement of shafts; (1) 3_2 – rectilinear arrangement of shafts

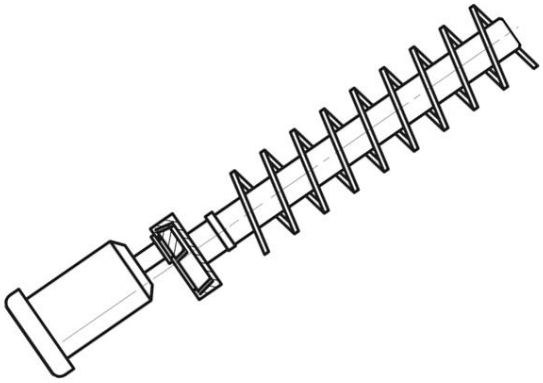
Якщо при синтезі альтернативних конструктивних варіантів ГЗ використовувати традиційний метод морфологічного аналізу, то кількість альтернатив становитиме: $N = \prod_{j=1}^{n} K_j = 2592$ варіанти, що майже у 37 разів більше, ніж при використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу: $N_{ІГ} = \sum_{z=1}^{l} \prod_{i=1}^{m} K_i = 70$. Це вказує на доцільність використання запропонованого методу, що значно полегшує перебір альтернатив та пошук найкращих.



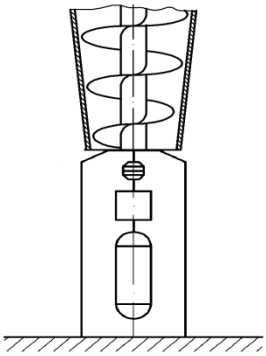
$1_3 2_5 3_1$



$1_3 2_1 3_2$



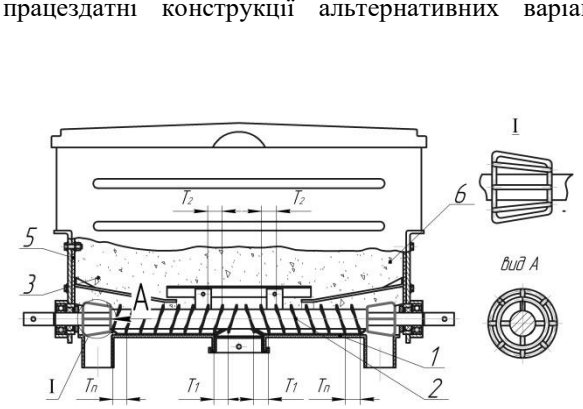
$1_1 2_6 3_1$



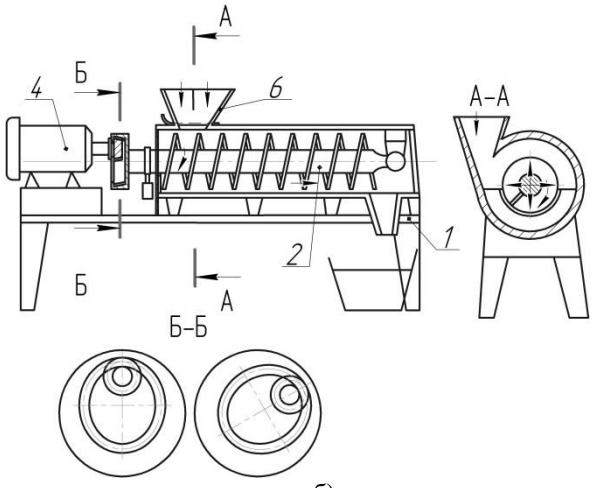
$1_2 2_9 3_2$

Рис. 6. Приклади компоновок конструктивних елементів першого ієрархічного рівня
Fig. 6. Examples of configurations of structural elements of the first hierarchical level

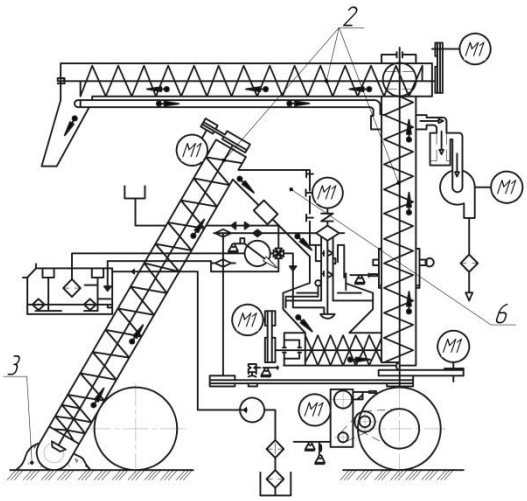
В результаті синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу було згенеровано працездатні конструкції альтернативних варіантів транспортно-технологічних систем з гвинтовими робочими органами (рис. 7).



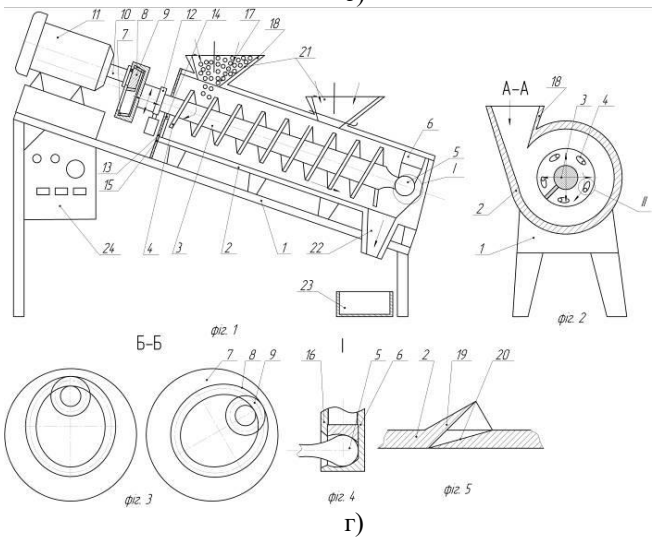
а)



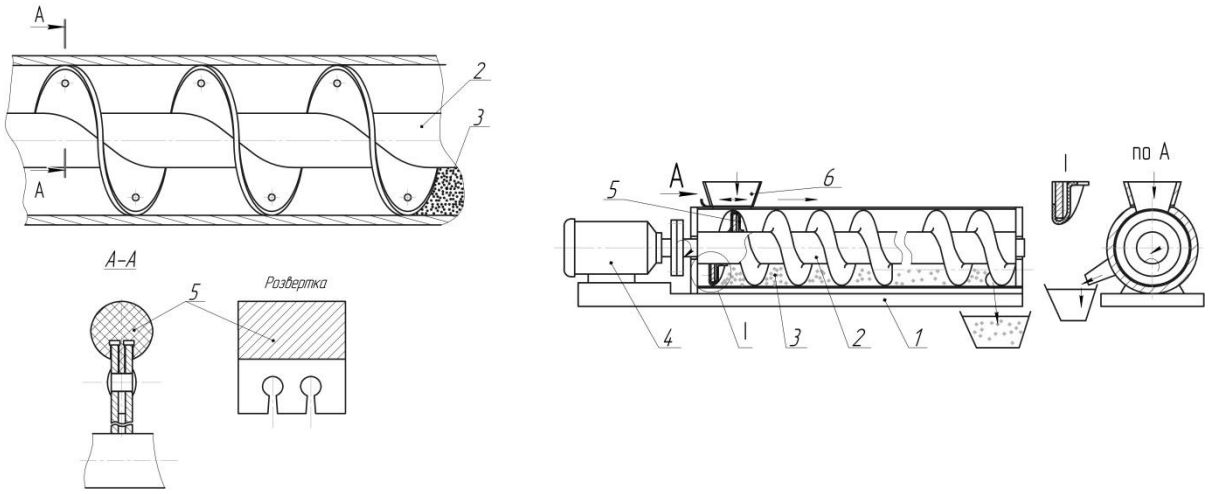
б)



в)



г)



д) е)

Рис. 7. Синтезовані конструкції енергоощадних транспортно-технологічних систем з гвинтовими робочими органами.

Fig. 7. Synthesized designs of energy-saving transport and technological systems with screw working bodies.

Висновки

1. Запропоновано спосіб структуризації конструкцій енергоощадних транспортно-технологічних систем з гвинтовими робочими органами і методику їх вдосконалення на основі дослідження властивостей елементів їх структури відповідно до теорії синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу.

Список літератури

1. Mechanika Nawrocki granulatory. [Електронний ресурс]. 2021 URL: https://docplayer.com/38749952-Mechanika-nawrocki-granulatory-44-0.html.

2. *Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R.* Determiantion of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4. Issue 7(112). P. 41-49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292.

3. *Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L.* Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

4. *Palamarchuk I., Rogovskii I., Titova L., Omelyanov O.* Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. Engineering for Rural Development. 2021. Vol. 20. P. 1761-1767. doi: 10.22616/ERDev.2021.20. TF386.

5. *Rogovskii I., Titova L., Ohiienko M., Snezhko O., Nadtochiy O., Raiss F., Berezova L.* Methodology of engineering management of agrotronics of grain production by agricultural enterprises. Monograph. Opole. The Academy of Management and Administration in Opole. 2021. ISBN 978-83-66567-37-5. 214 p.

6. *Комар А. С.* Аналіз переваг та недоліків штемпельних пресів. Збірник тез доповідей II Міжн. наук.-практ. конф. «Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку». НУБіП України. Київ. 2019. С. 75-76.

7. *Братішко В. В.* Механіко-технологічні основи приготування повнораціонних комбікормів гвинтовими грануляторами: дис. д-ра техн. наук: 05.05.11. Глеваха: 2017. 322 с.

8. *Rogovskii I. L.* Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137.

9. Двоматричний прес-гранулятор: пат. 120457 Україна: МПК (2006), A01D 89/00, A01F 17/00, B02C 18/08 (2006.01), B29C 48/32 (2019.01), B30B 9/20 (2006.01), Заявл. 19.12.2017, Опубл. 10.12.2019, бюл. № 23

10. *Клименко В. В., Кравченко В. І., Боков В. М., Гуцул В. І.* Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів: Монографія. ПП «Ексклюзив-Систем». 2017. 162 с.

11. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Marinina L. I., Lavrinenko O. T., Bannyi O. O.* Engineering management of machine for formation of artificial shell on seed vegetable cultures. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 61. No 2. P. 165-174. doi: 10.35633/INMATEH-61-18.

12. Matt Weber. SolidWorks Simulation 2017. [Електронний ресурс] URL: https://media.oiipdf.com/pdf/44611c5c-a61a-410c-8663-970ac042f7d3.pdf.

References

1. Mechanics Nawrocki granulators. [Electronic resource].2021 URL: https://docplayer.com/38749952-

Mechanika-nawrocki-granulatory-44-0.html.

2. *Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R.* (2021). Determiantion of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 4(7(112). 41-49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292.

3. *Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L.* (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6 (7-108). 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

4. *Palamarchuk I., Rogovskii I., Titova L., Omelyanov O.* (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. Engineering for Rural Development. 20. 1761-1767. doi: 10.22616/ERDev.2021.20.TF386.

5. *Rogovskii I., Titova L., Ohiienko M., Snezhko O., Nadtochiy O., Raiss F., Berezova L.* (2021). Methodology of engineering management of agrotronics of grain production by agricultural enterprises. Monograph. Opole. The Academy of Management and Administration in Opole. ISBN 978-83-66567-37-5. 214.

6. *Komar A. S.* (2019). Analysis of the advantages and disadvantages of stamp presses. Collection of abstracts of reports II International. scientific-practical conf. "Agroengineering: current problems and prospects for development." NULES of Ukraine. Kyiv. 75-76.

7. *Bratishko V. V.* (2017). Mechanical and technological bases of preparation of full-ration compound feeds by screw granulators: dis. Dr. Tech. Science: 05.05.11. Glevakha. 322.

8. *Rogovskii I. L.* (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137.

9. Two-matrix press granulator: US Pat. 120457 Ukraine: IPC (2006), A01D 89/00, A01F 17/00, B02C 18/08 (2006.01), B29C 48/32 (2019.01), B30B 9/20 (2006.01), App. 12/19/2017, Publ. 10.12.2019, bul. № 23.

10. *Klimenko V. V., Kravchenko V. I., Bokov V. M., Hutsul V. I.* (2017). Technological bases of biofuel production from vegetable waste and their composites: Monograph. PE "Exclusive-System". 162.

11. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Marinina L. I., Lavrinenko O. T., Bannyi O. O.* (2020). Engineering management of machine for formation of artificial shell on seed vegetable cultures. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. 61(2). 165-174. doi: 10.35633/INMATEH-61-18.

12. Matt Weber. SolidWorks Simulation 2017. [Electronic resource] URL: https://media.oiipdf.com / pdf/44611c5c-a61a-410c-8663-970ac042f7d3.pdf.

СИНТЕЗ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ВИНТОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

И. И. Чвартацкий, И. В. Фльонц, А. В. Грабар, Р. В. Шатров

Аннотация. Целью исследований является синтез и представление новых конструкций энергосберегающих транспортно-технологических систем.

Объектом исследования процессы транспортировки сыпучих материалов транспортно-технологическими системами с винтовыми рабочими органами. Предметом исследования есть конструкции энергосберегающих транспортно-технологических систем с винтовыми рабочими органами и их параметры.

В работе предложена методика генерирования конструкций энергосберегающих транспортно-технологических систем с винтовыми рабочими органами синтезом иерархических групп с помощью морфологического анализа. Разработана модель механической системы «винтовой транспортер» с группировкой конструктивных элементов по иерархическим группам и отнесением к первой группе механизмов транспортировки груза, винтовых рабочих органов и механизмов передачи крутящего момента.

Результаты. Предложен способ структуризации конструкций энергосберегающих транспортно-технологических систем с винтовыми рабочими органами и методика их усовершенствования на основе исследования свойств элементов их структуры в соответствии с теорией синтеза иерархических групп с помощью морфологического анализа.

Ключевые слова: винтовые рабочие органы, транспортировка, транспортно-технологическая система, синтез.

SYNTHESIS OF ENERGY-SAVING TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEMS WITH SCREW WORKING BODIES

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

Abstract. The purpose of research is the synthesis and presentation of new designs of energy-saving transport and technological systems.

The object of research is the processes of transportation of bulk materials by transport and technological systems with screw working bodies. The subject of research is the design of energy-saving transport and technological systems with screw working bodies and their parameters.

The method of generation of constructions of energy-saving transport-technological systems with screw working bodies by synthesis of hierarchical groups by means of morphological analysis is offered in the work. The model of the mechanical system "screw conveyor" with grouping of constructive elements on hierarchical groups and assignment to the first group of mechanisms of transportation of freight, screw working bodies and mechanisms of transfer of the twisting is developed.

Results. A method of structuring the structures of energy-saving transport and technological systems with

helical working bodies and a method of their improvement based on the study of the properties of the elements of their structure in accordance with the theory of synthesis of hierarchical groups using morphological analysis.

Key words: screw working bodies, transportation, transport-technological system, synthesis.

І. І. Чвартацький ORCID 0000-0001-5689-4603.
І. В. Фльонц ORCID 0000-0001-5175-9066.
А. В. Грабар ORCID 0000-0001-8208-6212.
Р. В. Шатров ORCID 0000-0002-3596-0146.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 85-93*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.085

УДК 631.3:005.584.1

МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ЗА КЕРІВНИМИ МАТЕРІАЛАМИ НА ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЮ

А. В. Новицький[1], І. С. Харьковський[2], Ю. А. Новицький[3]

[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
[2]Відокремлений структурний підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Немішаївський фаховий коледж», Україна.
[3]ТОВ «ВіДі – Скай».

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: Novytskyy@nubip.edu.ua

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року. Бібл. 25, рис. 5, табл. 1.

Анотація. Важливою складовою для забезпечення ефективності використання та підвищення надійності сільськогосподарської техніки є наявність відповідної нормативно-технічної документації, що регламентує вимоги до її технічного стану та експлуатації.

Справність техніки може відновлюватись при ремонті, а працездатність – підтримуватись при технічному обслуговуванні і в процесі експлуатації виходячи з рекомендацій, що передбачені інструкціями та керівними матеріалами на використання машин. Для своєчасного і ефективного проведення технічного обслуговування і ремонту засобів для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) необхідно знати: критерії втрати працездатності; граничні і допустимі значення параметрів технічного стану; показники процесів переходу техніки з працездатного в непрацездатний стан; закономірності зміни основних властивостей.

В статті представлено моніторинг інструкцій з обслуговування та експлуатації машин, керівних матеріалів на використання з позиції їх інформативності щодо реалізації вимог надійності. Моніторинг проводився для зарубіжних зразків ЗПРК.

В рамках проведення моніторингу аналізувались механізми подрібнення-змішування (МПЗ) з позицій наявності інформації про особливості конструкції, можливі несправності та відмови, основні способи відновлення працездатності.

Встановлені основні положення, які є визначальними для оцінки технічного стану окремих деталей і робочих органів та підвищення надійності МПЗ та ЗПРК в цілому при використанні керівних матеріалів. До складу положень входять: інформація про показники надійності машин, механізмів, робочих органів; періодичність технічного обслуговування і ремонту машин, відновлення робочих органів; відомості про трудомісткість технічного обслуговування і ремонту машин, відновлення робочих органів; схеми монтажу-демонтажу механізмів, відновлення робочих органів; інформація про характерні відмови та послідовність їх усунення; інформація про критерії граничного стану; технології відновлення робочих органів; інформація про вимоги при встановлення на зберігання.

Ключові слова: машина, моніторинг, технічний стан, техніка, засіб для приготування і роздавання кормів, надійність, керівні матеріали.

Постановка проблеми

В останні десятиліття в аграрній сфері України можна спостерігати значне оновлення парку сільськогосподарських машин та обладнання, включаючи сектор засобів для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) в тваринництві. Зазначене оновлення проходить за рахунок надходження в експлуатацію кращих зарубіжних та вітчизняних зразків ЗПРК.

Досвід використання та забезпечення працездатності ЗПРК вказує на те, що зарубіжні зразки зазначених машин мають покращені технічні характеристики, в тому числі, досить високу експлуатаційну надійність. Однак, інтенсивність їх експлуатації істотно зросла, а умови використання та зберігання вимагають особливої уваги та постійного контролю з боку операторів машини та інженерно-технічної служби. Окремі системи та механізми сучасних зарубіжних ЗПРК, включаючи механізм зважування та механізм вивантаження кормової суміші оснащені вбудованими електронними пристроями функціонування та контролю технічного стану, що сприяє забезпеченню їх працездатності при реалізації системи технічного обслуговування і ремонту (СТОР). Інші важливі підсистеми ЗПРК, включаючи механізм подрібнення-змішування (МПЗ), що найбільше впливає на надійність, потребують системного підходу в процесі моніторингу технічного стану та забезпеченні працездатності. Резервом у вирішенні зазначеної проблеми є вивчення керівних матеріалів на експлуатацію ЗПРК та дослідження

рекомендацій, що направлені на оцінку технічного тану та відновлення працездатності МПЗ.

Ускладнення структури сільськогосподарської техніки, зростання вимог споживачів до рівня властивостей і якості продукції, поява нових і вдосконалення вже існуючих ЗПРК є стимулом для використання системного аналізу для оцінки і забезпечення надійності систем та підсистем, так і їх взаємодії між собою.

Аналіз останніх досліджень

Як було зазначено в попередніх дослідженнях [3, 13-18], результати технічного діагностування (ТД) або ж віддаленого моніторингу технічного стану (ВМТС) є підставою для прийняття рішення про подальший характер і режим використання машин, періодичність встановлення їх на технічне обслуговування і ремонт (ТОР), номенклатуру запасних частин, обсяги ремонтно-профілактичних робіт. Важливою складовою для прийняття рішення про необхідність проведення ТОР або ж відновлення працездатності при виникненні відмов є наявність відповідної інформації в нормативно-технічній документації.

Справність ЗПРК може відновлюватись при ремонті, а працездатність – підтримуватись при ТО і в процесі експлуатації виходячи з рекомендацій, що передбачені інструкціями та керівними матеріалами на використання ЗПРК [8-10, 12, 22-24]. Для своєчасного і ефективного проведення ТОР ЗПРК, необхідно знати: критерії втрати працездатності; граничні і допустимі значення параметрів технічного стану; показники процесів переходу техніки з працездатного в непрацездатний стан; закономірності зміни технічного стану. Важливою складовою вирішення зазначеної задачі є також наявна та доступна для використання операторами, слюсарями-ремонтниками, інженерно-технічними працівниками методика забезпечення надійності ЗПРК [15, 18], яка передбачає формування для зазначених груп працівників професійно важливих якостей.

З аналізу літературних джерел [3, 5, 13, 19-21] відомо, що для забезпечення працездатності ЗПРК ефективно може бути використана стратегія ТОР за станом. Згідно із зазначеною стратегією ТОР машин і механізмів ЗПРК контролюється періодично або в залежності від результатів ТД стану. Ремонт проводиться в оптимальні терміни і в необхідному обсязі. Основою для цього служать знання фактичного стану робочих органів (ножів, протиріжучих ножів, шнеків) та механізмів ЗПРК, що дозволяє мінімізувати обсяг ремонтів і забезпечити безаварійну роботу. Ефективність застосування стратегії визначається зниженням обсягів ремонтів, підвищенням безвідмовності роботи ЗПРК за рахунок своєчасного проведення ТОР.

У цьому аспекті слід також звернути увагу на дослідження, які присвяченні вивченню впливу споживчих якостей машин, включаючи ЗПРК, на ефективність та надійність їх експлуатації [1, 2, 6, 7, 11, 17, 25].

Мета досліджень

Метою проведення досліджень є підвищення надійності сільськогосподарської техніки на основі моніторингу технічного стану виходячи аналізу керівних матеріалів на її експлуатацію.

Результати досліджень

Для забезпечення ефективності експлуатації, продовження терміну служби і гарантування надійної роботи ЗПРК, ТОР необхідно проводити через відповідні проміжки часу. Згідно рекомендацій [8-10, 12, 22-24], роботи з ТОР повинні виконуватися лише авторизованими сервісними центрами. Як зазначено в [8-10], завод-виробник не несе відповідальності за пошкодження, що виникли в тому випадку, коли правила із сервісного обслуговування були не дотримані, або дотримані з порушеннями інструкцій на використання ЗПРК.

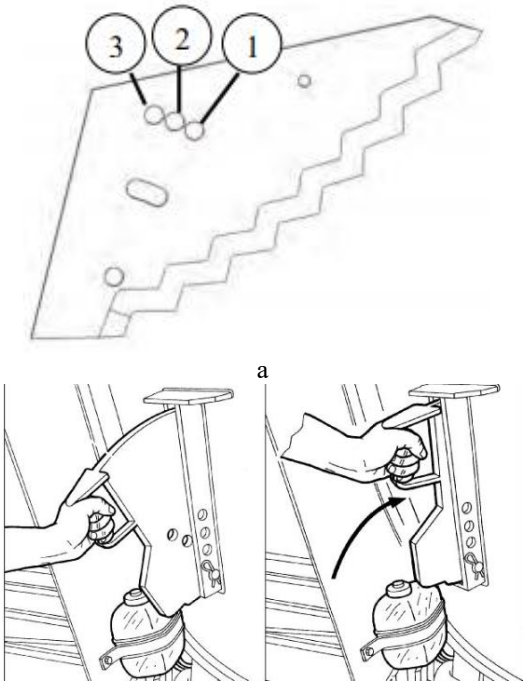
МПЗ кормозмішувача SILOKING TrailedLine оснащується шнеками з подрібнювальними ножами та протирізальними пластинами [9]. Заточування ножів та наявність інформації про критеріїв граничного стану забезпечують оптимальне різання компонентів корму і відповідний термін служби ножів та протирізальних пластин. Після заміни ножів завод-виготовлювач рекомендує перевірити кут їх встановлення, провести обкатку і регулювання механізмів ЗПРК. Для скорочення витрат енергії, зменшення часу змішування та забезпечення при цьому високої якості кормової суміші, слід здійснювати постійний моніторинг технічного стану і проводити заміну подрібнювальних та протиріжучих ножів [9]. Ножі кормозмішувача SILOKING TrailedLine встановлюються наступним чином (рис. 1, б): нижній ніж встановлюється під невеликим кутом (позиція 1); другий ніж – під середнім кутом (позиція 2); всі інші – під великим кутом (позиція 3). Зазначене індивідуальне регулювання ножів дозволяє оптимізувати підготовку до роботи МПЗ для різних компонентів корму. Згідно інструкції на експлуатацію [9] для механізмів кормозмішувача передбачено комплекс робіт з технічного обслуговування: щоденне (ЩТО), щотижневе (ЩТТО), через 100 год. та через 500 год. роботи. Також, сервісне обслуговування передбачає мащення механізмі ЗПРК через 20 год., 100 год. та 500 год.

Подрібнення сухих матеріалів ЗПРК «Cormorant-vertical» передбачає застосування протиножів (рис. 1, б), що розташовані в бункері і встановлюються вручну в трьох можливих положеннях.

Повний цикл приготування кормової суміші міксером-кормороздавачем «Cormorant-vertical» складає 20..25 хв. [12]. Якщо необхідна більш дрібна фракція кормової суміші, то час подрібнення і змішування необхідно збільшити на 10…15 хв. Згідно інструкції на експлуатацію [8], залежно від ефективності використання роздавача кормів VMP-10, ножі після певного напрацювання потребують регулювання, заточування або ж заміни на нові.

Подрібнення легких і сухих кормів передбачає застосування подрібнювальних ножів (рис. 2,а), що

розташовані з протилежних сторін бункера, і регулюються з допомогою гвинтового з'єднання 3 і чеки 2 [8]. Ступінь подрібнення корму залежить не тільки від швидкості обертання черв'яка, але й від встановлення ножів у відповідне положення. На рис. 2,б представлені три можливі положення роботи ріжучих ножів та їх вплив на ступінь подрібнення: при положенні В – стандартна позиція; при А – ступінь подрібнення зменшується; при С – максимально збільшується.



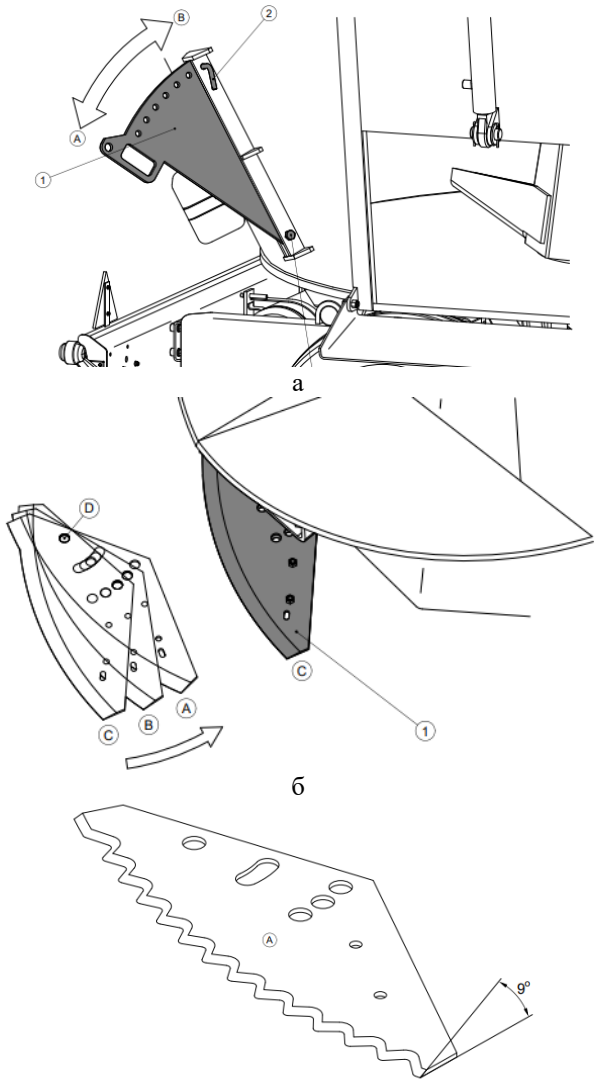
а

б

Рис. 1. Регулювання кута встановлення ножів механізму подрібнення-змішування: а - ножів кормозмішувача SILOKING TrailedLine; б – протиножів міксера-кормороздавача «Cormorant-vertical».

Fig. 1. Adjusting the knife angle of the chopping and mixing mechanism: a – knife of the SILOKING TrailedLine feed mixer; b – feed mixer feeder wipers «Cormorant-vertical».

Довговічність ножів роздавача кормів VMP-10 значно зменшується: при роботі ЗПРК на граничних режимах з високими швидкостями обертання шнека; при встановленні ножів в положення, що відповідає максимальному виходу в бункер МПЗ; попадання до бункера в зону роботи МПЗ сторонніх предметів та наявність в складових корму піску, каміння та інших включень. Зазначені причини та наявні сторонні складові, що попадають до бункеру роздавача кормів можуть призвести до пошкодження подрібнювальних та ріжучих ножів, після чого вони підлягають відновленню або ж заміні на нові. Але при відновленні слід дотримуватись кута заточування, який для оригінальних ножів становить 9° (рис. 2, с). Під час заточування потрібно дуже інтенсивне постійне охолодження ножа.



а

б

с

Рис. 2. Регулювання кута встановлення ножів механізму подрібнення-змішування роздавача кормів VMP-10: а – подрібнювальних ножів; б – ріжучих ножів; с – кут заточування ножа.

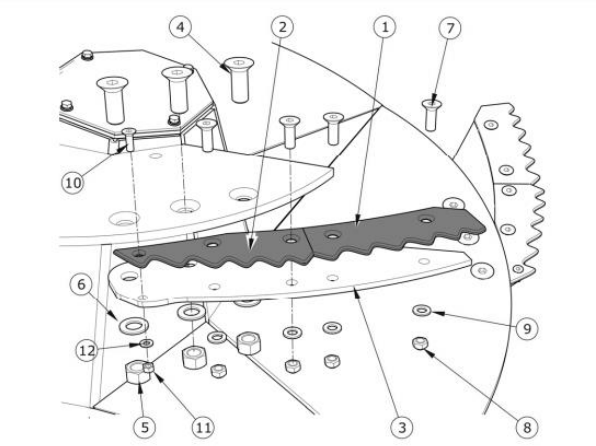
Fig. 2. Adjusting the angle of knives of the chopping-mixing mechanism of VMP-10 feed mixer: a – crushing knives; b – cutting knives; c – knife sharpening angle.

Для підвищення ресурсу, під верхні ножі шнеку міксеру-роздавача [24] рекомендується заводом-виробником встановлювати опорну пластину (рис. 3, а).

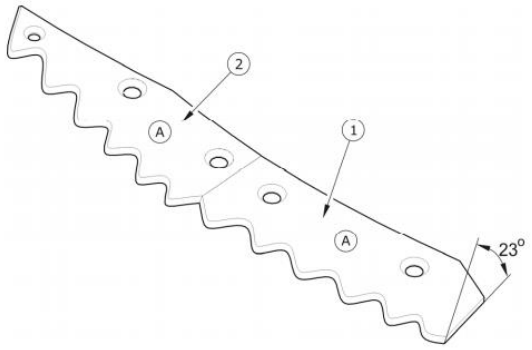
Як зазначено в інструкції на експлуатацію [24], постійна підтримка ножів ЗПРК заточеними гарантує оптимальну якість суміші, зменшення часу подрібнення-змішування, збільшення терміну їх служби. Ножі шнека можуть бути заточені з використанням шліфувальної машини. Заточування ножів зводиться до перешліфовування поверхні леза шліфувальним кругом, таким чином, щоб зберегти кут 22-23° та забезпечити його інтенсивне охолодження [24].

Проведений аналіз інструкцій [8] та [24] показує, що для роздавача кормів VMP-10 та кормороздавача PRONAR VMP-5S рекомендуються два різні кути заточування при їх відновленні, відповідно кут 9° та кут 22-23°. Зазначена інформація вказує на

необхідність детального вивчення зазначеного питання і по інших ЗПРК. Але слід відмітити, що для ЗПРК [9, 10, 12, 22, 23], які розглянуті в представлених дослідженнях, даний важливий показник не регламентується.



а)



б)

Рис. 3. Схеми демонтажу та заточування ножа кормороздавача PRONAR VMP-5S: а – демонтажу ножа (1) ріжучий ніж I; (2) ріжучий ніж II; (3) опорна пластина ножа; (4), (7), (10) гвинти з потаємною головкою; (5), (8), (11) контргайки, (6), (9), (12) плоскі шайби; б – кут заточування ножа.

Fig. 3. Schemes of disassembling and sharpening the knife of PRONAR VMP-5S feeder wagon: a - disassembling knife (1) cutting knife I; (2) cutting knife II; (3) knife support plate; (4), (7), (10) countersunk screws; (5), (8), (11) lock nuts (6), (9), (12) flat washers; b - knife sharpening angle.

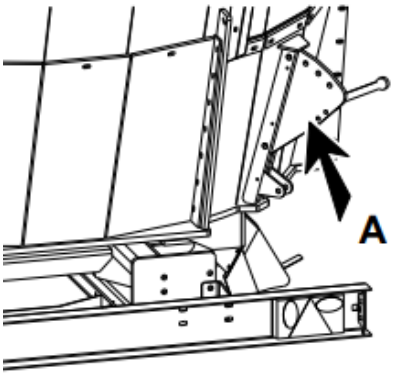
Необхідно пам’ятати [8, 24], що ножі МПЗ для більшості ЗПРК взаємозамінні, тому рекомендується періодично переставляти їх місцями на шнеку. Ті ножі, що розташовані внизу шнека більше зношуються у порівнянні з верхніми.

Згідно інструкцій [8, 24] для ЗПРК передбачено щозмінне технічне обслуговування (ЩТО), перше технічне обслуговування (ТО-1) через 60 год. роботи та сезонне технічне обслуговування (СТО) перед початком сезону роботи.

Важливим також є те, що в зазначеній інструкції [9] подано опис впливу схеми встановлення ножів шнеку на якість подрібнення різних кормів та рекомендації щодо їх регулювання. Враховуючи ту інформацію, що нижні ножі надають найбільший вплив на процес подрібнення та змішування, їх слід контролювати і знімати в першу чергу. Для прискорення процесу подрібнення, особливо сухих кормів з довговолокнистою структурою, і запобігання їх намотування на перемішуючі шнеки, в бункері ИСРВ-12 передбачені два протирізи. Як зазначено в [9], максимальний час перемішування кормової суміші подрібнювачем-змішувачем-роздавачем кормів становить 10 хв., що в 2 рази менше ніж міксером-кормороздавачем «Cormorant-vertical» [12].

В [23] також наведені можливі варіанти монтажу та демонтажу ножів в залежності від кормів, що подрібнюються. Позитивним є те, що в інструкції на експлуатацію зазначені показники надійності ИСРВ-12: напрацювання на відмову становить 175 год.; коефіцієнт готовності – не менше 0,98; термін служби – не менше 7 років. Згідно інструкції, для ИСРВ-12 передбачено ЩТО, ТО-1 через 120 год. роботи та СТО перед початком сезону роботи засобу. Разом з тим, в матеріалах [9] відсутні чіткі рекомендації щодо критеріїв граничного стану ножів, вимог щодо їх відновлення або ж заміни при втраті працездатності, не акцентується увага на тому, які саме робочі органи та деталі лімітують надійність машини. В технічній характеристиці до ИСРВ-12 наведено значення питомих сумарних оперативних трудомісткостей ТО і поточних ремонтів, але не регламентована періодичність ремонтів, не зазначена періодичність заточування ножів або ж їх заміна.

а



б

Рис. 4. Ножі та протиріжучі бруси механізму подрібнення-змішування KONGSKILDE: а – загартований ніж А, довгий ніж В з вольфрамовим покриттям С; б – протиріжучий брус А.

Fig. 4. Knives and counterblades of the KONGSKILDE chopping and mixing mechanism: a - hardened knife A, long knife B with tungsten coating C; b - counterblades A.

Інструкція з експлуатації змішувача-кормороздавача кормів KONGSKILDE [22] містить основні відомості, що забезпечують ефективне і безпечне використання. Згідно інструкції [8] для KONGSKILDE передбачено комплекс робіт із мащення основних вузлів засобу через певний інтервал роботи: 10 год., 40 год., через 10 тис. км (не менше ніж 4 рази на рік) та через 2 тис. год. (не менше ніж 1 раз на рік). Інструкцією рекомендується встановлювати компактний або ж звичайний шнек з комплектом основних або ж додаткових ножів. На компактних та звичайних шнеках можуть бути встановлені загартовані ножі А або ж довгі ножі В (рис. 4, а), які відрізняється не лише більшою довжиною, але й мають вольфрамове покриття С, що характеризується значною зносостійкістю. Ножі з вольфрамовим покриттям рекомендується встановлювати на шнеках ЗПРК при подрібненні великої кількості сіна при приготуванні кормової суміші.

Протиріжучі бруси А (рис. 4,б) використовуються в тих випадках, коли корм повинен бути розділений на дрібні частинки.

Протиріжучі бруси зупиняють матеріал таким чином, щоб ножі могли проходити через матеріал, розрізаючи його. В тих випадках, коли складові корму вже нарізані, протиріжучі бруси слід вимкнути, що збільшить продуктивність перемішування та зменшить споживану змішувачем-кормороздавачем кормів KONGSKILDE потужність.

Для підвищення довговічності МПЗ KONGSKILDE, по краю витків шнеків обох розмірів можуть бути встановлені змінні пластинами «Mix +» В (рис. 5). Їх використання значно збільшує термін служби не лише шнека, а МПЗ загалом. Рекомендується проводити заміну пластин до того моменту, як зовнішній край буде зношений до поверхні безпосередньо шнека. Гострий зовнішній край на шнеку дозволяє більш ефективно здійснювати перемішування кормової суміші. Шнеки обох розмірів можуть бути також оснащеними «операційною пластиною» А на першому до опорної плити витку. «Операційну пластину» можна регулювати, так щоб відстань між бункером і шнеком була меншою, що дозволить знизити тенденцію корму до формування містків на бічних сторонах бункера. Відстань між бункером і «операційною пластиною» повинен становити не менше 5 мм.

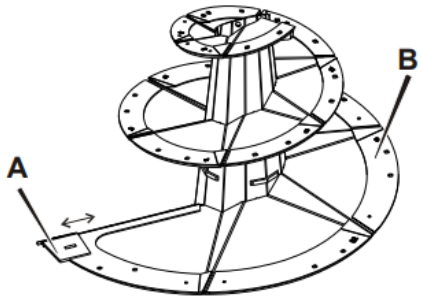


Рис. 5. Шнеки KONGSKILDE зі встановленими змінними пластинами «Mix +» В та «операційною пластиною» А

Рис. 5. KONGSKILDE augers with "Mix +" B and "operating plate" A interchangeable plates installed.

Зазначені конструкторські пропозиції, як зазначено в [22] дають можливість очікувати збільшення споживаної потужності ЗПРК на 10-15%. Термін служби ножів залежить від складових кормів, що надходять на подрібнення. Саме особливості складових кормів найчастіше впливають на періодичність зміни ножів. При зношуванні термін служби ножів буде обмежений. Особливо це відноситься до довгих ножів з вольфрамовим покриттям. Після зношування вольфрамового покриття ножі дуже інтенсивно зношуються, стають ослабленими і переходять в граничний стан.

На відміну від більшості інструкцій на використання ЗПРК, в керівних матеріалах на експлуатацію KONGSKILDE встановлені ознаки, що вказують на необхідність заміни ножів. Основними ознаками є: значне збільшення часу, що витрачається на подрібнення, в порівнянні з новими ножами; помітне збільшення необхідної вихідної потужності в порівнянні з новими ножами.

Заслуговує на увагу той факт, що в інструкції на експлуатацію кормороздавача СРВ зазначені показники надійності [10]: коефіцієнт готовності становить не менше 0,98; середнє напрацювання на складну відмову (II і III групи складності) - 150 год.; термін служби – не менше 8 років. Важливою є детальна інформація на про перелік робіт з ЩТО, ТО-1 та СТО. В керівних матеріалах на СРВ [10] також детально представлено перелік робіт при підготовці та зберіганні: міжзмінному; тривалому; довготривалому. В матеріалах [10] важливе значення приділене аналізу характерних відмов та способам їх усунення та ремонту.

Особливе місце в керівних матеріалах займає аналіз можливих помилок персоналу при експлуатації кормороздавача СРВ та рекомендації на їх усунення. Це підтверджує важливість дослідження впливу людського фактору на надійність ЗПРК як складних технічних систем «Людина-машина» [15, 18].

За результатами моніторингу проведено порівняльний аналіз заходів з оцінки технічного стану та підвищення надійності МПЗ, які передбачені в інструкціях на експлуатацію ЗПРК. Порівняльний аналіз передбачає формування основних положень, що є визначальними для оцінки технічного стану окремих деталей і робочих органів та підвищення надійності МПЗ та ЗПРК в цілому. До складу положень входить:

- інформація про показники надійності ЗПРК;
- періодичність ТО і ремонту ЗПРК, відновлення робочих органів;
- відомості про трудомісткість ТО і ремонту машин, відновлення робочих органів;
- схеми монтажу-демонтажу механізму, відновлення робочих органів;
- інформація про характерні відмови та послідовність їх усунення;
- інформація про критерії граничного стану робочих органів і деталей;
- технології відновлення робочих органів;
- інформація про вимоги при встановлення на зберігання.

Таблиця 1. Визначальні положення для оцінки технічного стану деталей і робочих органів МПЗ ЗПРК.

Table 1. Defining provisions for the assessment of the technical condition of parts and working bodies of MPZ ZPRK.

Марка засобу для приготування і роздавання кормів	Інформація про показники надійності ЗПРК (механізмів, робочих органів);	Періодичність ТО і ремонту ЗПРК відновлення робочих органів;	Відомості про трудомісткість ТО і ремонту машин, відновлення деталей;	Схеми монтажу-демонтажу механізму, відновлення робочих органів;	Інформація про характерні відмови та послідовність їх усунення;	Інформація про критерії граничного стану робочих органів	Технології відновлення робочих органів.	Інформація про вимоги при встановлення на зберігання
VMP-10	-	+	-	+	+	+	+	+
SILOKING TrailedLine	-	+	-	+	-	-	+	-
СРВ	+	+	+	+	+	-	+	+
«Cormoran t-vertical»	-	+	+	-	-	-	+	+
KONGSKI LDE	-	+	-	+	+	-	+	+
ИСРВ-12.00.00.0 00 РЭ.	+	+	+	+	+	+	+	-
PRONAR VMP-5S	-	+	-	+	+	+	+	+

Моніторинг результатів системного аналізу таблиці 1 вказує на той факт, що не всі керівні матеріали на експлуатацію ЗПРК містять достатній об'єм інформації, який необхідний для оцінки та забезпечення їх надійності. У більшості керівних матеріалів на експлуатацію ЗПРК та МПЗ відсутня інформація про їх одиничні та комплексні показники надійності, критерії граничного стану робочих органів, відомості про трудомісткість ТОР. Практично відсутня інформація щодо вимог до підготовки персоналу, що займається обслуговуванням та експлуатацією ЗПРК.

Виходячи із зазначеного, можна сказати, що розвиток техніки і технологій, складність взаємозв'язків технічних об'єктів викликають необхідність розробки науково-обґрунтованих принципів і єдиних підходів для вибору методів і критеріїв для оцінки надійності СТС ЗПРК.

Висновки

1. За результатами проведених досліджень обґрунтовано використання перспективного наукового підходу до підвищення надійності сільськогосподарської техніки на основі моніторингу технічного стану виходячи з аналізу керівних матеріалів на їх експлуатацію.

2. Сформовано основні положення порівняльного аналізу заходів з оцінки технічного стану і підвищення надійності механізмів ЗПРК.

3. На основі системного аналізу встановлено, що для більшості керівних матеріалів на експлуатацію ЗПРК та МПЗ відсутня інформація про їх одиничні та комплексні показники надійності, критерії граничного стану робочих органів, відомості про трудомісткість ТОР, характерні відмови та їх усунення.

4. Значним резервом у забезпеченні надійності сільськогосподарської техніки є наявність інформація про підготовку та професійно важливі якості персоналу, що займається її експлуатацією, технічним обслуговуванням та ремонтом.

5. Впровадження результатів досліджень заводами сільськогосподарського машинобудування

дозволять підвищити споживчі якості ЗПРК та надійність в експлуатації, забезпечать ресурсозбереження та імпортозаміщення, зможуть підвищити ступінь ремонтопридатності.

Список літератури

1. *Pylypaka S. F., Klendii M. B., Trokhaniak V. I., Pastushenko A. S., Novitskiy A. V.* Movement of a material particle on an inclined plane all the points of which describe circles in oscillatory motion in the same plane. *Bulletin of the Karaganda University.* Mathematics Series. №1 (97) / 2020. Karaganda, 2020. P. 122-131.

2. *Vasyl Khmelovskyi, Volodymyr Otchenashko, Semen Voloshyn, Olena Pinchevska.* Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on animal husbandry farms. Engineering for Rural Development. 2020. P. 778-783.

3. *Andriy Novitskiy.* Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL.* Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2017. Vol. 19. No 3. 123-128.

4. *Басін В. С.* Надійність це не тільки ймовірність безвідмовної роботи. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2009. Вип. 80. С. 305-309.

5. *Rogovskii I. L.* Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137.

6. *Голякевич С. А., Гороновский А. Р.* Комплексная техническая оценка потребительских качеств лесных машин. Труды БГТУ. № 2: Лесная и деревообраб. промышленность. 2015. С. 67-70.

7. *Дяченко В. Ю. Карпусенко О. В.* Оцінювання ергономічних показників якості сільськогосподарських. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2009. Вип. 80. С. 233-237.

8. Инструкция по обслуживанию и эксплуатации. Мобильный раздатчик кормов VMP-10. 79 с.

9. Инструкция по эксплуатации SILOKING TrailedLine. 80 с.

10. Кормораздатчик СРВ. Руководство по эксплуатации СРВ 00.00.000 РЭ. 2020. 79 с.

11. *Косолапов В. М., Шевцов А. В., Милев А. Д.* Повышение потребительских свойств мобильных кормораздатчиков для ферм КРС. Техника и технологии в животноводстве. 2016. №3 (23). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-potrebitelskih-svoystv-mobilnyh-kormorazdatchikov-dlya-ferm-krs (дата обращения: 01.10.2021).

12. Миксер-кормораздатчик «Cormorant-vertical». Руководство по эксплуатации и каталог запасных частей 1.

13. *Новицький А. В, Ружило З. В.* Аналіз відмов засобів для приготування і роздавання кормів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 226. С. 253-259.

14. *Новицький А. В.* Моніторинг матеріально-технічного забезпечення та надійності техніки АПК в системі розвитку інноваційних процесів. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 3. P. 101-108.

15. *Новицький А. В.* Оцінка надійності засобів для приготування і роздавання кормів в залежності від умов і режимів їх експлуатації. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 141-147.

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

17. *Новицький А. В., Новицький Ю. А.* Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 264. С. 293-303.

18. *Новицький А. В., Ружило З. В., Котречко О. О.* Забезпечення надійності сільськогосподарської техніки в системі розвитку інноваційних процесів. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 3. P. 151-157.

19. *Прокопенко О. О., Ікальчик М. І.* Сучасні технології приготування та роздачі кормів. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні тенденції використання технологій та техніки для виробництва продукції АПК». 26-27 березня 2015 року, м. Ніжин. 2015. Ніжин. С. 124-129.

20. *Rogovskii I., Titova L., Ohiienko M., Snezhko O., Nadtochiy O., Raiss F., Berezova L.* Methodology of engineering management of agrotronics of grain production by agricultural enterprises. Monograph. Opole. The Academy of Management and Administration in Opole. 2021. ISBN 978-83-66567-37-5. 214 p.

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

22. Руководство по эксплуатации KONGSKILDE. 2017. 113 с.

23. Руководство по эксплуатации ИСРВ-12.00.00.000 РЭ. 2011. 60 с.

24. Руководство по эксплуатации кормораздатчик PRONAR VMP-5S.

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

References

1. *Pylypaka S. F., Klendii M. B., Trokhaniak V. I., Pastushenko A. S., Novitskiy A. V.* (2020). Movement of a material particle on an inclined plane all the points of which describe circles in oscillatory motion in the same plane. Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 1(97)/2020. Karaganda. 122-131.
2. *Vasyl Khmelovskyi, Volodymyr Otchenashko, Semen Voloshyn, Olena Pinchevska*. (2020). Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on animal husbandry farms. Engineering for Rural Development. 21. 778-783.
3. *Andriy Novitskiy*. (2017). Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 19(3). 123-128.
4. *Basin V. S.* (2009). Reliability is not only the probability of trouble-free operation. Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. Kharkiv. 80. 305-309.
5. *Rogovskii I. L.* (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137.
6. *Holiakevych S. A., Horonovskyi A. R.* (2015). Complex technical assessment of consumer qualities of forest machines. Proceedings of BSTU. 2: Forest and woodworking. industry. 67-70.
7. *Diachenko V. Yu. Karpusenko O. V.* (2009). Evaluation of ergonomic indicators of agricultural quality. Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. Kharkiv. 80. 233-237.
8. Instructions for maintenance and operation. Mobile distributor of VMP-10 forages. 79.
9. SILOKING TrailedLine operating instructions. 80.
10. SRV feed dispenser. SRV Operation Manual 00.00.000 RE. 2020. 79.
11. *Kosolapov V. M., Shevtsov A. V., Mylev A. D.* (2016). Improving the consumer properties of mobile feeders for cattle farms. Techniques and technologies in animal husbandry. 3(23). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-potrebitelskih-svoystv-mobilnyh-kormorazdatchikov-dlya-ferm-krs (access date: 01.10.2021).
12. Mixer-feeder "Cormorant-vertical". Operation manual and spare parts catalog 1.
13. *Novytskyi A. V, Ruzhylo Z. V*. (2015). Analysis of failures of funds for the preparation and distribution of feed. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series of machinery and energy of agro-industrial complex. Kyiv. 226. 253-259.
14. *Novytskyi A. V*. (2019). Monitoring of logistics and reliability of agricultural machinery in the system of innovation processes. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10(3). 101-108.
15. *Novytskyi A. V*. (2015). Estimation of reliability of means for preparation and distribution of forages depending on conditions and modes of their operation. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series of machinery and energy of agro-industrial complex. Kyiv. 212(1). 141-147.
16. *Novytskyi A. V., Bannyi O. O*. (2020). Reliability of agricultural machinery in the system of innovation processes from the experience of foreign companies. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(2). 115-124.
17. *Novytskyi A. V., Novytskyi Yu. A.* (2017). Technical assessment of consumer qualities of agricultural machinery. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series of machinery and energy of agro-industrial complex. Kyiv. 264. 293-303.
18. *Novytskyi A. V., Ruzhylo Z. V., Kotrechko O. O*. (2019). Ensuring the reliability of agricultural machinery in the development of innovation processes. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10(3). 151-157.
19. *Prokopenko O. O., Ikalchyk M. I*. (2015). Modern technologies of preparation and distribution of feed. Proceedings of the International scientific-practical conference "Latest trends in the use of technologies and equipment for the production of agricultural products." March 26-27, 2015, Nizhyn. Nizhyn. 124-129.
20. *Rogovskii I., Titova L., Ohiienko M., Snezhko O., Nadtochiy O., Raiss F., Berezova L.* (2021). Methodology of engineering management of agrotronics of grain production by agricultural enterprises. Monograph. Opole. The Academy of Management and Administration in Opole. ISBN 978-83-66567-37-5. 214.
21. *Ruzhylo Z. V., Novytskyi A. V*. (2016). Review of theoretical studies of reliable operation of "LMS" systems under the influence of maintenance and repair. Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes. 2. 223-231.
22. KONGSKILDE operation manual. (2017). 113.
23. Operation manual ISRV-12.00.00.000 RE. (2011). 60.
24. PRONAR VMP-5S feeder operation manual.
25. *Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V.* (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 18. 291-298.

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ЗА РУКОВОДЯЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИЮ

А. В. Новицкий, И. С. Харьковский, Ю. А. Новицкий

Аннотация. Важной составляющей для обеспечения эффективности использования и повышения надежности сельскохозяйственной техники является наличие соответствующей нормативно-технической документации, регламентирующей требования к ее техническому состоянию и эксплуатации. Исправность техники может восстанавливаться при ремонте, а работоспособность – поддерживаться при техническом обслуживании и в процессе эксплуатации исходя, из рекомендаций, предусмотренных

инструкциями и руководящими материалами на использование машин.

Для своевременного и эффективного проведения технического обслуживания и ремонта средств для приготовления и раздачи кормов необходимо знать: критерии потери работоспособности; предельные и допустимые значения параметров технического состояния; показатели процессов перехода техники из работоспособного в неработоспособное состояние; закономерности изменения основных свойств.

В статье представлен мониторинг инструкций по обслуживанию и эксплуатации машин, руководящих материалов на использование с позиции их информативности по реализации требований надежности.

Мониторинг проводился для анализа зарубежных образцов СПРК. В рамках проведения мониторинга анализировались механизмы измельчения-смешивания (МИС) с позиций наличия информации об особенностях конструкции, возможных неисправностях и отказах, основных способах восстановления работоспособности. Установлены основные положения, которые являются определяющими для оценки технического состояния отдельных деталей и рабочих органов, повышения надежности МИС и СПРК в целом при использовании руководящих материалов.

В состав положений входят: информация о показателях надежности машин; периодичность ТО и ремонта машин, восстановление рабочих органов; сведения о трудоемкости ТО и ремонта машин, восстановление рабочих органов; схемы монтажа-демонтажа механизма, восстановление рабочих органов; характерные отказы и последовательность их устранения; критерии предельного состояния; технологии восстановления рабочих органов.

Ключевые слова: машина, мониторинг, техническое состояние, техника, средства для приготовления и раздачи кормов, надежность, руководящие материалы.

MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF AGRICULTURAL MACHINERY FOR GUIDELINE MATERIALS FOR ITS OPERATION

A. V. Novitskiy, I. S. Kharkovskiy, Yu. A. Novitskiy

Abstract. An important component for ensuring the efficient use and improving the reliability of agricultural machinery is the availability of appropriate regulatory and technical documentation governing the requirements for its technical condition and operation. Serviceability of equipment can be restored during repair, and operability - is maintained during maintenance and in the course of operation on the basis of recommendations provided by the instructions and guiding materials on the use of machines.

For timely and effective maintenance and repair of means for preparation and distribution of fodder (MPDF) it is necessary to know: criteria of operability loss; limit and admissible values of parameters of the technical state; process indicators of transition of machinery from operable to non-operable state; regularities of changes in the main properties.

The article presents the monitoring of instructions for maintenance and operation of machinery, guiding materials for use from the position of their informativeness on the implementation of reliability requirements.

The monitoring was conducted for the analysis of foreign samples of MPDF. Within the framework of the monitoring, grinding-mixing mechanisms (GMM) were analyzed from the position of availability of information about design features, possible failures and malfunctions, main ways of restoration of serviceability. The main provisions, which are determinative for estimation of technical condition of separate parts and working bodies, for improvement of GMM and MPDF reliability as a whole when using guiding materials, have been established.

The provisions include: information about indicators of machine reliability; frequency of maintenance and repair of machines, restoration of working parts; information about the labor intensity of maintenance and repair of machines, restoration of working parts; diagrams of assembly-disassembly of mechanisms, restoration of working parts; typical failures and sequence of their elimination; criteria of limiting condition; technologies of restoration of working parts; information on storage requirements.

Key words: machine, monitoring, technical condition, machinery, feed preparation and distribution means, reliability, guideline materials.

А. В. Новицький ORCID 0000-0001-7789-8531.
І. С. Харьковський ORCID 0000-0002-1733-7473.
Ю. А. Новицький ORCID 0000-0003-1115-1747.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 95-101*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.095

UDK 656.072-05

ALGORITHM FOR OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES AND PASSENGER TRANSPORTATION OPERATIONS

S. I. Bondariev

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

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

Corresponding author: bondarevgall@gmail.com.

Article History: Received – June 2021, Accepted – November 2021, Published – 17 December 2021.
Bibl. 8, fig. 6, tabl. 0.

Abstract. Research of transport processes are closely related to the economic and operational performance of road transport. When planning road transport, the most important factor is the cost of transport services. It is known that improper organization of the vehicles work taking into account the type, size, modes of vehicle stock operation of, quantitative composition, qualifications and responsibilities of personnel, along with other organizational measures leads to unjustified costs. In general, this reduces the attractiveness of the business to its owner, as well as reducing motivation for staff. Therefore, research related to improving the efficiency of vehicles by reducing costs is appropriate and relevant.

The article presents the results of research on the planning of transport processes in the performance of public passenger transport on urban and suburban routes. The proposed method is aimed at optimizing the number of vehicle stock and its passenger capacity depending on the capacity of passenger traffic and the recommended traffic interval, and also allows you to calculate economic and financial indicators based on the optimization model.

The article presents the results of research to determine the transport mobility of cities and suburbs residents. On the basis of research data of the population survey a number of qualitative indicators of passenger transport work important from the point of its user's view is established. Also, according to the results of research, the probability of increasing passenger traffic due to the redistribution of the population (potential user of public transport), who uses individual transport and taxis.

Therefore, the main purpose of the research is a multicriteria task, which is to ensure adequate forecasting of fixed and variable costs in the performance of passenger road transport on public transport. As well as obtaining a constant and projected profit due to the algorithm for optimizing the work of vehicle stock, the work of driving crews, the elimination of unproductive costs.

Key words: passenger road transport, public transport, optimization of business processes in motor transport, rational solutions in the field of passenger transport.

Introduction

Motor-vehicle transport companies that provide passenger car services very often do not receive a reasonable income due to unbalanced management of business processes and the introduction of irrationally designed operations. This affects the quality of motor-vehicle transport and passenger service. Almost all companies face the issue of improving efficiency, saving resources and more.

Formulation of problem

Every carrier is interested in the efficiency of passenger transport on public transport. The main criteria set by carriers are the optimization of transport costs while maintaining maximum profit.

Vehicle owners are increasingly thinking about how to use their vehicles efficiently and rationally. Is it profitable to build a business on passenger transportation and what needs to be done to make this idea work perfectly?

When performing passenger motor-vehicle transport, cost optimization is the process of reducing the total level of carrier costs. It is achieved by improving management, reducing or eliminating costs from a number of unproductive items. However, the optimization of costs in the enterprise must be carried out on the basis of articles that do not affect the main business processes on which the carrier's profits depend and, at the same time, do not impair the qualitative and quantitative performance.

In order to ensure adequate forecasting of fixed and variable costs in the performance of passenger Motor-vehicle transport and obtaining a steady profit, an algorithm is proposed to solve this problem. To optimize the work of vehicle stock, driving crews, eliminate unproductive costs for medium and small businesses, a cost-effective and efficient mechanism is proposed to achieve this goal with the help of technical means (automated systems for monitoring passenger flows and optimizing technical and operational performance) and management system implementation of business processes and quality of service delivery).

The modern technological world offers a number of solutions to optimize the business of transport services.

However, they are usually expensive and therefore unacceptable for most small and medium-sized transport organizations, which make up the majority of a company number providing passenger transport services.

The strategy of building a business involves identifying and accounting for factors that will contribute (or categorically hinder!) to profit from business activities. The category of the most important circumstances that directly affect the success of vehicle transport companies include such as: competitiveness; costs associated with the operation of transport; options for business registration in state tax authorities and the amount of tax payments, etc.

The increase in operating costs for individual transport and taxis reduces the mobility of the population in relation to the use of public passenger vehicle transport (PPVT). Improving the quality of service, comfort in the vehicle stock, speed, validity of the fare on PPVT lead to increased mobility.

Given the current requirements for admission to the market of transport services PPVT, the requirements of the customer services are becoming more stringent. In order to improve passenger traffic in c. Kyiv, tenders have been launched for a number of profitable routes with more stringent requirements, namely buses with a capacity of 60 seats, equipped with sensors for counting passenger traffic of at least four high-definition video surveillance cameras, environmental standard 5-th EU etc. [8].Therefore, truckers need not only to meet these requirements of tenders, but also to have the technical and methodological tools to process statistical information on passenger traffic. When implementing technical means of passenger traffic control, carriers must optimize the work of passenger vehicles using intelligent automated systems (eg., DynaPCN 10-20 systems, PTV Visum software products, automatic control system, "Intranso" from Gemicle etc.).

Analysis of recent research results

Effective provision of transport services for passenger transportation is to determine the level of their satisfaction by providing services with the expected level of quality [4].

To achieve this goal in the work performed an analysis of recent research by scientists and implemented developments in practice. A significant contribution to the modern understanding and development of the organization and management of transport activities belongs to scientists: V.P. Alferiev, I.D. Afanasenko, N.V. Afanasieva, G.L. Bahiiv, A.M. Gadzhinsky, M.P. Gordon, W.A. Gudkov, M.E. Zalmanova, K.V. Inutyiniy, E.A. Kravchenko, O.A. Crawley, L.B. Miritin and others. Note that a crucial role is played by sound methods and technologies of passenger transportation and methods of improving the level of transport services directly taking into account the management of technological and operational processes that need to be investigated and improved [2, 3].

The issue of rational vehicle organization taking into accounts the interests of not only carriers but also passengers, which will ensure the proper quality of transportation and the ability to control and influence it's insufficiently studied and is a priority area of research [4, 6]. The researchers are devoted to optimization of work of passenger motor transport on quality criteria in the article [1-6].

Purpose of research

However, not only must the transport operator meet the requirements of transport customers, he must also take care to optimize the work of vehicle stock and qualified personnel in order to reduce the overall cost of providing services. That is, to find such optimization methods for which the cost of transportation will be the lowest.

In this regard, the author substantiates the algorithm for optimizing the technical, operational and economic performance of the vehicle stock of passenger transport in order to reduce fixed and variable transportation costs.

Research results

The general level of public passenger transport services in Ukraine is currently insufficient for the majority of the population to be able to prefer public rather than individual transport to meet their transportation needs. It is known that the main part of the movement of citizens is related to professional and business activities [7]. Depending on the employment of the population in certain territorial entities (cities, suburbs, settlements, communities, etc.), the share of professional and business transport activity may differ significantly. But it always prevails over social and domestic transport mobility. According to the results of population surveys (potential passengers of public transport [1]) professional and business transport activity is in the range of 57-77% (Fig. 1).

Fig. 1. Social structure of transport mobility by public transport in cities and suburbs (sociological survey)

Unfortunately, this share of passengers using public transport is due to the need caused by the low income of citizens who use it forcibly.

In the structure of the use of different types of transport within the territorial associations there is a pattern [2], presented in Fig. 2.

As can be seen in the graph, on average 25% of citizens use personal cars and 3% use taxi services. According to the results of the survey of these citizen's categories, more than 60% of them are ready to use public transport, but subject to the quality of this service. Thus, the number of potential passengers may increase from the existing 62 to 78-80%. That is, as a result, passenger traffic can increase by 16-18%, which is a significant indicator for carriers in terms of motivation to improve the quality of service.

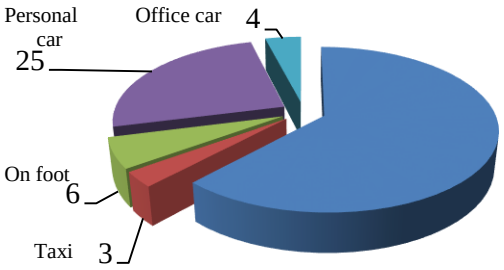


Fig. 2. Percentage distribution of the population's use of various modes of transport for professional and business needs.

In June and October 2021, we conducted our own research - a survey of passengers in c. Kyiv to determine the quality of public transport from the point of view of users.

As a result of the survey, the following qualitative indicators with the level of weight were established (Fig. 3).

The most important of the quality indicators were the exact schedule and optimal filling of the cabin, which was expected, but the indicator "tariff" was in last place. And this indicates that passengers are consciously willing to pay for quality services.

Thus, we have statistics on the undoubted motivation for carriers to improve the quality of services, which in turn will provide additional revenue in the range of 16-18%.

Customers of public passenger transport (self-government bodies) often set intervals for the movement of vehicles stock on routes in a small range of time (mostly 5-10 minutes for urban, 15-20 for suburban). This approach is not rational or justified. Therefore, business carriers need to convince customers of the facts (statistics) in the adoption of rational intervals of movement depending on the time of day, working or weekends, seasons and so on.

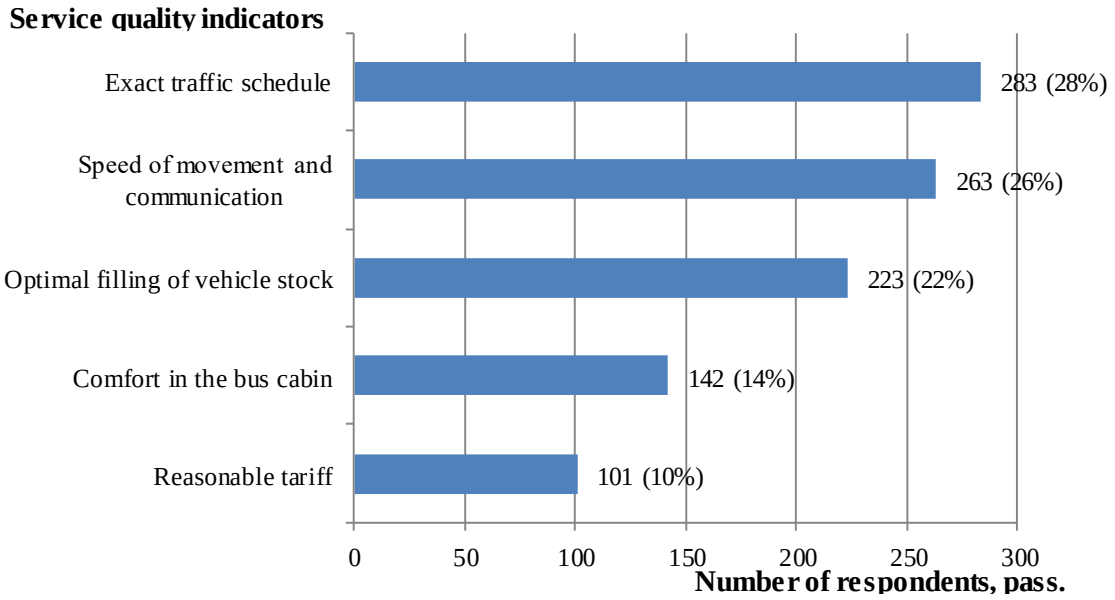


Fig. 3. Results of passenger surveys on the quality of public transport.

The author's view on the way out of the above problems is as follows.

The ideal transport process for passenger traffic would be to continuously adjust the distribution of vehicle stock on routes over time according to the variable supply of passenger traffic, so that in any race of any route to constantly maintain equality between transportation requests and their provision of vehicle stock.

Currently, such a technical possibility exists, but there is no unambiguous model for transport networks of different territorial entities and we have to develop individual projects for specific networks, directions, routes, which requires the involvement of specialists from outside. The author proposes an adapted algorithm to solve this problem. Consider the scheme (Fig. 4).

The generalized project is that the vehicle stock must be equipped with an accurate system for calculating passenger traffic online and GPS trackers. Information on changes in passenger traffic must be processed on its own server.

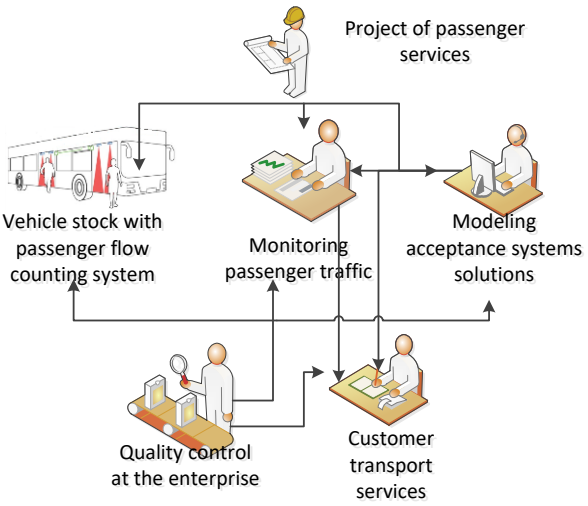
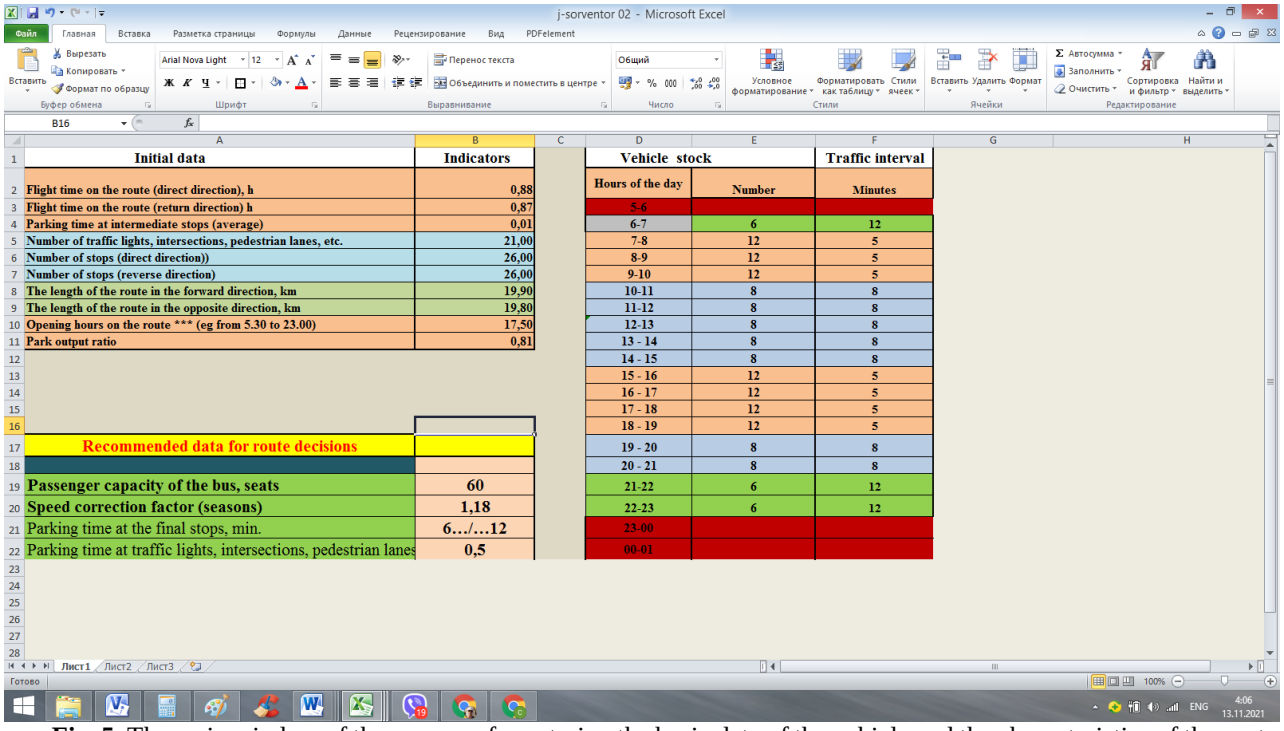


Fig. 4. The scheme of interrelations between operations of process of monitoring and rendering of services on quality criteria

The simulated system under specific conditions is a complex control system of the vehicle stock. The last element should be the operational department for quality control – compliance of the quantitative vehicle stock and intervals of movement to the passenger flow, monitoring of customer feedback, reporting to the Customer of transport services.

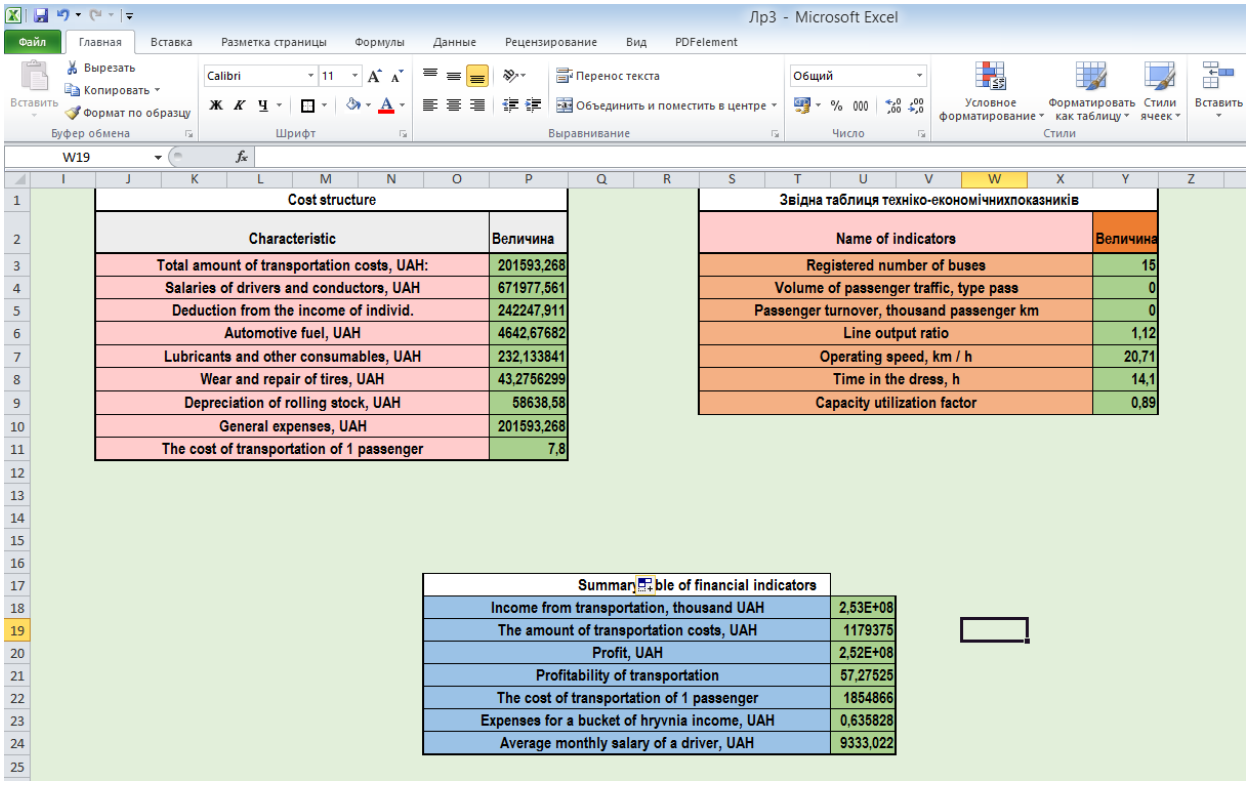
To calculate the technical, operational and economic performance of passenger vehicles in order to minimize total costs, the author developed an algorithm for optimizing the operation of the quantitative vehicle stock depending on the capacity of passenger flows and the range of intervals.



Initial data	Indicators
Flight time on the route (direct direction), h	0,88
Flight time on the route (return direction) h	0,87
Parking time at intermediate stops (average)	0,01
Number of traffic lights, intersections, pedestrian lanes, etc.	21,00
Number of stops (direct direction))	26,00
Number of stops (reverse direction)	26,00
The length of the route in the forward direction, km	19,90
The length of the route in the opposite direction, km	19,80
Opening hours on the route *** (eg from 5.30 to 23.00)	17,50
Park output ratio	0,81
Recommended data for route decisions	
Passenger capacity of the bus, seats	60
Speed correction factor (seasons)	1,18
Parking time at the final stops, min.	6…/…12
Parking time at traffic lights, intersections, pedestrian lanes	0,5

Vehicle stock		Traffic interval
Hours of the day	Number	Minutes
5-6		
6-7	6	12
7-8	12	5
8-9	12	5
9-10	12	5
10-11	8	8
11-12	8	8
12-13	8	8
13 - 14	8	8
14 - 15	8	8
15 - 16	12	5
16 - 17	12	5
17 - 18	12	5
18 - 19	12	5
19 - 20	8	8
20 - 21	8	8
21-22	6	12
22-23	6	12
23-00		
00-01		

Fig. 5. The main window of the program for entering the basic data of the vehicle and the characteristics of the route.



Cost structure	
Characteristic	Величина
Total amount of transportation costs, UAH:	201593,268
Salaries of drivers and conductors, UAH	671977,561
Deduction from the income of individ.	242247,911
Automotive fuel, UAH	4642,67682
Lubricants and other consumables, UAH	232,133841
Wear and repair of tires, UAH	43,2756299
Depreciation of rolling stock, UAH	58638,58
General expenses, UAH	201593,268
The cost of transportation of 1 passenger	7,8

Звідна таблиця техніко-економічнихпоказників	
Name of indicators	Величина
Registered number of buses	15
Volume of passenger traffic, type pass	0
Passenger turnover, thousand passenger km	0
Line output ratio	1,12
Operating speed, km / h	20,71
Time in the dress, h	14,1
Capacity utilization factor	0,89

Summary table of financial indicators	
Income from transportation, thousand UAH	2,53E+08
The amount of transportation costs, UAH	1179375
Profit, UAH	2,52E+08
Profitability of transportation	57,27525
The cost of transportation of 1 passenger	1854866
Expenses for a bucket of hryvnia income, UAH	0,635828
Average monthly salary of a driver, UAH	9333,022

Fig. 6. Window of technical, operational and economic indicators.

The main criterion for the work of the vehicle stock is the amount of cabin filling, which will not exceed 80% of occupied passenger seats. Calculations of the corresponding technique are automated in the table processor of the

Microsoft Excel program. The initial parameters are all technical and operational performance of the vehicle stock, route characteristics, as well as passenger traffic data, which is calculated by the hour of the day and integrated into an external database, located in the module of the passenger traffic monitoring system (GRT-DM 02).

Of course, there are various intelligent automated systems that allow not only to provide statistics of passenger traffic, but also to calculate the number, passenger capacity of the vehicle stock, traffic intervals at different times of the day.

However, they are too expensive for the carrier firstly, and secondly, to work with these systems you need to be trained and most importantly, for these systems you need to regularly pay the developer for support and other services. So, we have an additional fixed cost item.

The author's development is more attractive, namely - the algorithm will be available for testing for 30 days for free, and at the end of this period can be purchased for a nominal fee. For the user, development does not require any skills or training.

All you need for the carrier is to have a passenger traffic calculation system installed on the buses (regardless of the manufacturer), an adaptive module for integrating statistics into Excel, and a personal computer with Microsoft Office.

Also have all the necessary characteristics of the route - distance, number of stops, downtime at stops and more (specified in the instructions). The data are entered in the response of the table cell and the result is formed automatically (Fig. 5).

The program also calculates a number of technical and operational indicators that can operate the head of the convoy and economic and financial calculations for the accountant and the head of the car company (Fig. 6).

Thus, the heads of car companies with the help of this program have the opportunity to optimize the work of the vehicle stock, reduce the cost of passenger transportation, cost and increase their profits.

Conclusions

1. Studies substantiate and confirm the effectiveness of the proposed algorithm for optimizing the work of vehicle stock on the route and allow to calculate the fixed and variable costs of the workflow of services.

2. Analytically substantiated and tested in practice algorithm for determining the optimal amount of vehicle stock and passenger capacity from the power of passenger traffic and the recommended interval of movement.

3. The introduction of the proposed method will not only improve the quality of services and increase the profits of truckers, but over time to establish a clear production business process, namely: to optimize the number of qualified personnel; reduce the total cost of providing the service; to improve the work schedule of driving crews in accordance with the requirements of the legislation; upgrade vehicle stock by increasing revenues due to increased passenger traffic and reduced variable and fixed costs; to ensure the environmental friendliness of the project (reduction of emissions of combustion products) due to the optimization of traffic intervals and reasonable passenger capacity of vehicle stock; reducing the load of routes and the intensity of traffic on them.

References

1. *Gilevska K. B.* (2017). Improving the organization of passenger transportation by public transport according to quality criteria [Electronic resource]. Mode of access to the resource: http://diser.ntu.edu.ua/Hilevska_dis.pdf.

2. Report on research work "Methods of compiling, adjusting and monitoring the implementation of traffic schedules on public transport routes" (intermediate). / Kharkiv National University of Municipal Economy named after OM Beketova. P DR 2638/13. 2015. 43.

3. *Gilevskaya K. Yu.* (2014). Methods for determining the interval of movement of a passenger vehicle on the route MPTS, taking into account passenger flows, the coefficient of filling the cabin and the waiting time of the passenger at the stop. Project Management, Systems Analysis and Logistics: a scientific journal. 14. 163-171.

4. Law of Ukraine "On Consumer Protection" (Vedomosti of the Verkhovna Rada of the USSR (VVR), 1991, № 30, p.379) Valid. [Electronic resource]. 2021. Mode of access to the resource: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1023-12#Text.

5. *Sakun L. M.* (2019). Introduction of quality management system in the activity of domestic motor transport enterprises. Market Infrastructure Magazine. 36. 266-272.

6. *Petrovskaya S. I.* (2019). Principles of assessing the quality of passenger transport services for public transport in the city. Bulletin of KSU Series Economic Sciences. 34. 86-90.

7. *Bondarev S. I.* (2020). Quality of management of labor resources management at car companies. Road transport and infrastructure: III International scientific-practical. ronf. April 23-25. these additions. Kyiv. 29-32.

8. *Usov K.* (2021). Kyiv announced a new tender for passenger transportation: we increase the requirements, we invite carriers from all over Ukraine [Electronic resource]. Official portal of Kyiv Kyiv City Council Kyiv City State Administration. Resource access mode: https://kyivcity.gov.ua/news/kiv_ogolosiv_noviy_konkurs_na_perevezennya_pasazhiriv_pidvischuyemo_vimogi_zaproshuyemo_pereviznikiv_z_usiye_ukrani__kostyin.

Список літератури

1. *Гілевська К. Б.* Удосконалення організації перевезень пасажирів міським громадським транспортом за критеріями якості [Електронний ресурс]. 2017. Режим доступу до ресурсу: http://diser.ntu.edu.ua/Hilevska_dis.pdf.

2. Звіт про науково-дослідну роботу «Методика складання, корегування та моніторингу виконання розкладу руху на маршрутах громадського транспорту» (проміжний). Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. № ДР 2638/13. Харків. 2015. 43 с.

3. *Гілевська К. Ю.* Методика визначення інтервалу руху пасажирського транспортного засобу на маршруті МПТС, з урахуванням пасажиропотоків, коефіцієнту заповнення салону та часу чекання пасажиром на зупинці. Управління проектами, системний аналіз і логістика: науковий журнал. 2014. Вип. 14. С. 163-171.

4. Закон України «Про захист прав споживачів» (Відомості Верховної Ради УРСР (ВВР), 1991, № 30, ст.379) Чинний. [Електронний ресурс]. 1991. Режим доступу до ресурсу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1023-12#Text.

5. *Сакун Л. М.* Впровадження системи управління якістю у діяльність вітчизняних автотранспортних підприєм. Інфраструктура ринку. 2019. Вип. 36. С. 266-272.

6. *Петровська С. І.* Принципи оцінювання якості послуги з перевезень пасажирів транспортом загального користування в місті. Вісник ХДУ. Серія Економічні науки. 2019. № 34. С. 86-90.

7. *Бондарєв С. І.* Якість менеджменту управління трудовими ресурсами на автопідприємствах. Автомобільний транспорт та інфраструктура: ІІІ Міжнародна наук.-практ. конф., 23-25 квіт. 2020 р. : тези допов. Київ. 2020. С. 29-32.

8. *Усов К.* Київ оголосив новий конкурс на перевезення пасажирів: підвищуємо вимоги, запрошуємо перевізників з усієї України [Електронний ресурс]. Офіційний портал Києва Київська міська рада Київська міська державна адміністрація. 2021. Режим доступу до ресурсу: https://kyivcity.gov.ua/news/kiv_ogolosiv_noviy_konkurs_na_perevezennya_pasazhiriv_pidvischuyemo_vimogi_zaproshuyemo_pereviznikiv_z_usiye_ukrani__kostyantin_usov/.

АЛГОРИТМ З ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ І ОПЕРАЦІЙ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОПЕРЕВЕЗЕНЬ

С. І. Бондарєв

Анотація. Дослідження транспортних процесів тісно пов'язані з економічними й експлуатаційними показниками роботи автомобільного транспорту. При плануванні автоперевезень найбільш важливим фактором є вартість транспортної послуги. Відомо, що неправильно виконана організація роботи автотранспорту враховуючи тип, розмірність, режими роботи РС, кількісний склад, кваліфікацію та межі відповідальності персоналу, а також інші організаційні заходи призводить до невиправданих витрат. Загалом, це призводить до зменшення привабливості бізнесу його власнику, також зменшенню мотивації для виконавчого персоналу.

Тому дослідження, які пов'язані з підвищенням ефективності роботи автотранспорту за рахунок скорочення витрат є доцільним і актуальним. У статті наведені результати досліджень з планування транспортних процесів при виконанні пасажирських автоперевезень загального користування на міських та приміських маршрутах. Запропонований метод спрямований оптимізувати кількість РС і його пасажиромісткість від потужності пасажиропотоку і рекомендованого інтервалу руху, а також дозволяє розрахувати економічних і фінансових показників на основі оптимізаційної моделі.

В статті представлені результати досліджень з визначення транспортної рухливості громадським транспортом мешканців міст і передмість. На основі дослідних даних опитування населення, встановлені ряд якісних показників роботи пасажирського транспорту з точки зору його користувачів. А також, з аналізу досліджень, встановлена вірогідність збільшення пасажиропотоку за рахунок перерозподілу населення (потенційного користувача громадським транспортом), яке користуються індивідуальним транспортом і таксі.

Отже головною метою проведених досліджень є багатокритеріальна задача, що полягає у забезпеченні адекватного прогнозування постійних та змінних витрат при виконання пасажирських автоперевезень на громадському автотранспорті загального користування. А також отримання постійного і прогнозованого прибутку за рахунок методу оптимізації роботи рухомого складу, роботи водійських бригад в плаваючому графіку, усунення непродуктивних витрат.

Ключові слова: пасажирські автомобільні перевезення, громадський транспорт загального користування, оптимізація бізнес процесів на автотранспорті, раціональні рішення в сфері пасажирських перевезень, оптимізація транспортного процесу.

АЛГОРИТМ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ОПЕРАЦИЙ ПАССАЖИРСКИХ АВТОПЕРЕВОЗОК

С. И. Бондарев

Аннотация. Исследование транспортных процессов тесно связано с экономическими и эксплуатационными показателями работы автомобильного транспорта. При планировании автоперевозок наиболее важным фактором является стоимость транспортных услуг. Известно, что неправильно выполненная организация работы автотранспорта, учитывая тип, размерность, режимы работы подвижного состава, количественный состав, квалификация и пределы ответственности персонала вместе с другими организационными мероприятиями приводит к неоправданным затратам. Как правило, это приводит к уменьшению привлекательности бизнеса его владельцу, а также уменьшению мотивации для персонала.

Поэтому исследования, связанные с повышением эффективности работы автотранспорта за счет сокращения расходов целесообразно и актуально. В статье приведены результаты исследований планирования транспортных процессов при выполнении пассажирских автоперевозок общего пользования на городских и пригородных маршрутах. Предлагаемый метод направлен оптимизировать количество подвижного состава и его пассажировместимость от мощности пассажиропотока и рекомендуемого интервала движения, а также позволяет рассчитать экономические и финансовые показатели на основе оптимизационной модели.

В статье представлены результаты исследований по определению транспортной подвижности жителей городов и пригородов. На основе опытных данных опроса населения установлен ряд качественных пока-

зателей работы пассажирского транспорта с точки зрения его пользователей. А также, на основании полученных результатов исследований, установлена вероятность увеличения пассажиропотока за счет перераспределения населения (потенциального пользователя общественным транспортом), пользующегося индивидуальным транспортом и такси.

Следовательно, главной целью проведенных исследований является многокритериальная задача, заключающаяся в обеспечении адекватного прогнозирования постоянных и переменных расходов при выполнении пассажирских автоперевозок на общественном автотранспорте общего пользования. А также получение постоянной и прогнозируемой прибыли за счет алгоритма оптимизации работы подвижного состава, работы водительских бригад, устранение непроизводительных затрат.

Ключевые слова: пассажирские автомобильные перевозки, общественный транспорт общего пользования, оптимизация бизнес-процессов на автотранспорте, рациональные решения в сфере пассажирских перевозок, оптимизация транспортного процесса.

S. I. Bondariev ORCID 0000-0002-9626-6633.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 103-108*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.103

УДК 631.312.06

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ В СИСТЕМІ «ҐРУНТ-АГРЕГАТ-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ЗАСІБ» ДЛЯ STRIP-TILL ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Л. П. Середа, Д. А. Ковальчук

Вінницький національний аграрний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 208 – агроінженерія.

Кореспонденція авторів: dimasikkovalchyk2008@gmail.com.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року.
Бібл. 8, рис. 2, табл. 0.

Анотація. Агропромисловий комплекс України є галуззю народного господарства, покликаною забезпечити виробництво в достатній кількості продуктів харчування для населення при високій якості. В основі сільськогосподарського виробництва є землеробство, основним предметом праці якого є земля. Сьогодні землеробство в країні переживає досить серйозну проблему, пов'язану із швидкими темпами зниження потенційної родючості ґрунтів.

Основним матеріальним багатством країни є родючі ґрунти – чорноземи, які складають значну частину площі країни. Чорноземи є надзвичайно родючими та багатими на органічну речовину як гумус, завдяки якому створюються агротехнічні умови для вирощування досить широкого спектру культур рослинного походження.

В останні роки у світі зароджується новий напрямок формування землеробства, фактично це нова стратегія, заснована на застосуванні сучасних інноваційних технологій обробітку ґрунту та розробкою комбінованих агрегатів для їх реалізації. За таких новітніх тенденцій у землеробстві світу, відповідних змін повинні набути і дії в Україні, зокрема впровадженням ґрунтозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій обробітку ґрунту.

Роботу присвячено розробці математичної моделі процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології обробітку ґрунту як Strip-till. З метою досягнення зменшення енергозатрат на обробіток ґрунту, збереження основного показника родючості ґрунту – гумусу та раціонального агрегатування енергетичних засобів із ґрунтообробними агрегатами було встановлено перспективні шляхи зниження на основі математичного моделювання та аналізу зв'язків між елементами.

Розроблено та обґрунтовано математичну модель процесу роботи ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till в технологічній системі «Ґрунт-агрегат-енергетичний засіб» та аналіз її внутрішньо-системних залежностей та зв'язків.

Ключові слова: теоретичні дослідження, агротехнічно-допустимі показники, зберігаючі технології, родючість, ґрунтообробний агрегат.

Постановка проблеми

На сьогодні виробники сільськогосподарських агрегатів мають достатньо широкий спектр продукції, виходячи з цього, виникає необхідність у теоретичному дослідженні параметрів енергетичних засобів та ґрунтообробних агрегатів, в аспекті оптимальних умов експлуатації та раціонального агрегатування [4, 5].

Враховуючи стратегічно важливий напрямок формування матеріально-технічної бази землеробства агропромислового комплексу України для забезпечення високоефективного та ґрунтозберігаючого обробітку ґрунту, а також високі енергозатрати, які затрачаються на обробіток ґрунту за традиційною технологією, виникає потреба в проведенні досліджень спрямованих на вирішення проблеми енергоефективного обробітку ґрунту, у тому числі з раціональним агрегатування енергетичних засобів із ґрунтообробними агрегатами, при цьому, зберігаючи потенційну родючість ґрунту країни, що і обумовлює **актуальність** даної статті.

Аналіз останніх досліджень

Основною метою теоретичних досліджень процесу роботи ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту є встановлення закономірностей його руху та визначення на цій основі параметрів технологічного процесу, які забезпечують оптимальні показники обробітку ґрунту. З точки зору раціонального підходу при виборі параметрів ґрунтообробних агрегатів в складі машинно-тракторних агрегатів є комплексний ймовірно-статистичний метод [1,2,8].

В загальному, функціонування машинно-тракторних агрегатів (МТА) розглядається як реакція на зовнішні впливи, що має вигляд складної динамічної системи, яка здійснює перетворення змінних за типом «вхід-вихід». Вхідна змінна величина приймається як характеристика умов роботи ґрунтообробного агрегату, а вихідна величина –

сукупність параметрів, які визначають безпосередньо агротехнічні, енергетичні та техніко-економічні показники.

Характер коливань зовнішніх впливів є головною причиною, що обумовлює зміни вихідних величин роботи ґрунтообробного агрегату в період експлуатації. Під час експлуатації в різних умовах при агрегатуванні енергетичного засобу виникає необхідність оцінки вихідних величин ґрунтообробних агрегатів у всьому робочому діапазоні завантаження по тязі, який визначається не тільки змінною агрофізичних властивостей ґрунту, але й параметрами агрегату із режимами його роботи [2,8].

Мета досліджень

Метою проведення експериментальних досліджень є розробка математичної моделі, яка дозволить на основі результатів оцінки основних параметрів машинно-тракторного агрегату визначати та встановлювати оптимальний склад та режими роботи ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту.

Результати досліджень

Механічний вплив на ґрунт за промисловою технологією із значною кількістю внесення мінеральних добрив призводить не лише до погіршення агрогідрологічних властивостей ґрунту та ущільнення кореневмісного шару, а й, втрати продуктивності земель.

Стратегічно важливим напрямком розвитку землеробства в Україні є формування матеріально-технічної бази для збереження основного показника ґрунту під час обробітку. Сьогодні необхідно проводити дослідження ґрунтообробних агрегатів, які спрямовані на реалізацію інноваційних ґрунтозберігаючих технологій обробітку, які одночасно зберігають родючість ґрунту [4,6,7].

Все більшого застосування в АПК України набувають комбіновані ґрунтообробні агрегати для обробітку ґрунту, застосування яких дає позитивні результати роботи. Перевагами яких є розширення функціональних можливостей використання, висока продуктивність, економія паливних ресурсів, але саме головне – зниження техногенного впливу на ґрунт [6].

Тензометричні вимірювання ґрунтообробних агрегатів із різними тяговими класами енергетичних засобів показують зміну енергетичних параметрів в умовах їх функціонування. На основі математичної моделі ґрунтообробного агрегату, можна визначити математичні очікування вихідних величин, та режимів роботи із врахуванням вимог технологічного процесу обробітку ґрунту за технологією Strip-till, які можна оптимізувати [5,7].

Для збереження потенційної родючості ґрунтів країни, пропонуємо конструкцію ґрунтообробного агрегату для Strip-till технології обробітку ґрунту, яка має наступні конструктивні особливості:

1) Ґрунтообробна лапа конструктивно виконана таким чином, що дозволить одночасно за один прохід підрізати бур’яни так і вносити органічні добрива до кореневої системи рослин, тим самим покращуючи доступ поживних речовин;

2) На стійку ґрунтообробної лапи вмонтований верхній поверхневий леміш, який зрізає наземну частину бур’янів та використовується для стабілізації руху лапи, на потрібну глибину обробітку ґрунту;

3) Внесення органічних добрив відбувається внутрішньоґрунтово та проводиться перед фрезеруванням ґрунту, що дає можливість якісно та інтенсивніше перемішувати його з органічним добривом, а також розпушувати ґрунт, що є важливим при впровадженні технології Strip-till.

Загальний вигляд конструкції комбінованого ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till зображено на рисунку 1.

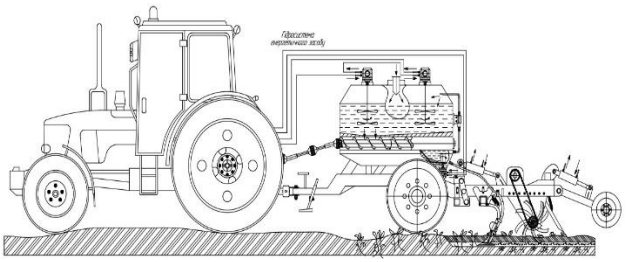


Рис. 1. Загальний вигляд машинно-тракторного агрегату для технології Strip-till

Fig. 1. General view of the machine-tractor unit for Strip-till technology

Раціональні параметри та режими роботи агрегату залежать від визначення необхідної маси та потужності енергетичного засобу і ґрунтообробного агрегату, що забезпечить по можливості більше механічної енергії по відношенню до необхідних енергозатрат ґрунту конкретними робочими органами для створення необхідної структури оброблюваної поверхні ґрунту.

В загальному енергетична потужність агрегату пропорційна добутку тяговому зусиллю енергетичного засобу на робочу швидкість руху. Маса агрегату, яка бере участь в процесі обробітку ґрунту, змінюється, тим самим впливає на завантаження робочих органів та визначає величину опору [5].

Для стійкого виконання технологічного процесу обробітку ґрунту за технологією Strip-till відповідно до визначено тягового класу енергетичного засобу необхідно визначитись з оптимальною шириною захвату ґрунтообробного агрегату.

Визначення оптимальної ширини захвату ґрунтообробного агрегату, яка залежить від питомого опору, відбувається, як правило, лише під час сталого режиму роботи. При цьому, велика кількість ґрунтообробних агрегатів мають декілька робочих органів, пов’язаних між собою, що свідчить про значну інерційність механічної системи, тому, для визначення оптимальної ширини захвату агрегату розглядають динамічну систему механічного руху [1].

При рівномірному русі спроектованого ґрунтообробного агрегату по горизонтальній поверхні на нього діють наступні сили (рис. 2) [6, 7]:

– сила тяжіння агрегату, (Gагр), Н;

– тягове зусилля трактора, (Ртр), Н;

– опір ґрунту переміщення стрілчатої лапи, (Рл), Н;

– опір ґрунту переміщення ґрунтообробної фрези, (Рфр), Н.

–

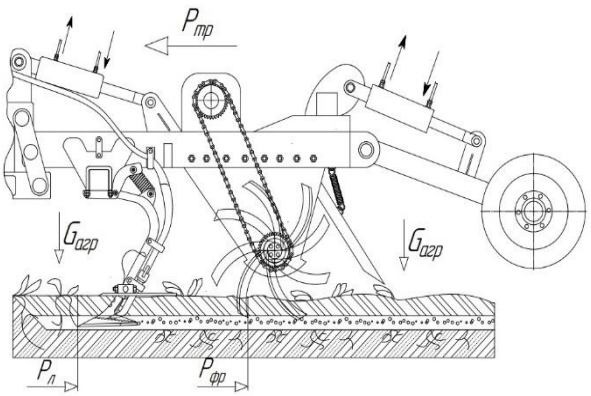


Рис. 2. Схема дії сил на ґрунтообробний агрегат для технології Strip-till.

Fig. 2. Scheme of action of forces on the tillage unit for Strip-till technology.

Виходячи з цього, кінематична енергія ґрунтообробного агрегату визначається з формули:

$$T_{\text{А}} = \frac{m_a \cdot V_a^2}{2} + \frac{I_a \cdot \omega^2}{2}, \qquad (1)$$

де m_a – маса комбінованого агрегату, *кг*; V_a – швидкість руху комбінованого агрегату, *м/с*; I_a – момент інерції обертових частин комбінованого агрегату, *кг·м²*; ω^2 – кутова швидкість обертання відносно центру мас, c^{-1}.

Для забезпечення рівноваги у вертикальній площині дія вертикальних складових реакцій ґрунту на робочі органи компенсується вагою ґрунтообробного агрегату, окрім цього питомий опір ґрунту та глибина обробітку ґрунту – постійні.

Математична розрахункова модель ґрунтообробного агрегату має наступний вигляд:

$$F = \{f_1(t), \dots f_j(t), \dots f_n(t)\}, \qquad (2)$$

$$Y = \{y_1(t), \dots y_j(t), \dots y_m(t)\}, \qquad (3)$$

де F – вектор вхідних змінних; Y – вектор вихідних змінних; n, m – число сукупності експлуатаційних факторів.

Вхідною величиною в систему «ґрунт-агрегат-енергетичний засіб» прийнята величина, яка приведена до постійної робочої швидкості руху та тяговому опору ґрунтообробного агрегату, закон розподілу прийнято нормальним на підставі чисельних реалізацій процесів. При великій кількості вхідних та вихідних значень, змінність їх в часі або не стаціонарність є відмінною особливістю функціонування ґрунтообробного агрегату [1,2,8].

Оцінка законів розподілу вхідних та вихідних змінних проводиться за допомогою числових характеристик: математичні очікування та дисперсія:

$$m_y = \int y \cdot \varphi(y) dy = \int f(x) \cdot \varphi(x) dx, \qquad (4)$$

$$D_y = \int \left[f(x) - m_y\right] \cdot \varphi(x) dx, \qquad (5)$$

де $\varphi(y)$, $\varphi(x)$ – ймовірність щільності розподілу відповідного вхідного та вихідного показника; $y = f(x)$ – детермінована функція зв'язку.

Особливо важливою умовою ефективної експлуатації машинно-тракторного агрегату є оптимально-правильний підбір агротехнічних допустимих швидкостей руху для вибраного прийому обробітку та із врахуванням стану ґрунту і найбільш повної реалізації номінальної потужності двигуна енергетичного засобу [8].

Визначення діапазону математичних очікувань робочих швидкостей руху машинно-тракторних агрегатів визначається із результатів агротехнічною оцінки враховуючи вимоги якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту.

Робоча швидкість руху енергетичного засобу залежить від коефіцієнту використання зчіпної ваги та інших показників, з високим ступенем точності, які визначається шляхом апроксимації експлуатаційних значень швидкості енергетичного засобу по передачам.

Виходячи з цього швидкість руху машинно-тракторного агрегату визначається з формули:

$$V_{\text{р}} = \frac{N_{\text{н}} \cdot \lambda_N \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_\delta}{G_{\text{тр}} \cdot (\varphi + f)}, \text{км/год} \qquad (6)$$

де $N_н$, λ_N – відповідно номінальна потужність двигуна трактора і коефіцієнта використання; $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії трактора; φ - математичне очікування коефіцієнта використання зчіпної ваги трактора, яка визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{P_{\text{гк}}}{G_{\text{тр}}}, \text{кг} \qquad (7)$$

$G_{тр}$ – експлуатаційна вага трактора, кг; η_δ – коефіцієнт опору кочення трактора.

Для висвітлення зміни поточних математичних очікувань тягового зусилля на гаку енергетичного засобу в залежності від робочої швидкості руху при агрегатуванні із різними агрегатами застосовуємо рівняння другого порядку:

$$P_{\text{гк}} = P_0 \cdot \left[1 + \varepsilon_0 \cdot \left(V_{\text{р}}^2 + V_0^2\right)\right], \text{Н} \qquad (8)$$

де $P_{гк}$, P_0 – відповідно математичне очікування тягового зусилля на гаку енергетичного засобу при швидкості руху V^2_p *і* V_0; ε_0 – коефіцієнт, що враховує приріст тягового опору при збільшенні робочої швидкості руху машинно-тракторного агрегату.

Динамічний вплив P робочих органів агрегату із ґрунтом та його кінцевою масою m_n за час t повідомляє про швидкість руху V:

$$P \cdot \Delta t = \Delta m_n \cdot V, \qquad (9)$$

Виходячи з рівняння (9) середня величина тягового опору P буде пропорційна квадрату швидкості руху агрегату, так як маса ґрунту, яка піддається впливу робочого органу в одиницю часу, пропорційна швидкості руху. Рівняння руху при умові сталої роботи агрегату, із зміною швидкості руху від *0* до V поступово, при цьому забезпечуючи неперервний прохід робочого органу через ґрунту:

$$P = \Delta m_n \cdot \frac{dV}{dt}, \qquad (10)$$

Основним оцінюючим показником використовується математична величина очікування витрати пального двигуном енергетичного засобу, яка

визначає потрібну потужність для заданого технологічного процесу обробітку.

При цьому, виходячи із рівняння (10) витрати потужності на обробіток ґрунт, визначається з формули:

$$N = P \cdot V = \Delta m_n \cdot V \cdot \frac{dV}{dt} = \Delta m_n \cdot \frac{V^2}{2}, \quad (11)$$

Виходячи з цього, поєднуючи рівняння (1-11) буде описуватись фізична сутність процесу обробітку ґрунту.

Результати випробування агрегатів показали, що застосовуючи до реальних умов роботи машинно-тракторного агрегату витрата палива двигуна енергетичним засобом є взаємозв'язок між ширини захвату агрегату, глибини агрегату та швидкості руху [5, 8]. Апроксимація цього має наступний вигляд:

$$G_{\text{п}} = G_{\text{то}} + E_0 \cdot B_{\text{р}} \cdot h \cdot V_{\text{р}}^2, \text{г/с} \quad (12)$$

де G_{mo} – математичне очікування витрати палива на самопересування агрегату та витрати в передавальних механізмах системи, *г/с*; h – математичне очікування глибини обробітку ґрунту, *м*; E_o – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив стану ґрунту, параметрів трактора та типу робочих органів ґрунтообробного агрегату при інтенсивності приросту витрати палива двигуном енергетичного засобу від збільшення B_p, V_p і h.

Виходячи з цього, отриманий вираз представляє собою енергетичну характеристику ґрунтообробного агрегату в цілому при впливі його на ґрунт.

Аналіз рівняння говорить про те, що величина пропорційна затратам палива на корисну роботу ґрунтообробного агрегату і обернено пропорційна коефіцієнту приросту витрати пального, глибині обробітку ґрунту та квадрату робочої швидкості руху машинно-тракторного агрегату [6].

Відповідно до цього, робоча ширина захвату ґрунтообробного агрегату для агрегатування із енергетичним засобом визначається за формулою:

$$B_{\text{р}} = \frac{G_{\text{т}\,max} - G_{\text{п}}}{E_o \cdot h \cdot V_{P\,max}^2}, \quad (13)$$

Виходячи з цього, після перетворення рівняння (15), отримуємо рівняння для визначення продуктивності ґрунтообробного агрегату:

$$W = \frac{G_{\text{т}\,max} - G_{\text{п}}}{E_o \cdot h \cdot V_{p\,max}}, \quad (14)$$

Витрати пального двигуна енергетичного засобу можна розділити на дві складові: продуктивна складова – витрачаються на корисну роботу руху ґрунтообробного агрегату; не продуктивні – втрати, на самопересування ґрунтообробного агрегату та втрати в передавальних механізмах системи [6].

Витрати пального двигуном по першій складовій, на переміщення ґрунту і пропорційній величині її обсягу та отриманому прискоренню, отримуємо вираз:

$$G_{\text{пс}} = E_0 \cdot B_{\text{р}} \cdot h \cdot S \cdot \frac{V_{\text{р}}}{t} = E_0 \cdot V_{\text{п}} \cdot a_n = E_0 \cdot P \cdot \frac{V_n}{m_n}, \frac{\text{г}}{\text{с}} \quad (15)$$

де V_n, m_n – відповідно величина обсягу та маси обробного ґрунту; a_n – величина прискорення, одержуваного ґрунтом під час обробітку.

Витрати пального двигуна по другій складовій, визначаються із виразу:

$$G_2 = C_o \cdot f_a \cdot (G_{\text{тр}} + G_{\text{а}}), \text{г/с} \quad (16)$$

де C_o – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив сили опору кочення агрегату на величину витрат палива для його переміщення; f_a – коефіцієнт опору кочення агрегату; G_a – експлуатаційна вага ґрунтообробного агрегату, *кг*.

Виходячи з аналізу виразів (13) і (14) бачимо, що величина непродуктивних енерговитрат на ґрунт пропорційна експлуатаційній масі ґрунтообробного агрегату в цілому, а витрати палива на корисну роботу пропорційні тяговому опору, по відношенню до щільності ґрунту.

Витрата палива, ґрунтообробного агрегату на одиницю площі, яка піддається обробітку визначається за формулою:

$$g_{\text{га}} = \frac{G_{\text{п}}}{B_{\text{р}} + V_{\text{р}}} + E_o \cdot h \cdot V_{\text{р}}, \quad (17)$$

Виходячи з рівнянь (13-17) слідує, що пріоритетним шляхом підняття продуктивності, відповідно і зниження витрат палива є зменшення витрат пального на пересування ґрунтообробного агрегату, глибини обробітку ґрунту і застосування робочих органів агрегату з меншим питомий тяговим опором, а також не менш важливим є збільшення завантаження енергетичного засобу по тязі, за допомогою збільшенні ширини захвату ґрунтообробного агрегату при зниженні робочої швидкості руху ґрунтообробного агрегату.

В якості головного показника машинно-тракторного агрегату пропонуємо використати значення коефіцієнта корисної дії ґрунтообробного агрегату, що характеризує частку енерговитрат, затрачену агрегатом на корисну роботу, від загальної величини. Коефіцієнт корисної дії ґрунтообробного агрегату визначається згідно із рівнянням:

$$\eta_{\text{а}} = \frac{G_g - G_2}{G_{\text{тн}}} = \frac{E_o \cdot B_{\text{р}} \cdot h \cdot V_{\text{р}}}{G_{\text{тн}}}, \quad (18)$$

Моделювання процесу роботи ґрунтообробного агрегату може бути успішна реалізована при обґрунтуванні раціонального складу та режимів роботи причіпних машинно-тракторних агрегатів, так як на вході приймається величина наведеного тягового опору ґрунтообробного агрегату.

Висновки

1. Підводячи підсумки, можна сказати, що конструкція запропонованого ґрунтообробного агрегату в загальному за один робочий прохід виконує всі необхідні операції для передпосівного обробітку ґрунту за технологією Strip-till: формує смуги для посіву та розпушує ґрунт з одночасним змішуванням рослинних залишків із ґрунтом; локально вносить органічні добрива до кореневої системи рослини, тим самим покращуючи доступ поживних речовин; створює якісне насіннєве "ложе" на потрібну глибину обробітку; обробляє ґрунт без перевертання пласту, тим сам зберігаючи вологу та гумус у ґрунті.

2. Окрім цього, математична модель дозволить на основі результатів оцінки основних параметрів машинно-тракторного агрегату визначати та встановлювати оптимальний склад та режими роботи

ґрунтообробного агрегату для технології Strip-till. Математичні залежності, дозволяють проаналізувати застосування тягових агрегатів на базі енергетичних засобів із різними параметрами під час виконання обробітку ґрунту стосовно до реальних умов експлуатації.

Список літератури

1. *Войтюк Д. Г., Барановський В. М.* Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник. Київ. Вища освіта. 2005. 464 с.

2. *Заїка П. М.* Теорія сільськогосподарських машин. Харків. Око. 2001. Том 1. Частина 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. 444 с.

3. *Бендера І. М., Рудь А. В., Козій Я. В.* Проектування сільськогосподарських машин: навчальний посібник. Камянець-Подільський. 2010. 640 с.

4. *Середа Л. П.* Технологія Strip-till в рослинництві. Перспективність впровадження в Україні. Сучасні проблеми землеробської механіки : матеріали XX міжнародної наукової конференції, присвяченої 119 - й річниці з дня народження академіка П.М. Василенка, 17-19 жовтня 2019 року. Миколаїв. МНАУ. 2019. С. 70-74.

5. *Середа Л. П., Ковальчук Д. А.* Розробка комбінованого ґрунтообробного пристрою для ресурсоощадних технологій обробітку ґрунту, Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в АПК». Луцьк. 20-21 травня 2021 року. С. 116-118.

6. *Середа Л. П., Купчук І. М., Ковальчук Д. А., Замрій М. А.* Розробка пристрою для фрезерного обробітку ґрунту з одночасним внесенням добрив. Техніка, енергетика, транспорт в АПК. 2021. С. 152-161.

7. *Середа Л. П., Труханська О. О., Швець Л. В.* Розробка і дослідження ґрунтообробної машини для технології Strip-till з активними робочими органами, Вібрації в техніці і технологіях. 2019. С. 65-71.

8. *Тищенко С. С., Дубровін В. О., Теслюк В. В., Волянський М. С.* Сільськогосподарські машини. Теорія і розрахунок робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту: навчальний посібник. Київ. Компанія «Аграр Медіа Груп». 2014. 162 с.

References

1. *Voytiuk D. G., Baranovsky V. M.* (2005) Agricultural machinery. Fundamentals of theory and calculation: textbook. Kyiv. Higher education. 464.

2. *Zaika P. M.* (2001) Theory of agricultural machinery. Kharkov. Oko. 1(1). Machines and tools for tillage. 444.

3. *Bendera I. M., Rud A. W., Koziy Ya. V.* (2010). Design of agricultural machinery. Tutorial. Kamianets-Podilskyi. 640.

4. *Sereda L. P.* (2019). Strip-till technology in crop production. Prospects for implementation in Ukraine. Modern problems of agricultural mechanics: materials of the XX international scientific conference dedicated to the 119th anniversary of the birth of Academician P.M. Vasylenko. October 17-19. Mykolaiv. MNAU. 70-74.

5. *Sereda L. P., Kovalchuk D. A.* (2021). Development of a combined tillage device for resource-saving tillage technologies. Proceedings of the VIII All-Ukrainian scientific-practical conference "Innovative technologies in agriculture". Lutsk, May 20-21. 116-118.

6. *Sereda L. P., Kupchuk I. M., Kovalchuk D. A., Zamriy M. A.* (2021) Development of a device for milling tillage with simultaneous application of fertilizers. Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Seriia: Engineering, energy, transport in agriculture. Vinnytsia. 152-161.

7. *Sereda L. P., Trukhanskaya O. O., Shvets L. V.* (2019). Development and research of a tillage machine for Strip-till technology with active working bodies. Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Seriia: Vibrations in equipment and technologies. Vinnytsia. 65-71.

8. *Tishchenko S. S., Dubrovin V. O., Teslyuk V. V., Volyansky M. S.* (2014). Agricultural machinery. Theory and calculation of working bodies of machines for surface tillage: textbook. way. Kyiv. Agrar Media Group Company. 162.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТУ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-АГРЕГАТ-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО» ДЛЯ STRIP-TILL ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Л. П. Середа, Д. А. Ковальчук

Аннотация. Агропромышленный комплекс Украины является отраслью народного хозяйства, призванной обеспечить производство в достаточном количестве продуктов питания для населения при высоком качестве. В основе сельскохозяйственного производства является земледелие, основным предметом труда которого является земля. Сегодня земледелие в стране переживает достаточно серьезную проблему, связанную с быстрыми темпами снижения потенциального плодородия почв.

Основным материальным богатством страны являются плодородные почвы - черноземы, которые составляют значительную часть площади страны. Черноземы чрезвычайно плодородными и богатыми органическое вещество как гумус, благодаря которому создаются агротехнические условия для выращивания достаточно широкого спектра культур растительного происхождения.

В последние годы в мире зарождается новое направление формирования земледелия, фактически это новая стратегия, основанная на применении современных инновационных технологий обработки и разработкой комбинированных агрегатов для их реализации. При таких новейших тенденциях в земледелии мира, соответствующих изменений должны приобрести и действия в Украине, в частности внедрением почвосберегающих и ресурсосберегающих технологий обработки почвы.

Работа посвящена разработке математической модели процесса работы почвообрабатывающего агрегата для технологии обработки как Strip-till. Для достижения уменьшения энергозатрат на обработку

почвы, сохранение основного показателя плодородия почвы - гумуса и рационального агрегатированные яэнергетических средств с почвообрабатывающими агрегатами было установлено перспективные пути снижения на основе математического моделирования и анализа связей между элементами.

Разработан и обоснована математическая модель процесса работы почвообрабатывающего агрегата для технологии Strip-till в технологической системе «Почва-агрегат-энергетическое средство» и анализ ее внутренне системных зависимостей и связей.

Ключевые слова: теоретические исследования, агротехнических допустимые показатели, сохраняющие технологии, плодородие, почвообрабатывающий агрегат.

MATHEMATICAL MODELING SOIL TILLING UNIT IN THE SYSTEM "SOIL-AGGREGATE-ENERGY MEANS" FOR STRIP-TILL TECHNOLOGY SOIL TREATMENT

L. P. Sereda, D. A. Kovalchuk

Abstract. The agro-industrial complex of Ukraine is a branch of the national economy designed to ensure the production of sufficient food for the population at high quality. The basis of agricultural production is agriculture, the main subject of which is land. Today, agriculture in the country is experiencing a very serious problem associated with the rapid decline in potential soil fertility.

The main material wealth of the country is fertile soils - chernozems, which make up a significant part of the country. Chernozems are extremely fertile and rich in organic matter such as humus, which creates agronomic conditions for growing a wide range of crops of plant origin.

In recent years, a new direction in the formation of agriculture is emerging in the world, in fact, it is a new strategy based on the use of modern innovative tillage technologies and the development of combined units for their implementation. With such the latest trends in agriculture in the world, appropriate changes should be made in Ukraine, in particular the introduction of soil-saving and resource-saving tillage technologies.

The work is devoted to the development of a mathematical model of the process of operation of the tillage unit for tillage technology as Strip-till. In order to reduce energy consumption for tillage, preserve the main indicator of soil fertility - humus and rational aggregation of energy products with tillage units, promising ways to reduce based on mathematical modeling and analysis of relationships between elements.

The mathematical model of the process of operation of the tillage unit for the Strip-till technology in the technological system "Soil-unit-energy means" and the analysis of its intra-system dependences and connections are developed and substantiated.

Key words: theoretical researches, agrotechnical-admissible indicators, preserving technologies, fertility, tillage unit.

Л. П. Середа ORCID 0000-0003-0866-2503.
Д. А. Ковальчук ORCID 0000-0002-5946-4673.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 109-115*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.109

УДК 631.331

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОТРУЮВАННЯ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ

О. М. Вечера, В. В. Куянов

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття зі спеціальності: 208 – агроінженерія.

Кореспонденція авторів: vecheraoleg@nubip.edu.ua, Vladimir.Kuianov@bigmir.net.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року. Бібл. 19, рис. 2, табл. 1.

Анотація. У статті наведено результати досліджень процесу протруювання насіння сільськогосподарських культур з метою виявлення причин недосконалості робочого процесу при використанні рідких препаратів та запропоновано підвищення якості за допомогою комбінованої обробки насіння.

Сутність розробленої модифікації протруювача насіння полягає у комбінованій обробці його - після обробки рідкими пестицидами одним робочим органом додається обробка ультрафіолетом та озоном для підсушування, дезінфекції та стимулювання насіння всередині камери протруювання за один прохід.

У кінцевій частині статті наведена схема робочого процесу протруювача та висновки і перспективи його використання.

Ключові слова: протруювач, насіння, ультрафіолет, озон, стимуляція.

Постановка проблеми

Давно став загальновідомим доведений науковими дослідженнями і виробничою практикою факт суттєвого підвищення валових зборів продукції рослинництва завдяки застосуванню і чіткому дотримуванню усіх елементів прогресивних технологій вирощування сільськогосподарських культур. В цьому переконують і приклади окремих господарств, які вирощують 100-центнерні врожаї з одного гектара озимої пшениці, 50-60 ц/га озимого ріпаку та інших культур, що в 2-3 рази вище середньої врожайності цих культур у тих же регіонах. Основа успіху таких господарств не лише в технології, але й у запобіганні втратам на усіх етапах технологічного циклу, в тому числі і втратам від шкідливих організмів, які в сучасних умовах ведення господарства часто з порушенням сівозмін, незбалансованого застосування мінеральних добрив і засобів захисту рослин тощо приводять до недобору врожаю до 30-50 % і різкого зниження його якості. Третина цих втрат зумовлюється шкідниками і хворобами рослин, особливо у фазі їх проростків і сходів. З давніх часів людство бореться з ними різними методами, основним з яких в 21-му столітті став спосіб протруювання насіння хімічними препаратами. Крім того, в останні десятиріччя відбулись суттєві зміни клімату, що в комплексі з трансформацією в агроценозах, призвело до значного переформатування фітопатогенних та ентомологічних комплексів зернових культур [1].

Вдосконалюючись з плином часу, спосіб передпосівної обробки насіння хімічними препаратами став обов'язковим і перетворився на цілу галузь в рослинництві, без якої одержання високої ефективності рослинництва в умовах інтенсивних індустріальних технологій вирощування програмованих високо кондиційних врожаїв неможливо. Повна підготовка насіння до сівби включає ряд операцій, головними з яких є очищення, калібрування, протруювання, термічна обробка тощо. В результаті досліджень визначено і запропоновано інноваційну складову та ефективність виконання робочого процесу протруювання насіння сільськогосподарських культур.

Аналіз останніх досліджень

Основою поширення протруювання насіння сільськогосподарських культур є не лише його висока рентабельність, але й суттєве розширення асортименту препаратів для протруювання насіння (протруйників) як за хімічними властивостями, так і за препаративними формами - здійснився перехід від застосування пилоподібних препаратів до рідких. Значно підвищилася фітотоксичність хімічних препаратів і в той же час зменшилася їх токсичність для теплокровних і корисних комах, застосування їх стало більш безпечним для обслуговуючого персоналу і навколишнього середовища. Технології приготування і застосування рідких хімічних препаратів дозволяють одночасно наносити на насіння різні їх типи: клеючі речовини, макро- і мікро-елементи, стимулятори росту, біопрепарати тощо,

завдяки чому ще більшою мірою підвищується ефективність і надійність цього прогресивного методу.

На сьогодні для обробки насіння сільськогосподарських культур в Україні дозволено застосовувати більш ніж 70 фунгіцидних протруйників, 20 інсектицидних, 40 регуляторів росту, 15 комплексних мінеральних добрив та ін.

Для обробки насіння використовують як однокомпонентні, так і багатокомпонентні препарати, до складу яких входять дві-три діючі речовини з різними механізмами дії (контактним, системним).

Виготовляються ці препарати в таких препаративних формах: змочувані порошки (з.п.), концентровані суспензії (к.с.), текучі концентрати суспензій (т.к.с.), водні суспензії (в.с.), водно-суспензійний концентрат (в.с.к.), концентрат емульсій (к.е.), масляно-водна емульсія (м.в.), водний розчин (в.р.). Норма витрати цих препаратів порівнянь невелика і складає для зернових і зернобобових культур 1...3 кг/т, а для технічних (ріпак, соняшник) – від 4 до 6 кг/т. Інсектицидні протруйники виготовляють у формі змочуваних порошків (з.п.), концентратів суспензій (к.с.), текучих паст (т.п.с.) і рідких концентратів емульсії (к.е.).

Норми витрати цих протруйників більші і становлять для препаратів на основі діючої речовини імідаклоприду (з групи хлорнікотинілів), наприклад, для протруювання насіння кукурудзи і соняшника – 8-10 кг/т, а цукрових буряків – 45 кг/т.

Дія цього препарату спрямована на блокування передачі нервового імпульсу в організмі комах – шкідників і, причому, виключає виникнення у них резистентності. Інсектицид Круїзер на основі діючої речовини тіаметоксама застосовують зі значно меншими нормами витрати – на насінні пшениці, льону-довгунця – 0,5 кг/т, ріпак, сорго - до 4 кг/т, кукурудзи – 6-9 кг/т, соняшника – 10 кг/т тощо.

Регулятори росту рослин виготовляють у вигляді водних розчинів, суспензій і концентратів емульсій. Норми та витрати коливаються в межах 5-15 мл/т (агростимулін і аналоги), або 8-15 л/т (Вермистим і аналоги). Комплексні розчини мінеральних макро і мікродобрив використовуються для обробки насіння зернових культур в кількості 6-10 л/т, цукрових буряків – 4-10 л/т. Водні розчини цих добрив, а також гуманних стимуляторів росту з клейкими добавками можна використовувати замість води для приготування робочих рідин протруйників насіння. Сьогодні на ринку немає дефіциту ефективних інсектицидних протруйників насіння, регуляторів росту, комплексних мінеральних макро- і мікродобрив, важливо лише уникнули придбання фальсифікованих препаратів.

При цьому слід пам’ятати, що високий кінцевий результат залежатиме не лише від правильного вибору комплексу хімічних препаратів, але й в значній мірі від якості їх нанесення на насіння, а отже, від досконалості технічних засобів, технології і організації робіт з протруювання насіння.

Тому перш за все організаційними заходами необхідно забезпечити умови високоякісної підготовки (повнота обробки насіння препаратом не менше 95%, нерівномірність обробки насіння препаратом не більше 5-10%, травмування насіння протруювачем – 0% (відсутнє)) посівного матеріалу, а саме:

- використання насіннєвого матеріалу з високими сортовими і посівними якостями (сортова чистота не нижче 98,5%, схожість – 95%, оптимальна вологість - 14-16%, мінімум сторонніх домішок);
- очистка насіннєвого матеріалу від різних домішок (пилу, колосові лусочки, остюки, дрібні і биті насінини);
- вибір і підготовка до роботи протруювача насіння;
- організація робочого місця (забезпечення умов для роботи транспортних засобів, забезпечення можливості дотримання правил техніки безпеки роботи з отрутохімікатами і особистої гігієни, медогляд і інструктаж операторів);
- постійний контроль за якістю виконання технологічного процесу протруювання. При цьому потрібно мати на увазі: засміченість посівного матеріалу, маючи велику загальну поверхню, призводить до нераціональної витрати протруйника. Так, наприклад, засміченість насіння в межах 4-5 % призводить до втрати 20-25 % препарату;
- якість обробки насіння залежить від кількості рідини і загальної поверхні насіння, тому витрати води на 1т насіння повинна бути тим більшою (в рекомендованих межах), чим менша маса тисячі насінини даної культури;
- при інших рівних умовах продуктивність та якість обробки насіння робочими рідинами протруйників і травмування насіння робочими органами протруювача, а врешті – якість посівного матеріалу залежать від досконалості робочого процесу нанесення препаратів на насіння протруювачем.

Більшість препаратів для протруювання мають водну основу і в процесі обробки насіння потребує досушування.

Тому вибору типу і марки протруювача для протруювання насіння кожної окремо взятої культури приділяють особливу увагу.

Такий підхід до вирішення цього питання стає все більш актуальним на сучасному стані розвитку технологій і машин для протруювання насіння сільськогосподарських культур, коли на ринку в Україні пропонують досить широкий спектр різноманітних машин.

Здавалося б це свідчить про наявність хороших можливостей вибору потрібної техніки сільськогосподарськими виробниками, якби не обмежені технологічні можливості і низька універсальність щодо обробки насіння різних культур окремих протруювачів, що пропонується на ринку їх виробниками.

Мета досліджень

Мета дослідження полягає у пошуці синтеза механічного та електрофізичного методів обробки насіння сільськогосподарських культур для підвищення якості його передпосівної обробки.

Результати досліджень

Основним методом боротьби з грибковими та бактеріальними інфекціями насіння сільськогосподарських культур на першому місті залишається хімічне протруювання. Необхідність використання отрутохімікатів для обробки насіння обумовлена тим, що без них фітопатогенні інфекції призводять до погіршення посівних якостей, гальмуванню росту, розвитку рослин та зниженню врожаю [2]. В умовах глобалізації сільського господарства на рослинництво очікує нова біда – базальний бактеріоз, який вимагає відповідного протруювання насіння, яке було отримано в іноземних фірмах. Також деградація активного гумусу багатьох ґрунтів призвела до того, що будь-яка інфекція, внесена з імпортним насінням, не пригнічуються власними ослабленими мікробними аборигенними колоніями [3]. Понад 60% видів фітопатогенів передаються через насіння. Посів зараженим насінням призводить до передачі хвороб на вегетуючі рослини і тим самим створює та підтримує розвиток інфекції у полі [4]. “За даними ВОЗ, зараженість мікотоксинами зернових культур сягає 25% від усієї сировини, яка закладається на зберігання” [2].

Зараження насіннєвого матеріалу патогенною мікрофлорою відбувається в різний час: як в період вегетації; так і при збиранні врожаю (особливо в умовах підвищеної вологості), також під час обмолоту або при післязбиральній доробці і в період зберігання внаслідок порушення режимів доробки, також при закладці на зберігання недосушеного насіння з підвищеною вологістю [4].

Питаннями удосконалення технологічного процесу передпосівного обробітку займались такі фахівці, як Балянг Цю, Борисова Судденко В. В., С. М., Войтюк Д. Г., Герасимчук Ю. В., Ратушний В. В., Кирпа М. Я., Кравчук В. І., Ковбаса В. П., Тимошенко С.П., Маслов Г. Г. та інші в напрямку обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів, також зниження енергоємності процесу та металоємності устаткування, покращення якісних показників процесу та ін.). Науковим обґрунтуванням та впровадженням електротехнологій у процеси передпосівного обробітку насіння зернових в сучасних умовах займались: Черенков О. Д., Іноземцев Г. Б., Сидорук Ю. К., Косуліна Н. Г., Савченко В. В., Лисиченко М. Л., та інші, які акцентували увагу на перспективності синтезу методів електротехнологій з іншими способами підвищення врожайності на етапі підготовки насіннєвого матеріалу. Питаннями використання робочих розчинів у вигляді аерозолю та використання електротехнологій у сільському господарстві займались: Лекомцев П. Л., Волков С. І., Глотов Є. О., Бородін І. Ф. та інші у рослинництві закритого та відкритого ґрунту, знезараження приміщень та складів. Для передпосівного обробітку насіння зростає актуальність двох проблем - це вибір схем використання засобів хімічного захисту рослин та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи електро-технологічного комплексу обробки.

Якісна очистка насіння і правильний вибір ефективного протруйника хоч і є необхідними передумовами, але не гарантують високоякісної обробки насіння препаратом, а отже і досягнення повного знезараження його. Вирішальним на цьому етапі є правильне приготування робочої рідини і встановлення норми витрати її на 1 т насіння. Хороша якість обробки насіння зернових культур досягається робочою рідиною, яка містить 1-3 л (кг) протруйника на кожні 7-10 л води. Якщо ж рекомендована норма витрати протруйника більша, а в робочу рідину додають ще й мікро- чи макро-добрива, норма витрати води може бути відповідно збільшена. У випадку ж застосування комплексних водних розчинів мінеральних мікро- і макро-добрив у хелатній формі вони можуть використовуватись замість води.

Результати аналізу технологічних і технічних рішень щодо машин для нанесення рідких отрутохімікатів на насіння сільськогосподарських культур та теоретичних досліджень передумов реалізації процесу протруювання свідчать [1], що деякого підвищення рівномірності обробки насіння рідкими препаратами було досягнуто за рахунок змін в конструкціях сучасних протруювачів, спрямованих на збільшення зони взаємодії потоків насіння і краплин робочої рідини та шпаруватості потоку насіння з метою забезпечення кращого проникнення краплин розпиленої рідини в потік насіння, а також попереднього збільшення вільної поверхні компонентів з природним досушенням. Протруювачі інерційно-фрикційного типу призначені для обробки насіння рідкими не розпиленими препаратами в технологічних лініях насіннєобробних заводів, пунктів протруювання насіння в насіннєвих господарствах, а також в різних господарствах – виробниках товарного зерна за технологіями напівсухого протруювання, інкрустації, дезінсекції, консервації та ін., в тому числі із застосуванням інноваційних технологій, сучасних препаратів і комплексів добрив і мікроелементів в нано- та хелатній формі.

Інтенсивне і необґрунтоване застосування хімічних засобів захисту рослин призводить до забруднення навколишнього середовища, зміни видового різноманіття флори і фауни, ускладнення технології вирощування культур, зниження технологічності всього сільськогосподарського виробництва. Принципово іншим механізмом знезараження володіють електрофізичні методи. Наприклад опромінення електромагнітними хвилями надвисокої частоти призводить до деяких внутрішніх змін на рівні кліткових структур, яке носить не тільки тепловий характер і має суттєвий вплив на життєдіяльність біоорганізмів [2]. Електрофізичні методи обробки насіння – альтернатива передпосівної обробки насіння за допомогою хімічних препаратів. Досліди показують, що фізичний спосіб контролю насіннєвої інфекції також ефективний, як і хімічний спосіб. Це перш за все справедливо лише по відношенню до твердої головні на пшениці та жита. Однак він є недостатньо дієвим щодо контролю пильної головні та ґрунтових інфекцій [5]. В даний час все більш широко поширюються технології

використання ультрафіолетового опромінення та озону для вирішення різноманітних проблем.

Ультрафіолетове опромінення насіння (УФ, фотостимуляція) відноситься до «зелених технологій» і забезпечує активацію біологічних параметрів оброблюваного матеріалу. Всім відомо, що озон має знезаражувальний ефект, який здатний частково замінити широко застосовуване протруювання посівного матеріалу, так як є екологічно безпечною речовиною і не має шкідливого впливу на насіння і рослини.

В основу ультрафіолетового опромінювання насіння покладено відомий ще нашим предкам метод передпосівної фотостимуляції під дією сонячного випромінювання. Тільки замість сонячного застосовується штучне УФ випромінювання. Ультрафіолетове опромінення – це невидиме оком людини електромагнітне випромінювання, яке займає спектральну область між видимим і рентгенівським випромінюваннями. Важливими для розуміння принципів дії ультрафіолету є два параметри — це довжина хвилі (в нм) та інтенсивність випромінювання, які пов'язані з дозою випромінювання.

Ультрафіолетове світло існує в широкому діапазоні від 200 до 400 нм. В залежності від довжини хвилі спектр ультрафіолету поділяється на три діапазони — UVA, UVB и UVC. Найбільша бактерицидна дія властива тільки діапазону UVC, з піком на 260–265 нм. Принцип бактерицидної дії УФ світла пов'язаний з тим, що фотони УФ руйнують зв'язки в нуклеїнових молекулах, ДНК або РНК та мікроорганізмів. Крім того, значною мірою УФ опромінення спричиняє фотохімічні реакції в білках мікробів. Найбільш чутливою мішенню для бактерицидного УФ опромінення є ДНК бактерій, далі йде ДНК ДНК-вмісних вірусів, а потім РНК РНК-вмісних вірусів та ДНК грибів.

Ультрафіолетове опромінення насіння в протруювачах крім підсушування обробленого насіння, забезпечує активацію прихованих біологічних резервів рослин, а це в свою чергу, позитивно позначається на їх схожості та інтенсивності проростання.

Найбільш доступним та широко застосованим в Україні в якості джерела ультрафіолету використовують ртутні лампи низького тиску. 85% випромінювання таких ламп припадає саме на довжину хвилі 254 нм, що пояснює їх бактерицидну дію. Сучасні бактерицидні ультрафіолетові лампи можуть бути такі, що не утворюють озон, тобто без озонові та такі, що утворюють озон, тобто озонові. Озон під час роботи таких бактерицидних УФ-ламп утворюється за рахунок наявності «додаткового» випромінювання на довжині хвилі 185 нм. Під дією цього випромінювання з кисню, який міститься в повітрі, утворюється озон. Отримання озону можливо декількома способами, серед яких найбільш поширеними є електролітичний, фотохімічний, а в сільському господарстві електросинтез в плазмі газового розряду [7, 8, 9, 10]. Існує також багато інших типів джерел бактерицидного ультрафіолету: ртутні лампи як низького так і високого тиску, імпульсні ксенонові лампи і ексимерні лампи та LED-лампи. Озон виробляється з атмосферного повітря на місці його застосування.

Озон серед традиційно застосовуваних окислювачів займає особливе місце завдяки високій реакційної здатності і швидкому розкладанню. За своєю реакційної здатності озон посідає друге місце, поступаючись лише фтору, і значно перевершує інші широко застосовувані окислювачі. При його використанні не залишається побічних продуктів, які б забруднювали окислювальні речовини. Ефективність використання озону для боротьби з деякими шкідниками вказана в таблиці 1 [19].

Таблиця 1. Ефективність використання озону для боротьби з деякими шкідниками.

Table 1. The effectiveness of the use of ozone to control some pests.

Шкідники	Чисельність живих жучків через місяць, шт		Ефективність знищення, %
	До озонування	Після озонування	
Рисовий довгоносик	3000	114	96,2
Зерновий точильник	632	11	98,2
Булавусий хрущак	145	0	100

Дослідженнями [8] установлено, що зі збільшенням вологості насіння концентрація озону знижується, оскільки частина газу витрачається на взаємодію з молекулами води (рис. 1). Озон інтенсифікує швидкість сушіння насіння за рахунок безпосереднього хімічного і біохімічного впливу на сільськогосподарський матеріал, покращує транспорт вологи з внутрішніх шарів і тепломасообмін в процесі сушіння в цілому.

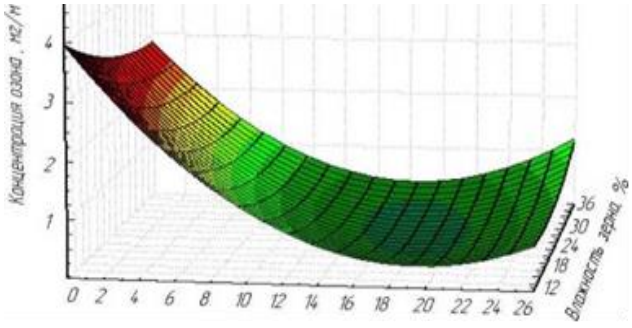


Рис. 1. Залежність концентрації озону в озоноповітряній суміші в зерновій кукурудзі від часу розкладання газу та вологості зерна.

Fig. 1. Deposits of ozone concentration in ozone-generating sums in grain corn per hour of distribution of gas and content of grain.

Бактерицидний механізм дії озона як окиснювача полягає в руйнуванні бактерій шляхом інактивації

бактеріальних протеїнів, тобто дифузією через мембрану клітини в цитоплазму з ураженням життєвих центрів. Залежно від дози і часу дії озону, пошкоджуються різні клітинні органели і ядерний апарат [12].

Озон окисляє оболонки мікробних клітин, ускладнюючи або припиняючи зовнішній обмін речовин, і високим редокс-потенціалом робить іншим електричний заряд мікробної оболонки, що порушує її проникність в біологічні об'єкти. Ці порушення часто мають незворотній характер і є причиною загибелі клітин.

Короткострокове перебування насіння в озоно - повітряному середовищі призводить до посилення окислювальних процесів, які припиняються протягом декількох днів зберігання насіння в звичайних умовах.

Обробка насіння ультрафіолетовим випромінюванням призводить до збільшення схожості на 6-10%. За рахунок обробки відбувається підвищення проникності клітинних мембран, поліпшення функції обміну речовин між клітиною і навколишнім середовищем, активізація гідролітичних і окислювально-відновних процесів.

Це забезпечує в період набухання насіння більш швидкий доступ води і поживних речовин до зародка, посилює дихання і ростові процеси. Цикл обробки складає близько 10 с. Цей спосіб характеризує мала глибина проникнення хвилі [6, 11].

Для підтвердження ефективності розробленої технології в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України на замовлення ТОВ НВП «Зерно і Семена України» була проведена незалежна експертна оцінка ефективності методу фото стимуляції насіння найбільш поширених на території України сільськогосподарських культур.

Для проведення польових випробувань були вибрані насіння соняшнику, цукрових буряків, насіння кукурудзи, насіння ячменю, озимої пшениці та сої.

Після проведених випробувань було встановлено, що у рослин соняшнику, вирощених з обробленого насіння, спостерігалося:

- збільшення схожості на 15,7 ... 16%;
- зменшення поширення сірої і білої гнилі в 2,37 ... 2,53 рази, фомоза в 1,79 ... 1,88;
- врожайність гібридів соняшнику збільшилася на 11 ... 12,6%;
- маса насіння збільшилася відповідно на 4,03% і 4,73% і склала 72,2 і 73,1 г замість 69,4 і 69,8 г.

Аналогічні результати були досягнуті при обробці насіння буряка, ячменю, сої, озимої пшениці, кукурудзи [13, 14, 15].

Обробка насіння перед посівом фізичними впливами дозволяє стимулювати фізіолого-біохімічні процеси в насінні, підвищує енергію проростання, лабораторну та польову схожість, сприяє формуванню дружніх сходів, збільшення врожайності і підвищенню його якості.

В модифікованому протруювачі (рис. 2) інерційно-фрикційного типу ПНУ-10 [16, 17, 18], в якому поєднується дозування, розподілення і обробку насіння рідкими пестицидами одним робочим органом 3, а для додаткової обробки з підсушуванням встановлюється нова модифікована камера протруювання 4 з ультрафіолетовим електро випромінювачем 7, встановленим на центральній консолі.

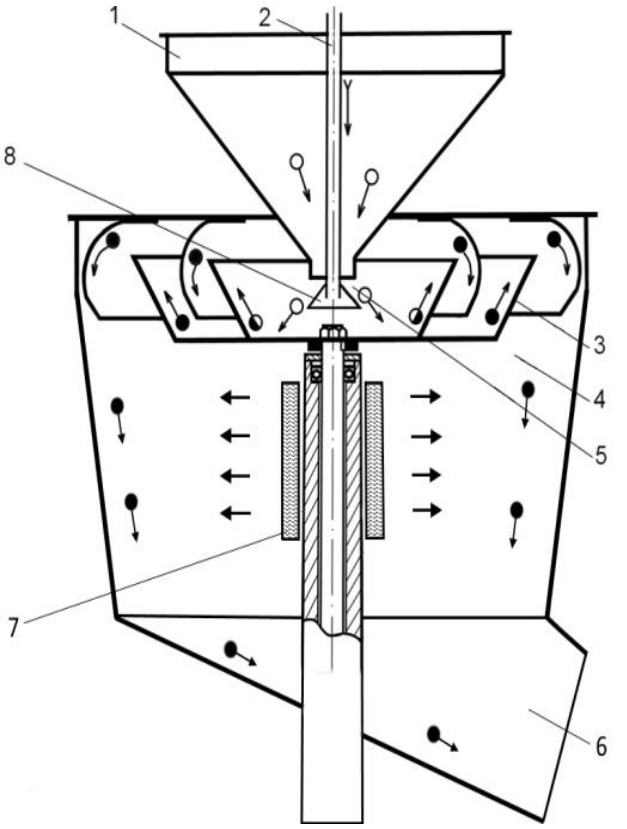


Рис. 2. Робочий процес модифікованого протруювача інерційно-фрикційного типу ПНУ-10: 1 - бункер; 2 - трубка подачі робочої рідини; 3 - чашоподібний змішувач; 4 - камера протруювання; 5 - дозатор насіння; 6 - вивантажувальна горловина; 7 - ультрафіолетовий електро випромінювач; 8 - конічний розподільник.

Fig. 2. Working process of the modified disinfectant of inertial-frictional type PNU-10: 1 - bunker; 2 - working fluid supply tube; 3 - cup-shaped mixer; 4 - treatment chamber; 5 - seed dispenser; 6 - unloading neck; 7 - ultraviolet electric emitter; 8 - conical distributor.

В процесі протруювання насіння після змішувача переміщується до вивантажувальної горловини, при цьому проходить через зону опромінення ультрафіолетом, де відбувається підсушування та стимулююча обробка. Також в камері протруювання під дією ультрафіолету утворюється озон, який додатково дезінфікує насіння.

Висновки

1. До основних переваг метода передпосівної стимуляції насіння за допомогою комбінованої обробки з озоном та ультрафіолетовим опроміненням відносяться:

- низька собівартість додаткового знезараження і стимуляція насіння;

- зростання енергії схожості проростання насіння, яке потрапило під вплив фото стимуляції ультрафіолетовим випромінюванням, і як правило, знизилися втрати врожаю за недостатньої вологи ґрунту в період посіву.

- суттєве збільшення врожаю, що позбавляє з оптимальними затратами отримати максимальний прибуток;

- розроблена технологічна установка на базі промислового протруювача дозволяє обробляти насіння з твердою оболонкою послідовно рідкими препаратами, потім в ультрафіолетовому полі з озоном, підсушуючи та знезаражуючи насіння і стимулюючи ростові процеси;

- перехід продукції в розряд зелених технологій й органічного землеробства у випадку обробки тільки біологічними препаратами, що впливає на збільшення експортного потенціалу вирощування продукції, зумовлене відмовою від використання токсичних хімічних препаратів.

Список літератури

1. *Кнечунас Сергій*. Комплексне застосування протруйників – надійний захист озимих зернових. Зерно. 2016. №7 (124). С. 166-167.

2. *Пахомов А. И*. Есть альтернатива химическому протравливанию? Хранение и переработка зерна. 2016. № 1. С.48-50.

3. *Харченко А. Г*. «Химеры» микромира угрожают продовольственной безопасности страны. [Электронный ресурс].http://www.bioinvest.com.ua.

4. *Сергій Кнечунас*. Авіцена – вдалий старт на шляху до якісного та високого врожаю. Агроном. 2016. №3. С. 82-84.

5. *Фридрих Мерц*. Обработка посевного материала – беспроигрышные инвестиции. Агроном. 2015. № 3. С. 40-42.

6. *Башилов А. М., Беляков М. В*. Оптико-электронная активация семян излучением светодиодов. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2011. №1. С. 7-9.

7. *Бородин И. Ф., Нормов Д. А*. Электроозонные технологии в сельском хозяйстве. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2009. № 1. С. 85-86.

8. *Баскаков И. В*. Совершенствование технологии послеуборочной обработки и хранения зернового материала. Автореферат дис. д.с.х.н. Воронеж. 2019. 40 с.

9. *Долговых О. Г., Огнев В. Н*. Экологически безопасная предпосевная обработка семян яровой пшеницы. Инженерный вестник Дона. 2014. Т. 31. № 4. С. 7.

10. *Нормов Д. А*. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве: автореф. дис. д. т. н.: 05.20.02. Краснодар. 2009. 36 с.

11. *Пономарева Н. Е*. Исследование влияния ультрафиолетового излучения на посевные качества семян томатов сорта «Розовый новичок». Вестник АПК Ставрополья. 2016. № 1 (21). С. 29-32.

12. *Новіков Г. В*. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи електротехнологічного комплексу аерозольної обробки насіння зернових. Дисертація к.т.н. Мелітополь. 2016. 185 с.

13. Ультрафиолетовое облучение семян – современный подход к увеличению урожайности. [Електронний ресурс]. Режим доступу http://agrosvit.in.ua/agronews/ultrafioletovoe-obluchenie-semyan-sovremennyj-podhod-k-uvelicheniyu-urozhajnosti.

14. *Ерохин А. И., Цуканова З. Р*. Физические методы предпосевной обработки семян и эффективность их. Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. Т. 11. № 3. С. 84-88.

15. *Одилбеков К. М., Акназаров О. А*. Влияние предпосевной обработки семян УФ-лучами разной длины волны на ростовые процессы, уровень гормонов и продуктивность растений . Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2007. Т. 50. N 2. С. 165-170.

16. *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.

17. *Вечера О. М*. Покращення продуктивності бункера протруювача насіння. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 4. P. 95-99. http://dx.doi.org/ 10.31548/ machenergy2020.04.095.

18. *Тримбач С. П., Вечера О. М*. Сучасний стан та перспективи розвитку машин для протруювання насіння с.-г. культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2011. Вип. 41. С. 406-413.

19. Обеззараживание зерна озоном [Електронний ресурс]. Режим доступу http://ukrengineer.com/pdf/zerno_disinfection.pdf.

References

1. *Knechunas Sergey*. (2016). Comprehensive use of pesticides – reliable protection of winter cereals. Grain. 7(124). 166-167.

2. *Pakhomov A. I*. (2016). Is there an alternative to chemical pickling? Grain storage and processing. V(1). 48-50.

3. *Kharchenko A. G*. (2021). The "chimeras" of the microworld threaten the country's food security. [Electronic resource]. http: //www.bioinvest.com.ua.

4. *Serhiy Knechunas*. (2016). Avicenna - a good start on the way to a high quality and high harvest. Agronomist. 3. 82-84.

5. *Friedrich Merz*. (2015). Seed treatment - a win-win investment. Agronomist. 3. 40-42.

6. *Bashilov A. M., Belyakov M. V*. (2011). Optoelectronic activation of seeds by LED radiation. Bulletin of FGOU VPO MGAU. 1. 7-9.

7. *Borodin I. F., Norms D. A*. (2009). Electro-ozone technologies in agriculture. Bulletin of Russian agricultural science. 1. 85-86.

8. *Baskakov I. V*. (2019). Improving the technology of post-harvest processing and storage of grain material. Abstract dis. D.Sc.G. Voronezh. 40.

9. *Dolgovih O. G., Ohnev B. H*. (2014). Ecologically safe pre-sowing treatment of spring wheat seeds. Don Engineering Bulletin. 31(4). 7.

10. *Normov D. A*. (2009). Electrozone technologies in seed production and beekeeping. Autoref. dis. D. T. N.: 05.20.02. Krasnodar. 36.

11. *Ponomareva N. E*. (2016). Investigation of the influence of ultraviolet radiation on the sowing qualities of tomato seeds of the variety "Pink novice"[et al.]. Bulletin of the Stavropol agro-industrial complex. 1(21). 29-32.

12. *Komar E. G*. (1975). Fundamentals of accelerator technology. Atomizdat. 368.

13. Ultraviolet irradiation of seeds - a modern approach to increasing yields. [Electronic resource]. Access mode http://agrosvit.in.ua/agronews/ultrafioletovoe-obluchenie-semyan-sovremennyj-podhod-k-uvelicheniyu-urozhajnosti.

14. *Erokhin A. I., Tsukanova Z. R*. (2014). Physical methods of pre-sowing seed treatment and their efficiency. Legumes and cereals. 11(3). 84-88.

15. *Odilbekov K. M., Aknazarov O. A*. (2007). Influence of pre-sowing treatment of seeds with UV rays of different wavelengths on growth processes, hormone levels and plant productivity. Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. 50(2). 165-170.

16. *Tymoshenko S. P., Vechera O. M., Tymoshenko S. I*. The method of seed treatment with liquid preparations. Patent. № 96498 A01C 1/08, 2006/01, p.10 / 11/2011, bul. №21.

17. *Vechera O. M*. (2020). Improving the performance of the seed treatment hopper Engineering and energy. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(4). 95-99. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.04.095.

18. *Trimbach S. P., Vechera O. M*. (2011). The current state and prospects of development of machines for seed treatment of agricultural cultures. Design, manufacture and operation of agricultural machinery. 41. 406-413.

19. Disinfection of grain with ozone [Electronic resource]. Access mode http://ukrengineer.com /pdf/zerno_disinfection.pdf.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОТРАВЛИВАНИЯ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

О. Н. Вечера, В. В. Куянов

Аннотация. В статье приведены результаты исследований процесса протравливания семян сельскохозяйственных культур с целью выявления причин несовершенства рабочего процесса при использовании жидких препаратов и предложено повышение качества с помощью комбинированной обработки семян.

Сущность разработанной модификации протравливателя семян заключается в комбинированной обработке его – после обработки жидкими пестицидами одним рабочим органом добавляется обработка ультрафиолетом и озоном для подсушивания, дезинфекции и стимулирования семян внутри протравливающей камеры за один проход.

В конце статьи приведена схема рабочего процесса протравителя и выводы и перспективы его использования.

Ключевые слова: протравитель, семена, ультрафиолет, озон, стимуляція.

IMPROVING THE QUALITY OF AGRICULTURAL SEED TREATMENT WITH THE COMBINATION OF COMBINED TREATMENT

O. M. Vechera, V. V. Kuianov

Abstract. The article presents the results of research on the process of seed treatment of agricultural crops in order to identify the causes of imperfections in the work process when using liquid preparations and proposes quality improvement through combined seed treatment.

The essence of the developed modification of the seed treatment is its combined treatment - after treatment with liquid pesticides by one working body, treatment with ultraviolet and ozone is added for drying, disinfection and stimulation of seeds inside the treatment chamber in one pass.

The final part of the article presents a diagram of the working process of the disinfectant and the conclusions and prospects for its use.

Key words: treater, seeds, ultraviolet, ozone, stimulation.

О. М. Вечера ORCID 0000-0002-8828-7119.

В. В. Куянов ORCID 0000-0003-1808-0101.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 117-128*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.117

УДК 631

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ АГРОКУЛЬТУР

В. М. Зубко

Сумський національний аграрний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: zubkovladislav@ukr.net.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року. Бібл. 14, рис. 20, табл. 1.

Анотація. Сучасне аграрне виробництво націлене на отримання максимальної врожайності при вирощуванні продукції рослинництва. Генетика створює сорти та гібриди, які максимально реалізують свій біологічний потенціал у відповідності до умов вирощування. Однак актуальною задачею є забезпечення технології, а саме потреб рослин у відповідних фазах росту і розвитку у найкоротші строки.

Нинішні розробки, у тому числі і для агровиробництва, заполонили ринок цифрових технологій та засобів механізації. Для ефективного агроінжинірингу потрібна модернова база комплексних прикладних досліджень ефективності використання новітніх розробок у сучасних виробничих умовах. Слід зауважити, що кожна розробка буде показувати різну ефективність, а саме різні показники якості у різних виробничих умовах.

Ефективність проведення польових досліджень використання безпілотного летального апарату (БПЛА) XAG XPlanet на чотири вентилятора проводилось в Сумському регіоні на дослідних полях Сумського національного аграрного університету. Унікальність досліджень полягала у тому, що була розроблена методика з залученням фахівців агроінжинірингового і агрономічного напрямів та фахівців у галузі фізики для визначення ступеня покриття листа робочим розчином саме при його «задавленні» лопатями БПЛА; використана методика діджиталізації маркерів за допомогою визначення кольору робочого розчина з урахуванням зміни його яскравості в залежності від проміжку часу від нанесення до дослідження; відсікання темних відблисків при проведенні сканування маркерів.

Дослідження проводились при різній висоті польоту: 3, 4 та 5 м над рівнем рослини та з урахуванням різної швидкості польоту: 6, 8 та 10 м/с. відповідні дані були обумовлені різної висотою рослин, рельєфу та конфігурації поля, розташуванням дротів електричних мереж.

Розроблена методика та проведені польові дослідження дали змогу зробити реальні рекомендації для сучасних агровиробників на предмет ефективності використання БПЛА для внесення робочих розчинів та вибору ефективних режимів роботи.

Ключові слова: якість обприскування, безпілотний літальні апарати (БПЛА; UAV), робоча швидкість, висота над агрокультурою.

Постановка проблеми

Збереження врожаю агрокультур є головним завданням виробників продукції рослинництва впродовж усього періоду їх вирощування – від обробітку грунту до збирання. Одним із заходів збереження урожаю агро культур та його якості є проведення десикації посівів на заключному етапі їхнього вирощування. Завдяки такому заходу рослини підсушуються, що сприяє ефективнішому збиранню їхнього врожаю, позитивно впливає на зменшення забур'янення посівів, знижує перезволоження рослин за вологої погоди.

В останні кілька десятиліть внесення пестицидів в основному здійснювалося двома способами: наземним і повітряним [1]. Ефективність обприскування значною мірою залежить від якісного внесення препарату. Витрата робочого розчину має бути достатньою для повного змочування всієї поверхні культурних рослин. Щоб уникнути стікання препарату з обробленої поверхні, обприскування має бути дрібнокрапельним із нормою витрати робочого розчину за наземного застосування 250-400, за авіаційного внесення – 50-70 л/га та при використанні БПЛА – 4-5л/га. Зниження якості внесення засобів захисту рослин, а саме знесення крапель має вплив на навколишнє середовище, що може пошкодити чутливі рослини, вплинути на популяцію природних ворогів шкідників, зменшити популяції запилювачів, викликають забруднення навколишнього середовища, і загрожувати здоров'ю людей і тварин [2, 3, 4, 5, 6].

Обприскування – найпоширеніший спосіб нанесення на поверхню, що обробляється, пестициду у вигляді розчинів, емульсій та суспензій. Перевага його полягає в тому, що при малих витратах діючої речовини на одиницю площі можна забезпечити рівномірний розподіл рідини і покриття поверхні; при

додаванні до складу робочої рідини прилипачів забезпечується надійне утримання препарату на поверхні, що обробляється, а при додаванні синергістів – одержання синергічного ефекту.

Можна застосовувати суміші пестицидів одного або різного призначення. Ефективність обприскування певною мірою залежить від метеорологічних умов.

Таким чином, досліджуючи проведення внесення засобів захисту рослин безпілотними літальними апаратами, в якості головних факторів мають виступати якість обробітку, ефективність, забезпечення основних функцій даної операції, дотримання агротехнічних вимог.

На основі моделей CHARM (Comprehensive Hierarchical Aeromechanics Rotorcraft Model) і AGDISP та обмежених польових і аеродинамічних досліджень, розмір крапель, [7, 8] швидкість вітру [9], швидкість польоту та висота випуску [10] визнані найважливішими факторами, що впливають на якість проведення обприскування.

Аналіз останніх досліджень

Щоб збирати високі й стабільні врожаї сільськогосподарських культур, потрібна сучасна ефективна техніка, яка б забезпечила вчасне і якісне виконання всіх операцій технологічного процесу виробництва сільськогосподарської продукції. Важливо при цьому мати найменші експлуатаційні витрати на використання техніки під час хімічного захисту посівів.

Науково обґрунтоване визначення складу комплексів машин і структури машинного парку в цілому, а також визначення методів їх ефективного використання є основним елементом діяльності працівників інженерно-технічної, агрономічної та економічної служб підприємств агропромислового комплексу України.

Кількість хімічних доглядів, їх якість і періодичність виконання залежать від властивостей та ефективності дії самих препаратів, кваліфікації працівників, природно-кліматичних чинників і досконалості засобів механізації для внесення пестицидів.

Одне з головних завдань, що стоїть перед спеціалістами агропромислового комплексу, полягає у визначенні для кожного господарства або машинно-технологічної станції такої мінімальної, але достатньої кількості машин і агрегатів для хімізації, яка забезпечить високу якість роботи та найдешевше їх використання в різних умовах експлуатації [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Обприскування використовується у багатьох технологіях вирощування сільськогосподарських культур, це захист від шкідників та хвороб, підживлення та боротьба з бур'янами.

Обприскувачі першими входять на поле та працюють до самої осені.

У системі застосування хімічних засобів захисту рослин вирішальне значення має не лише кількість робочого розчину, а й перш за все якість внесення, екологічність і економічність, ефективність самого процесу застосування пестицидів.

Якість внесення робочої рідини визначається нормою витрати препарату, розміром краплин та густотою покриття ними оброблюваної поверхні й залежить не тільки від подібного функціонування робочого обладнання обприскувача правильного налагоджування цих машин та експлуатації. За останні 50 років підхід до внесення засобів захисту рослин (ЗЗР) на полі кардинально не змінився. Головними інструментами залишаються причіпні, самохідні та невеликі навісні обприскувачі. Мала авіація також застосовується. Проте її частка на ринку поступово зменшується. Натомість з'являються перші робочі проекти ультрамалооб'ємного внесення ЗЗР за допомогою БПЛА [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Сама операція внесення засобів захисту рослин нескладна. Це обробка рослин або ґрунту робочим розчином пестицидів. Проте неякісне внесення приводить до зниження врожайності, росту собівартості та загибелі посівів. Головна причина поганого внесення засобів захисту рослин – людський фактор. Особливо при роботі старими неавтоматизованими обприскувачами [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Якість внесення пестицидів залежить, в основному, від норми витрати робочої рідини, дисперсності розпилення, рівномірності обробки та ступеня осідання препарату на об'єкт обробки. Основними факторами впливу норми витрати робочої рідини на біологічну ефективність застосування пестицидів є утримання препарату на рослинах та ступінь покриття їхньої поверхні. Визначено критичну межу утримання рослинами рідини на обробленій поверхні, збільшення витрати розчину, цю межу спричинює різке зниження ефективності використання пестицидів. Ця межа різна для окремих рослин, відповідних фаз їхнього розвитку і має відносно невелике значення. Для більшості зернових та просапних культур, критична норма витрати робочої рідини для оптимального утримання краплин на рослинах становить 350-400 л/га. З другого боку, норма витрати робочої рідини має бути достатньою для забезпечення потрібної густоти покриття рослин краплинами. Сама ж густота покриття залежить від норми витрати робочої рідини, дисперсності розпилення та ступеня осідання краплин. Своєю чергою, дисперсність розпилення впливає на осідання краплин на об'єкт обробки, ступінь покриття препаратом рослинної поверхні, утримання препарату на ній, проникнення в тканину (листкова абсорбція) та на токсичність його для шкідливих організмів. Тому якісне розпилення робочої рідини краплинами оптимального розміру є основний фактор, що забезпечує ефективність обробки [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Мета досліджень

Метою проведення експериментальних досліджень при використанні безпілотного літаючого

апарату для обприскування посівів є отримання показників якості внесення робочого розчину на поверхню рослини при різних робочих режимах внесення та диференційованій висоті польоту.

Результати досліджень

Методика проведення дослідів оцінки ефективності покриття рослини

Для початку проведення дослідження ми вибрали відповідні погодні обставини, наша температура повітря була 14°С, та вологість 51%, а швидкість вітру була 3м/с, цьому є підтвердження, які були взяті з показників мобільного пристрою (рис. 1).

Рис. 1. Метеорологічні показники для проведення дослідів.

Fig. 1. Meteorological indicators for experiments.

Щоб почати роботу БПЛА для проведення дослідів, потрібно зробити контур поля, для того, щоб БПЛА зміг побудувати собі маршрути для обприскування.

Для цього нам потрібно включити мобільний пристрій, який є модулем управління БПЛА (рис. 2).

Рис. 2. Калібрування БПЛА мобільним пристроєм.

Fig. 2. Calibration of the UAV by a mobile device.

А потім зафіксувати RTK базу за допомогою триподу в одному місці (рис. 3).

Рис. 3. .RTK база та трипод.

Fig. 3. RTK base and tripod.

За для того, щоб ми не мали погрішності в точності обприскування весь контур поля необхідно пройти за допомоги роверу, який фіксує край поля. Після заміру контура поля, ми його зберігаємо у хмарі, щоб зробити завдання для БПЛА та налаштувати параметри поля. Підготувати робочу суміш, якою буде обприскуватися рослина, та провести калібровку кожної форсунки, для точного розпилювання та задати розмір краплі (200 микронів), якою буде здійснюватися обприскування в нашому дослідженні. (рис. 4).

Рис. 4. Приготування концентрату та підготовка БПЛА до вильоту.

Fig. 4. Preparation of concentrate and preparation of the UAV for departure.

Щоб побачити ефект нашого дослідження нами був приготований робочий розчин з фарбником червоного кольору та використано маркери, які ми розташовували на поверхні поля через кожні 35 см. Для цього ми застосували шість дерев'яних планок розміром (20х40 см) та довжиною 2 м кожна ,а також лакмусовий папір формату А5 в кількості 125 шт, фіксувати наш лакмусовий папір за допомогою будівельного степлера, щоб наші папірці не здуло, коли БПЛА буде пролітати над ними (рис. 5).

Рис. 5. Розташування маркерів на поверхні поля.

Fig. 5. Location of markers on the field surface.

Після виконання підготовчої роботи ми запускали наш БПЛА, і першим наш виліт був за такими параметрами (швидкість 10 м/с та висотою 5 м), і ми з кожним нашим наступним вилітом змінювали наші лакмусові папірці та параметри, за для точності дослідження, а також визначення середньої площі покриття маркера.

Технічна характеристика об'єкту досліджень – XAG XPlanet. XAG XPlanet – оптимальне рішення для сільського господарства. Завдяки великій потужності БПЛА має можливість переносити до 20 л корисного навантаження, підвищує ефективність та економить час. Участь пілота у процесі управління дуже мінімальна. А саме: складання польотного завдання, заміни акумуляторів та сумішей для БПЛА. Внесення та пілотування відбувається в автономному режимі, що унеможливлює неточне внесення та подвійне перекриття.

Точна та ефективна доставка засобів захисту рослин.

RTK позиціонування з високою точністю. Позиціонування БПЛА у просторі виконується за допомогою оптичної та RTK систем, що дозволить отримати ще більшу точність від 5 до 2 см.

Розпорошення роторного типу, швидкість обертання до 16000 об/хв, регульований розмір крапель 85-550 мкм.

Управління обприскуванням із змінною швидкістю. Автоматичний контроль норм внесення у час, який залежить від швидкості польоту.

Оснащений надійним всебічно спрямованим цифровим радаром, цей БПЛА ефективно уникає перешкод при польотах. Завдяки вдосконаленій системі обприскування він бездоганно виконує роботи із захисту рослин.

Розумний резервуар для рідини. Вимірювання обсягу в реальному часі. Завдяки незліченним дослідженням та експериментам, інтелектуальний резервуар для рідини на 20 л розроблений для створення ідеального балансу між мобільністю та вантажопідйомністю.

Дані характеристики про XAG XPlanet, наведені в таблиці.

Таблиця 1. Характеристики XAG XPlanet.

Table 1. XAG XPlanet characteristics.

Продуктивність при обприскуванні:	8-10 га/год.
Кількість форсунок:	4шт.
Ширина обробки при розсіві насіння та гранул:	2-5 метрів
Ширина обробки під час обприскування:	4-7 метрів
Ефективна висота обробки:	1,5-5 метрів
Швидкість польоту:	до 10 метрів за секунду
Тривалість польоту із навантаженням	10 хвилин
Управління через автопілот:	GPS, режим АВ
Вантажопідйомність, ємність бака:	20 кг/л (або 16 кг насіння, гранул)
Дальність керування польотом:	1000 м

Агротехнічні вимоги до машин для захисту рослин. Машини для захисту рослин мають відповідати вимогам санітарної гігієни, мати пристрої для промивання чистою водою в екстрених випадках, бути зручними в керуванні й безпечними в користуванні.

Під час передпосівної обробки насіння не повинно пошкоджуватися, а при термічному знезаражуванні- знижуватися його схожість. Покриття насіння пестицидами має бути рівномірним, відхилення

фактичної дози від заданої допускається не більше ніж ± 3 %.

Відповідно до зональних рекомендацій посіви потрібно обробляти у стислі агротехнічні терміни, а також дотримуватися вказівок служби хімічного захисту рослин.

Робоча рідина має бути однорідною, а відхилення концентрації від розрахункової не повинно перевищувати ± 5 %.

Обприскувачі, обпилювачі та аерозольні генератори мають забезпечувати задану дисперсність розпилу і рівномірний розподіл пестицидів на оброблюваній площі із заданою нормою. Допустима нерівномірність розподілу робочої рідини по ширині захвату не повинна перевищувати 30%, а по довжині гону – 25 %. Допустиме відхилення фактичної дози від заданої при обпиленні становить ±15 %, а при обприскуванні +15 і -20 %. Швидкість вітру при обприскуванні має бути не більше ніж 5 м/с, при обпиленні 3 м/с. Обприскування не рекомендується проводити за температури навколишнього повітря понад 23°С та за наявності висхідних потоків повітря. Забороняється здійснювати обприскування під час дощу. Якщо протягом доби після обприскування пройшов дощ, то роблять повторне обприскування. Не рекомендується обприскувати рослини в період цвітіння.

Обробляючи рослини термомеханічними аерозолями, слід застосовувати лише ті хімічні препарати, які не втрачають своєї токсичності за високої температури.

Для захисту рослин у системі точного землеробства застосовують мобільні машини, які повинні мати відповідні пристрої для зміни норми внесення на ходу.

Методика аналізу і обробки поверхні маркера. Для аналізу отриманих під час польового досліду результатів (рис. 6.) було використано програму ApFill. Варто зазначити, що параметром який використовувався при всіх досліджуваних варіантах і був незмінний – розмір краплини, який становив 200 мкм. Для кожного дослідного варіанту використовувались 12 листків паперу розміром А5, що закріплювались на 2 планках на відстані 35 см одна від одної. Задля отримання достовірних результатів по кожному з варіантів проводили статистичну обробку даних для отримання середнього результату.

Рис. 6. Інтерфейс програми ApFill.
Fig. 6. ApFill interface

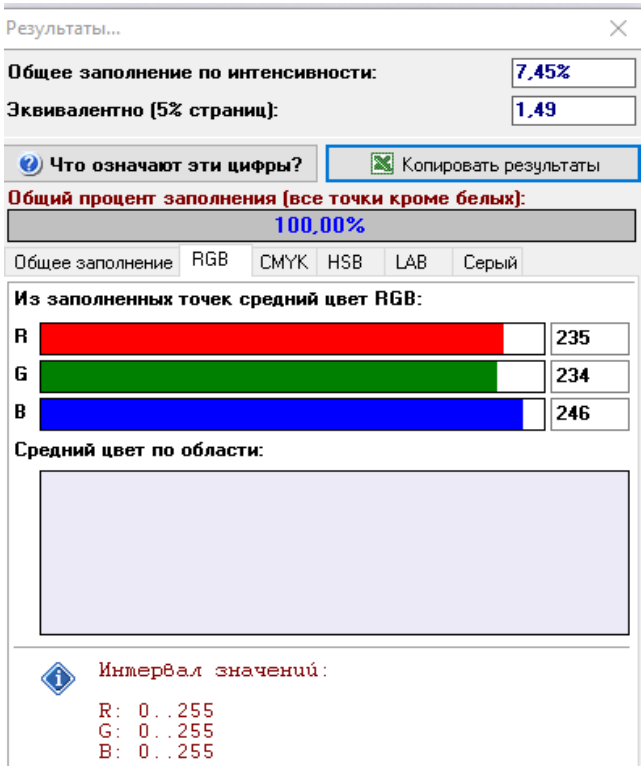


Рис. 7. Результати, що було отримані в результаті аналізу програмою ApFill.
Fig. 7. The results obtained from the analysis of the program ApFill.

Для проведення аналізу заповнення листка паперу краплинами було обрано функцію програми RGB and B/W Coverage ratio. Після чого по кожному листку з варіанту проводили аналіз (рис. 7) та записували до таблиць, що було створені у програмі MS Excel.

Методика проведення досліджень ефективності використання безпілотних летальних апаратів. Сучасні технології інформаційного середовища забезпечують умови здешевлення та спрощення отриманні результатів аналітичних досліджень результатів оцінювання роботи сучасних машинних агрегатів.

Швидкі результати дають можливість реагувати «на випередження».

При дослідження ефективності використання техніки основним є інструментарій, завдячуючи якому обґрунтовуються результати для подальшого аналізу і прийняття оптимальних рішень про машинні агрегати. Результати розрахунків отримані на основі проведення лабораторних досліджень, відповідають результатам польових хронометражних досліджень техніко-технологічних параметрів роботи машинних агрегаті в у реальних польових умовах. Використання комп'ютерної програми «Машинний агрегат» забезпечує отримання даних, які максимально наближені до реальних умов функціонування машинних агрегатів при виконанні механізованих технологічних операцій.

При виконанні механізованої технологічної операції внесення засобів захисту рослин за допомогою БПЛА істотний вплив на якість процесу мають умови роботи та робочі режими. Попередніми дослідженнями літературних джерел та, безпосередньо, власний практичний досвід,

наштовхнули на зміну швидкості та висоти проведення обприскування.

Порівняно з самохідними оприскувачами БПЛА, що проводить обприскування, працює з використанням лише робочого розчину, тому не потребує великої кількості води. Це супроводжується таким явищем як неповне покриття листкової поверхні робочим розчином, що не впиває на якість проведеної операції. Оскільки бак на БПЛА має обсяг 25 л і ступінь покриття листової маси має низький відсоток, якість приготування робочого розчину та рівномірність його внесення має велике значення. Порушення балансу одного з параметрів в кінцевому результаті приведе до зниження врожаю.

Результати проведення польових досліджень представлено на рис. 3.8–3.19. Проведеними дослідженнями була встановлена залежність якості внесення робочого розчину у залежності від робочої швидкості та висоти. Першим варіантом стало вивчення ступеня покриття площі листкової поверхні від швидкості БПЛА при висоти польоту 5 м (рис. 8). Швидкісний режим обмежувався техніко-технологічною характеристикою БПЛА.

З аналізу графіку 1 встановлено, що зі збільшенням робочої швидкості якість внесення робочого розчину знижується. Так, при зміні швидкості з 6 м/с до 8 м/с ступінь покриття знижується на 1,7%. При цьому при зміні швидкості з 8 м/с до 10 м/с покриття знижується на 8,6%.

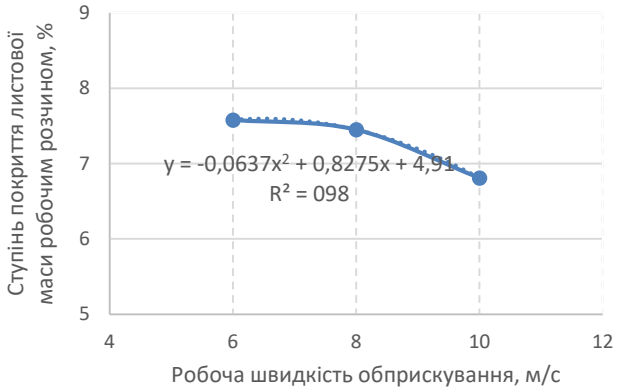


Рис. 8. Залежність покриття листової маси робочим розчином БПЛА від робочої швидкості на висоті 5 м.

Fig. 8. Dependence of leaf coating with working solution by UAV on working speed at a height of 5 m.

Встановлено, що залежність ступеню покриття листової маси робочим розчином від робочої швидкості обприскування при робочій висоті 5 м описується наступним рівнянням: $y = -0{,}0637x^2 + 0{,}8275x + 4{,}91$, при $R^2 = 0{,}98$.

Згідно методики визначення якості внесення робочого розчину було досліджено і рівномірність розподілення робочого розчину у відповідності з шириною захвату при висоті внесення 5 м та за визначених робочих швидкостей (рис. 9 – рис. 11).

Рівномірність розподілу робочого розчину по листовій масі – є одним з основних показників ефективності та конкурентоспроможності використання БПЛА при обприскуванні полів. Оскільки БПЛА – малообʼємні установки, для них якість внесення розчину і ступінь його доставки від форсунки до листа є критично важливими показниками.

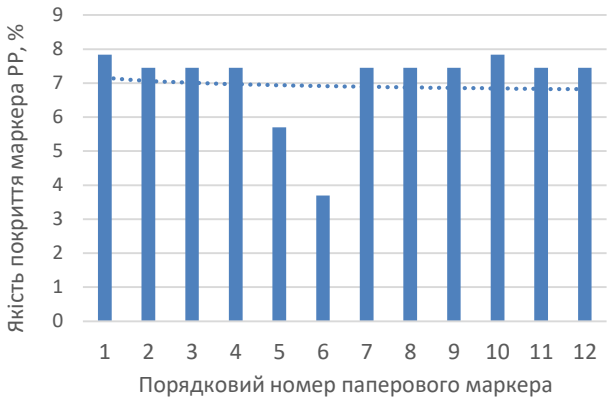


Рис. 9. Якість внесення робочого розчину при висоті 5 м, робочій швидкості 10 м/с та встановленому розміру краплі 200 мкм.

Fig. 9. Quality of application of working solution at height of 5 m, working speed of 10 m/s and the established size of a drop of 200 μm.

Рис. 10. Якість внесення робочого розчину при висоті 5 м, робочій швидкості 8 м/с та встановленому розміру краплі 200 мкм.

Fig. 10. Quality of application of working solution at height of 5 m, working speed of 8 m/s and the established size of a drop of 200 μm.

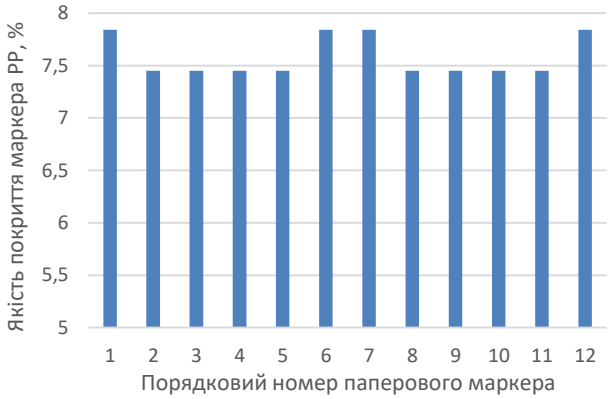


Рис. 11. Якість внесення робочого розчину при висоті 5 м, робочій швидкості 6 м/с та встановленому розміру краплі 200 мкм.

Fig. 11. Quality of application of working solution at height of 5 m, working speed of 6 m/s and the established size of a drop of 200 μm.

Аналізом рис. 10, рис. 11 встановлено, що при швидкості 10 м/с виникає додаткова сила вітру, що не компенсується розміром краплі і лопаті БПЛА не в змозі задути робочий розчин на лист від цього розподіл стає нерівномірним. При швидкості 8 м/с показник рівномірності розподілення є оптимальним, серед дослідних зразків. При зниженні швидкості до 6 і нижче м/с виникають додаткові вітрові потоки, які знижують якість розподілення розчину по поверхні листа.

Таким чином, з урахуванням продуктивності внесення робочого розчину, оптимальний швидкісний режим знаходиться у межах 7,5 - 8,5 м/с для висоти 5 м.

Другим варіантом дослідження було вивчення ступеня покриття листової поверхні за висоти роботи БПЛА 4 м і тих же швидкостей (рис. 10).

Аналізом рис. 3.5 встановлено, що при зміні швидкості з 6 м/с до 8 м/с ступінь покриття знижується на 0,2%. При цьому при зміні швидкості з 8 м/с до 10 м/с покриття знижується на 1,1%.

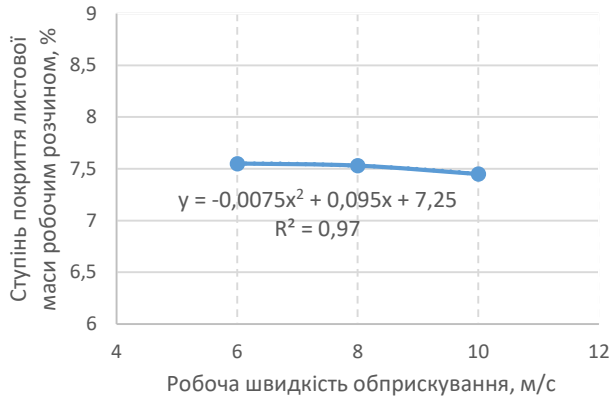


Рис. 10. Залежність покриття листової маси робочим розчином БПЛА від робочої швидкості на висоті 4 м.

Fig. 10. Dependence of leaf coating with working solution by UAV on working speed at a height of 4 m.

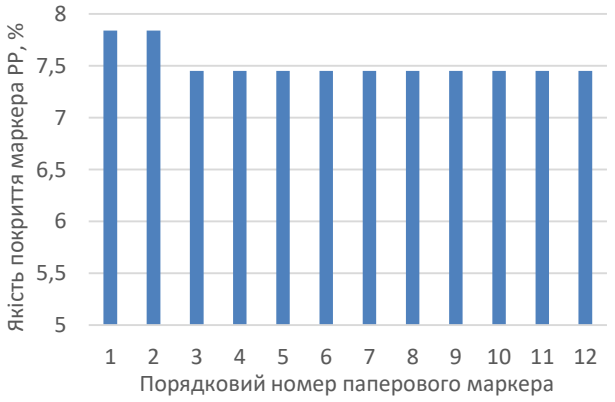


Рис. 11. Якість внесення робочого розчину при висоті 4 м, робочій швидкості 10 м/с та встановленому розміру краплі 200 мкм.

Fig. 11. Quality of application of working solution at height of 4 m, working speed of 10 m/s and the established size of a drop of 200 μm.

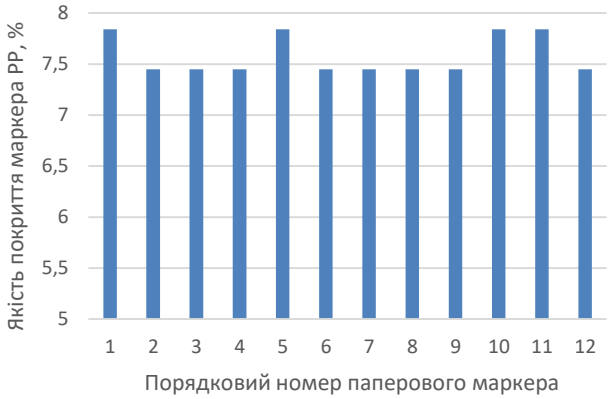


Рис. 12. Якість внесення робочого розчину при висоті 4 м, робочій швидкості 8 м/с та встановленому розміру краплі 200 мкм.

Fig. 12. Quality of application of working solution at height of 4 m, working speed of 8 m/s and the established size of a drop of 200 μm.

Встановлено, що залежність ступеню покриття листової маси робочим розчином від робочої швидкості обприскування при робочій висоті 4 м описується наступним рівнянням: $y = -0{,}0075x^2 + 0{,}095x + 7{,}25$, при $R^2 = 0{,}97$.

Відповідно, для більш детального вивчення також досліджувалась рівномірність розподілення робочого розчину у відповідності з шириною захвату при висоті внесення 4 м та за визначених робочих швидкостей (рис. 11 – рис. 13).

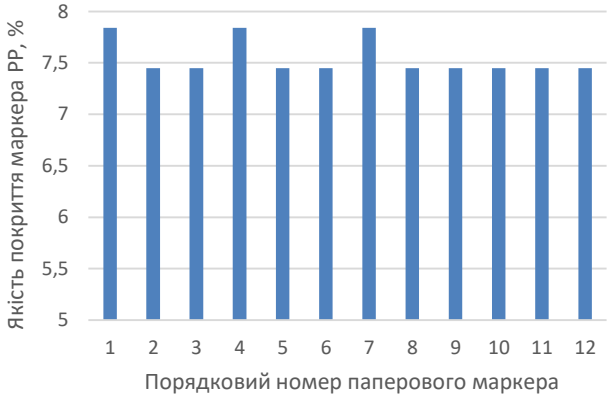


Рис. 13. Якість внесення робочого розчину при висоті 4 м, робочій швидкості 6 м/с та встановленому розміру краплі 200 мкм.

Fig. 13. Quality of application of working solution at height of 4 m, working speed of 6 m/s and the established size of a drop of 200 μm.

Аналізом рис. 11 – рис. 13 встановлено, що за роботи БПЛА на висоті 4 м за досліджуваних швидкостей досягається оптимальне розподілення робочого розчину по поверхні листа. При цьому відхилення від середнього значення по покриттю

листової маси лише перевищує середній показник на 3,8%.

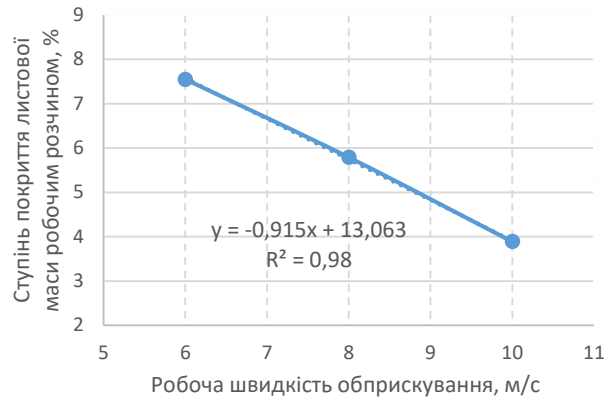


Рис. 14. Залежність покриття листової маси робочим розчином БПЛА від робочої швидкості на висоті 3 м.

Fig. 14. Dependence of leaf coating with working solution by UAV on working speed at a height of 3 m.

Таким чином, ступінь покриття листової маси позитивно корелює з досліджуваними робочими швидкостями та висотою роботи БПЛА 4 м. Найкращий показник покриття листової поверхні було відзначено за робочої швидкості 6 м/с, тоді як за швидкості 8 м/с показник покриття складав лише на 0,3% менше ніж у найкращого варіанта, а за швидкості 10 м/с – на 1,32 % менше.

Таким чином, за висоти роботи БПЛА 4 м різниця між швидкістю не має значного впливу на ступінь покриття листкової поверхні робочим розчином.

Наступним варіантом дослідження стало вивчення ступеня покриття листкової маси за робочої висоти 3 м та швидкостей 6 м/с, 8 м/с, 10 м/с (рис. 14).

Встановлено, що залежність ступеню покриття листової маси робочим розчином від робочої швидкості обприскування при робочій висоті 3 м описується наступним рівнянням: y = -0,915x + 13,063, при $R^2 = 0,98$.

Більш детальне відображення роботи БПЛА на робочій висоті 3 м відображено на рис. 15 – рис. 17.

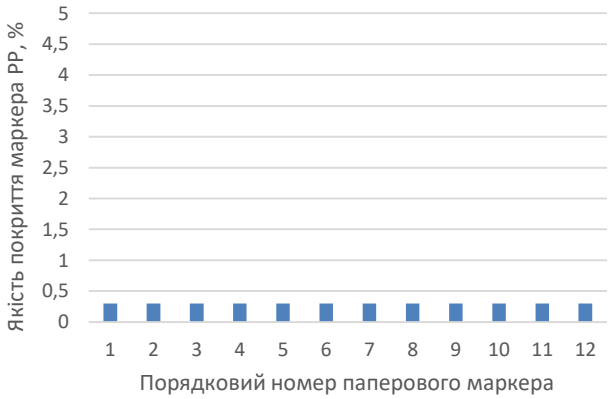


Рис. 15. Якість внесення робочого розчину при висоті 3 м, робочій швидкості 10 м/с та встановленому розміру краплі 200 мкм (найгірший варіант).

Fig. 15. Quality of application of working solution at height of 3 m, working speed of 10 m/s and the established size of a drop of 200 μm.

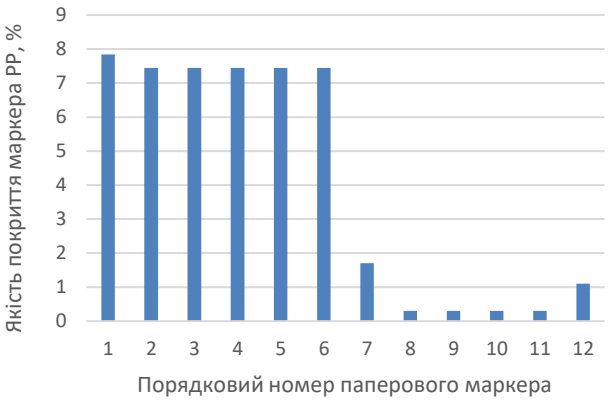


Рис. 16. Якість внесення робочого розчину при висоті 3 м, робочій швидкості 8 м/с та встановленому розміру краплі 200 мкм.

Fig. 16. Quality of application of working solution at height of 3 m, working speed of 8 m/s and the established size of a drop of 200 μm.

Аналізом рис. 15 – 18 встановлено, що низький ступінь покриття листа на графіку (рис. 17) при висоті 3 м та швидкості 10 м/с характерний для слабких поривів вітру, що є характерним для зони лісостепу України. Графік для швидкості 8 м/с у своїй правій частині показує, що пориви вітру можуть впливати навіть на невеличку полосу (у нашому випадку половину ширини захвату). Дані графіки вказують на те, що обприскування БПЛА слід проводити у безвітряну погоду на середніх швидкостях.

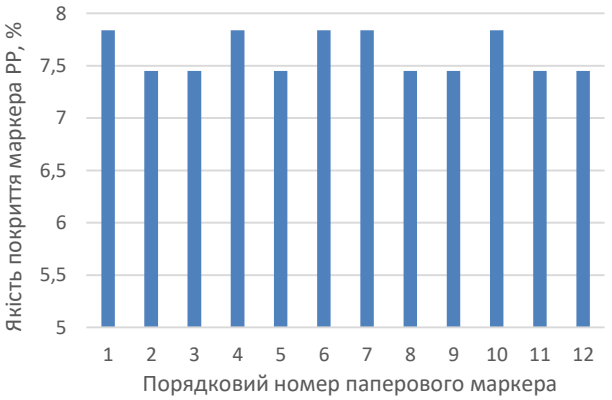


Рис. 17. Якість внесення робочого розчину при висоті 3 м, робочій швидкості 6 м/с та встановленому розміру краплі 200 мкм.

Fig. 17. Quality of application of working solution at height of 3 m, working speed of 6 m/s and the established size of a drop of 200 μm.

З загального графіку роботи БПЛА на висоті 3 м (рис. 17) чітко видно, що ступінь покриття рослин прямо пропорційно залежить від робочої швидкості БПЛА. Найкращий результат було зафіксовано за швидкості 6 м/с при цьому ступінь покриття листкової маси перевищив показник за швидкості 8 м/с на 23,3%. Тоді як покриття листкової поверхні за швидкості 10 м/с було меншим за всі варіанти і становило в

середньому по трьох повтореннях 3,89% покриття листкової поверхні, що порівняно з найкращим варіантом було меншим на 48,5%.

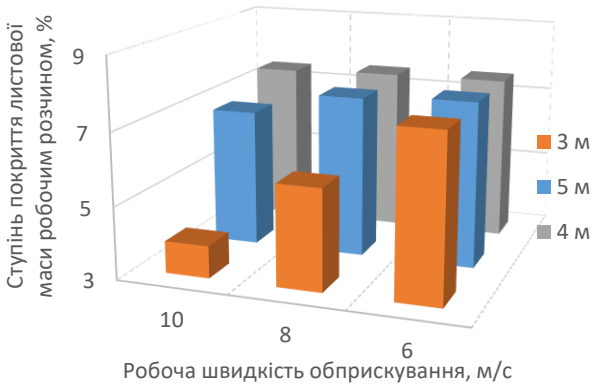


Рис. 18. Залежність покриття листової маси робочим розчином БПЛА від робочої швидкості за різних робочих швидкостей.

Fig. 18. Dependence of sheet mass coating with working solution by UAV on working speed at different working speeds.

Таким чином з урахуванням внесення робочого розчину, оптимальною швидкістю за обробки посіву хімікатами на висоті 3 м безперечно потрібно обирати швидкість не більшу ніж 6,5 м/с. Оскільки, покриття листової поверхні за більшої швидкості відчутно знижується.

Проведеними дослідженнями встановлено, що і швидкість польоту і висота мають суттєвий вплив на якість, при цьому слід зауважити, що існують конкретні залежності впливу робочих режимів на якість (рис. 18).

На рис. 18 наведено загальні показники залежності покриття листкової поверхні за різних висот і робочих швидкостей роботи БПЛА. З отриманих даних, можна зробити висновок, що найбільш стабільні показники були отримані за висоти роботи БПЛА 4 м. Тоді як під час роботи БПЛА на висоті 5 і 3 метри показники покриття листкової маси робочим розчином спадали відповідно збільшенню робочої швидкості. Так, найменшим середнім показником, що було отримано – 3,89% (рис. 14) покриття поверхні листа. Тоді як найбільший середній показник 7,55% .

Рис. 19. Ступінь заповнення площі поверхні досліджуваного листка з малою ступеню покриття.

Fig. 19. The degree of filling of the surface area of the studied leaf coating with a min degree of coverage.

Рис. 20. Ступінь заповнення площі поверхні досліджуваного листка з найбільшою ступеню покриття.

Fig. 20. The degree of filling of the surface area of the studied leaf coating with a max degree of coverage.

Отримані дані мають безпосередньо практичну важливість. По-перше, мета роботи була розглянути можливість збільшення продуктивності за рахунок підвищення робочої швидкості з 8 м/с до 10 м/с. По друге, при проведенні обприскування полів істотний вплив на ефективність проведення технологічної операції має висота. Показник висоти обприскування розглянуто у контексті рельєфу полів та вертикальних і горизонтальних перешкод.

Дослідженнями було встановлено, що для сучасних БПЛА з встановленим обладнанням оптимальний швидкісний режим знаходиться у межах 7,5-8,5 м/с. При цьому оптимальна висота обприскування знаходиться у межах 4,5-5 м.

Важливим показником нанесення робочої рідини БПЛА є не лише ступінь покриття листової поверхні, а й розмір краплини, яка потрапляє на листок. На рис. 19 –20 приведені результати досліджень зміни розміру краплі, яка потрапляє на листок у залежності від робочої швидкості та висоти.

Висновки

1. При виконанні механізованої технологічної операції внесення засобів захисту рослин за допомогою безпілотного летального апарату (БПЛА) істотний вплив на якість процесу мають умови роботи та робочі режими.

2. Проведеним дослідженням встановлено, що зі збільшенням робочої швидкості якість внесення робочого розчину знижується. Так, для висоти 5 м при зміні швидкості з 6 м/с до 8 м/с ступінь покриття знижується на 1,7%. При цьому при зміні швидкості з 8 м/с до 10 м/с покриття знижується на 8,6%.

Таким чином, з урахуванням продуктивності внесення робочого розчину, оптимальний швидкісний режим знаходиться у межах 7,5 – 8,5 м/с для висоти 5 м.

3. Ступінь покриття листової маси позитивно корелює з досліджуваними робочими швидкостями та висотою роботи БПЛА 4 м. Найкращий показник покриття листової поверхні було відзначено за робочої швидкості 6 м/с, тоді як за швидкості 8 м/с показник покриття складав лише на 0,3% менше ніж у найкращого варіанта, а за швидкості 10 м/с – на 1,32 % менше.

4. Доведено, що ступінь покриття рослин прямо пропорційно залежить від робочої швидкості БПЛА. Найкращий результат для висоти 3 м було зафіксовано за швидкості 6 м/с при цьому ступінь покриття листкової маси перевищив показник за швидкості 8 м/с на 23,3%. Тоді як покриття листкової поверхні за швидкості 10 м/с було меншим за всі варіанти і становило в середньому по трьох повтореннях 3,89% покриття листкової поверхні, що порівняно з найкращим варіантом було меншим на 48,5%.

Таким чином з урахуванням внесення робочого розчину, оптимальною швидкістю за обробки посіву хімікатами на висоті 3 м безперечно потрібно обирати швидкість не більшу ніж 6,5 м/с. Оскільки, покриття листової поверхні за більшої швидкості відчутно знижується.

5. Найбільш стабільні показники були отримані за висоти роботи БПЛА 4 м. Тоді як під час роботи БПЛА на висоті 5 і 3 метри показники покриття листкової маси робочим розчином спадали відповідно збільшенню робочої швидкості. Так, найменшим середнім показником, що було отримано – 3,89% покриття поверхні листа. Тоді як найбільший середній показник 7,55% .

6. Отримані дані мають безпосередньо практичну важливість. Дослідженнями було встановлено, що для сучасних БПЛА з встановленим обладнанням оптимальний швидкісний режим знаходиться у межах 7,5-8,5 м/с. При цьому оптимальна висота обприскування знаходиться у межах 4,5-5 м.

7. Важливим показником нанесення робочої рідини БПЛА є не лише ступінь покриття листової поверхні, а й розмір краплини, яка потрапляє на листок. Отримані результати досліджень зміни розміру краплі, яка потрапляє на листок у залежності від робочої швидкості та висоти, що забезпечить ефективність використання БПЛА для обприскування при зміні погодних умов.

Список літератури

1. *Faiçal B. S., Freitas H., Gomes P.H., Mano L.Y., Pessin G., Carvalho A. C. d., Krishnamachari B., Ueyama J.* An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments. Comput. Electron. Agric. 2017. Vol. 138. 210-223. doi: 10.1016/j.compag.2017.04.011.

2. *Torrent X., Gregorio E., Douzals J.P., Tinet C., Rosell-Polo J.R., Planas S.* Assessment of spray drift potential reduction for hollow-cone nozzles: part 1. Classification using indirect methods. Sci. Total Environ. 2019. №692. P. 1322-1333. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.121.

3. *Torrent X., Gregorio E., Rosell-Polo J.R., Arnó J., Peris M., van de Zande J.C., Planas S.* Determination of spray drift and buffer zones in 3D crops using the ISO standard and new LiDAR methodologies. Sci. Total Environ. 136666. 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136666.

4. *Langkamp-Wedde T., Rautmann D., von Hörsten D., Wegener J.K.* Comparison of the drift potential of two application methods for the control of oak processionary moths with biocidal products in an oak avenue. Sci. Total Environ. 2020. №704. 135313. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135313.

5. *Gregorio E., Torrent X., Planas S., Rosell-Polo J.R.* Assessment of spray drift potential reduction for hollow-cone nozzles: part 2. LiDAR technique. Sci. Total Environ. 2019. №687, P. 967-977. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.151.

6. *Brain R., Goodwin G., Abi-Akar F., Lee B., Rodgers C., Flatt B., Lynn A., Kruger G., Perkins D.* Winds of change, developing a non-target plant bioassay employing field-based pesticide drift exposure: a case study with atrazine. Sci. Total Environ. 2019. №678. P. 239-252. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.411.

7. *Balsari P., Gil E., Marucco P., Zande J.C.v.d., Nuyttens D., Herbst A., Gallart M.* Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench, effects of boom height and nozzle type. Biosyst. Eng. 2017. №154. P. 3-13. doi: 10.1016/j. biosystemseng.2016.10.015.

8. *Guler H., Zhu H., Ozkan H.E., Derksen R.C., Yu Y., Krause C.R.* Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. Trans. ASABE 2007. Vol. 50. P. 745-754. doi: 10.13031/2013.23129.

9. *Nuyttens B.D., Schampheleire M.D., Steurbaut W., Baetens K., Verboven P., Nicolaï B., Ramon H., Sonck B.* Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers, part 1, meteorological conditions. Asp. Appl. Biol. 77 (2).

10. *Teske M., Wachspress D.A., Thistle H.W.* Prediction of aerial spray release from UAVs. Trans. ASABE. 2018. №61. P. 909-918. doi: 10.13031/trans.12701.

11. *Rogovskii I. L.* Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137.

12. *Бєлєнков А., Шуберанський В.* Як підвищити ефективність внесення засобів захисту рослин? Smart Farming. 2021: веб-сайт URL: https://www.smartfarming.ua/yak-pidvyshchyty-efektyvnist-vnesennya-zasobiv-zakhystu-roslyn/ (Дата звернення 02.06.2021).

13. *Гусаренко М. П.* Підвищення ефективності та екологічності роботи обприскувача. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. 2019. Вип. 199. «Механізація сільськогосподарського виробництва». С. 187-191.

14. *Ратушний В., П'ятаченко В., Панасюк В.* Правильний обприскувач ефективний захист! Пропозиція. 2013: веб-сайт URL:

https://propozitsiya.com/ua/pravilniy-obpriskuvach-efektivniy-zahist (Дата звернення 02.06.2021).

References

1. *Faiçal B. S., Freitas H., Gomes P.H., Mano L.Y., Pessin G., Carvalho A. C. d., Krishnamachari B., Ueyama J.* (2017). An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments. Comput. Electron. Agric. 138. 210-223. doi: 10.1016/j.compag.2017.04.011.

2. *Torrent X., Gregorio E., Douzals J.P., Tinet C., Rosell-Polo J.R., Planas S.* (2019). Assessment of spray drift potential reduction for hollow-cone nozzles: part 1. Classification using indirect methods. Sci. Total Environ. 692. 1322-1333. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.121.

3. *Torrent X., Gregorio E., Rosell-Polo J.R., Arnó J., Peris M., van de Zande J.C., Planas S.* (2020). Determination of spray drift and buffer zones in 3D crops using the ISO standard and new LiDAR methodologies. Sci. Total Environ. 136666. doi: 10.1016/j.scitotenv. 2020.136666.

4. *Langkamp-Wedde T., Rautmann D., von Hörsten D., Wegener J. K.* (2020). Comparison of the drift potential of two application methods for the control of oak processionary moths with biocidal products in an oak avenue. Sci. Total Environ. 704. 135313. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135313.

5. *Gregorio E., Torrent X., Planas S., Rosell-Polo J.R.* (2019). Assessment of spray drift potential reduction for hollow-cone nozzles: part 2. LiDAR technique. Sci. Total Environ. 687. 967–977. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019. 06.151.

6. *Brain R., Goodwin G., Abi-Akar F., Lee B., Rodgers C., Flatt B., Lynn A., Kruger G., Perkins D.* (2019). Winds of change, developing a non-target plant bioassay employing field-based pesticide drift exposure: a case study with atrazine. Sci. Total Environ. 678. 239-252. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.411.

7. *Balsari P., Gil E., Marucco P., Zande J.C.v.d., Nuyttens D., Herbst A., Gallart M.* (2017). Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench, effects of boom height and nozzle type. Biosyst. Eng. 154. 3-13. doi: 10.1016/j. biosystemseng.2016.10.015.

8. *Guler H., Zhu H., Ozkan H. E., Derksen R. C., Yu Y., Krause C. R.* (2013). Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. Trans. ASABE 2007. 50. 745-754. doi: 10.13031/2013.23129.

9. *Nuyttens B. D., Schampheleire M. D., Steurbaut W., Baetens K., Verboven P., Nicolaï B., Ramon H., Sonck B.* (2021). Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers, part 1, meteorological conditions. Asp. Appl. Biol. 77 (2).

10. *Teske M., Wachspress D. A., Thistle H. W.* (2018). Prediction of aerial spray release from UAVs. Trans. ASABE. 61. 909-918. doi: 10.13031/trans.12701.

11. *Rogovskii I. L.* (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137.

12. *Belenkov A., Shuberansky V.* (2021). How to increase the effectiveness of plant protection products? Smart Farming. 2021: website URL: https://www.smartfarming.ua/yak-pidvyshchyty-efektyvnist-vnesennya-zasobiv-zakhystu-roslyn/ (accessed 02.06.2021).

13. *Gusarenko M. P.* (2019). Improving the efficiency and environmental friendliness of the sprayer. Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture. 199. Mechanization of agricultural production. 187-191.

14. *Ratushny V., Pyatachenko V., Panasyuk V.* (2013). The right sprayer - effective protection! Propozytsiia. website URL: https://propozitsiya.com/ua/pravilniy-obpriskuvach-efektivniy-zahist (Access date 02.06.2021).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАЛЬНЫХ АПАРАТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ АГРОКУЛЬТУР

В. Н. Зубко

Аннотация. Современное аграрное производство направлено на получение максимальной урожайности при выращивании продукции растениеводства. Генетика создает сорта и гибриды, максимально реализующие свой биологический потенциал в соответствии с условиями выращивания. Однако актуальной задачей является обеспечение технологии, а именно потребностей растений в соответствующих фазах роста и развития в кратчайшие сроки.

Нынешние разработки, в том числе и для агропроизводства, наводнили рынок цифровых технологий и средств механизации. Для эффективного агроинжиниринга требуется современная база комплексных прикладных исследований эффективности использования новейших разработок в современных производственных условиях. Следует заметить, что каждая разработка будет показывать разную эффективность, а именно разные показатели качества в разных производственных условиях.

Эффективность проведения полевых исследований с использованием беспилотного летального аппарата (БПЛА) XAG XPlanet на четыре вентилятора проводилось в Сумском регионе на исследовательских полях Сумского национального аграрного университета. Уникальность исследований заключалась в том, что разработана методика с привлечением специалистов агроинженирингового и агрономического направлений и специалистов в области физики для определения степени покрытия листа рабочим раствором именно при его «задавлении» лопастями БПЛА; использована методика диджитализации маркеров посредством определения цвета рабочего раствора с учетом изменения его яркости в зависимости от промежутка времени от нанесения до исследования; отсечение темных бликов при проведении сканирования маркеров.

Исследования проводились при разной высоте полета: 3, 4 и 5 м над уровнем растения и с учетом

разной скорости полета: 6, 8 и 10 м/с. Соответствующие данные были обусловлены разной высотой растений, рельефа и конфигурации поля, расположением проводов электрических сетей.

Разработанная методика и проведенные полевые исследования позволили подготовить реальные рекомендации для современных агропроизводителей в направлении эффективности использования БПЛА для внесения рабочих растворов и выбора эффективных режимов работы.

Ключевые слова: качество опрыскивания, беспилотные летательные аппараты (БПЛА; UAV), рабочая скорость, высота над агрокультурой.

EXPERIMENTAL EFFICIENCY STUDIES USE OF UNMANNED AIRCRAFT IN CULTIVATION OF AGRICULTURAL CULTURES

V. M. Zubko

Abstract. Modern agricultural production is aimed at obtaining the maximum yield when growing crop products. Genetics creates varieties and hybrids that maximize their biological potential in accordance with growing conditions. However, the urgent task is to provide technology, namely the needs of plants in the appropriate phases of growth and development in the shortest possible time.

Current developments, including those for agricultural production, have flooded the market for digital technologies and mechanization tools. Effective agroengineering requires a modern base of complex applied research on the effectiveness of using the latest developments in modern production conditions. It should be noted that each development will show different efficiency, namely different quality indicators in different production conditions.

The effectiveness of field research using an unmanned aerial vehicle (UAV) XAG XPlanet for four fans was carried out in the Sumy region on the research fields of the Sumy National Agrarian University. The uniqueness of the research was that a method was developed with the involvement of specialists in agroengineering and agronomic fields and specialists in the field of physics to determine the degree of coverage of a sheet with a working solution precisely when it is "crushed" by the UAV blades; the technique of digitalization of markers was used by determining the color of the working solution, taking into account the change in its brightness depending on the time interval from application to research; clipping dark highlights when scanning markers.

The studies were carried out at different flight heights: 3, 4 and 5 m above the plant level and taking into account different flight speeds: 6, 8 and 10 m s^{-1}. The corresponding data were due to different plant heights, relief and configuration of the field, the location of the wires of electrical networks.

The developed methodology and the conducted field studies made it possible to prepare real recommendations for modern agricultural producers in the direction of the efficiency of using UAV for introducing working solutions and choosing effective operating modes.

Key words: quality of spraying, unmanned aerial vehicles (UAV; UAV), operating speed, height above the crop.

В. М. Зубко ORCID 0000-0002-2426-2772.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 129-138
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.129

УДК 631.1.004

АНАЛІТИЧНІСТЬ КОМПЛЕКСНИХ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ВИРОБНИЦТВА ЗЕРНА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ІНТЕНСИФІКАЦІЄЮ ІНЖЕНЕРНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: rogovskii@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – червень 2021, акцептовано – листопад 2021, опубліковано – 17 грудня 2021 року.
Бібл. 27, рис. 7, табл. 0.

Анотація. В статті проведено аналіз аналітичності комплексних критеріїв оцінки виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах інтенсифікацією інженерного менеджменту. Ефективне використання зернозбиральних комбайнів і величина втрат зерна при комбайнуванні у сільськогосподарських виробників залежать від класичного набору організаційних, технічних, технологічних факторів і стану інженерно-технічної служби. З метою підвищення ефективності використання техніки доцільно використовувати операційну технологію збирання зернових колосових культур, яка включає карти і рисунки з таких питань: вибір технологій проведення роботи, агротехнічні вимоги, техніку безпеки, вибір і комплектування агрегатів, підготовку агрегатів до роботи, підготовку полів і загонів, організацію роботи агрегатів у загони, транспортні роботи, норми виробітку і витрату палива, контроль і оцінку якості роботи. Встановлено, що середня денна продуктивність комбайна протягом перших 3 років використання становила 14,6-16,1 га; сезонна – 302-314 га; намолот зерна – 59-161 т за день і 1280-1440 т – за сезон. Для отримання необхідної продуктивності і якості обмолоту необхідно постійно слідкувати за величиною зазору між барабаном і підбарабанням. Для підвищення продуктивності вивантаження зерна доцільно проводити під час руху без зупинки комбайна, оскільки при намолоті 60 т за день втрачається приблизно 1,6 год робочого часу. Виявлено, що існуюча система збирання урожаю не враховує динаміки дозрівання зерна і соломи та їх цільового призначення за схемою: вхід у процес (перша фаза), основна частина із вище середнього (друга фаза) і вихід з процесу (третя фаза), неефективна через низьку живучість система збирання в організаціях, регіонах і областях в першій і третій фазах. Аналіз числових показників свідчить, що при збиранні всіх культур темп процесу в першій фазі збільшується повільно, в другій – швидше, а на виході спадає до мінімального. У першій фазі середній темп для жита, ячменю, вівса і пшениці досягає відповідно 0,25; 0,21; 0,30 і 0,26 тривалості циклу. Тривалість збирання кожної культури з темпом вище середнього становить менше половини тривалості циклу, а з темпом нижче середнього – більше половини. Загальний висновок з наведених даних зводиться до того, що 26-33% врожаю в господарствах можна отримати при застосуванні ресурсозберігаючих технологій. Аналіз і синтез закономірності процесу збирання урожаю свідчить, що протягом одного дня максимальний темп досягав 18,2-34,9% всього обсягу, що перевищувало середній темп до 3,58 раза.

Ключові слова: методологія, коефіцієнт готовності, ефективність, сільськогосподарська машина.

Постановка проблеми

Виробництво зерна в Україні у сучасних умовах знаходиться на етапі зростання та збільшення валового збору [1]. Так, у 2012–2020 рр. він зріс з 40 до 60 млн тон зерна [2]. Поряд з цим необхідно відмітити, що показники успіху супроводжуються таким негативним явищем [3], як втрати вирощених урожаїв [4], які сягають 7–8 млн тонн [5], а це складає 16–18% від валового збору [6]. Домінуючою причиною таких значних втрат урожаю є постійна нестача зернозбиральних комбайнів [7], низька технічна готовність [8] і непідготовленість персоналу застосовувати сучасну техніку [9]. Відомо, що в агротерміни збирають лише 30 % посівів зернових культур [10], а тривалість збирального сезону перевищує їх в 3–5 разів [11].

Навантаження на один фізичний зернозбиральний комбайн складає 189 га, на технічно справний – приблизно 218 га або 770 т [12]. Понад 70 % комбайнів мають термін експлуатації до 30 років з ймовірним значенням коефіцієнта готовності 0,4–0,7, які намолочують 200–600 т [13]; втрати від біологічного осипання досягають мінімум 10 % від валового збору [14]. Причинами значних втрат вирощеного урожаю є високе фізичне навантаження на комбайн [15] і низька ефективність використання наявного парку за потужністю двигуна [16] та пропускною здатністю молотарки [17], агробіологічним станом хлібної маси

[18], втратами зерна за молотаркою [19]. В умовах реального виробництва потужність двигунів зернозбиральних комбайнів і пропускна здатність молотарки використовуються максимально до 57–63 % від номінального завантаження [20]. Безумовно, низьке завантаження є основною причиною низької продуктивності, затягування термінів жнив і значних втрат зерна від біологічного осипання та перевитрат палива [21]. Втрати вирощеного урожаю через осипання і низький відсоток збирання продовольчих класів зерна у встановлені агротерміни є причиною значних збитків (≈1 млрд $) вітчизняних аграріїв [22]. Ось чому тема дисертаційної роботи є актуальною, а сама робота має значну практичну цінність як для виробників зернозбиральний комбайн [23], так і для їх користувачів [24], а також у навчальному процесі при підготовці інженерних кадрів сільськогосподарського виробництва [25].

Аналіз останніх досліджень

Оптимізації структури комбайнового парку в залежності від умов прибирання та сукупності різних виробничих факторів присвятили свої роботи багато дослідників [4]. Ними розроблено досить велику кількість різних математичних моделей та комп'ютерних програм для розрахунку загальної кількості комбайнів для конкретних умов збирання (урожайності [11], самоосипаності [7], термінів збирання [26]). У деяких моделях враховувалася навіть загальна динаміка втрат зерна [27].

Однак стосовно великотоварного виробництва зерна вони вимагають коригування, що спричинено особливостями інтенсивної роботи комбайнового парку в таких господарствах [17]. Тому для розрахунку структури парку комбайнів конкретних господарств, а не всього регіону нами було запропоновано такі методичні положення:

- оцінювалася загальна ефективність комбайнового парку загалом за збиральний сезон, а чи не оскільки раніше було прийнято оцінювати роботу одного комбайна, та був узагальнювали його оцінку весь парк комбайнів [21]. Для великотоварного виробництва зерна з високим темпом збиральних робіт це неприйнятно, оскільки у збиранні можуть брати участь комбайни різного класу, з різним річним завантаженням та узагальнення роботи одного комбайна на весь парк дає помилковий результат [3];
- враховували не загальну динаміку втрат зерна від самоосипання, а конкретно щодо кожного сорту зернових з урахуванням динаміки врожайності зерна на залишковій площі після кожного дня збирання [19];
- валовий збір зерна в господарстві оцінювали не за середньою врожайністю наприкінці збирання, а як сукупність приватних валових зборів зерна за кожний календарний день збирання протягом усього збирального періоду, який залежить від темпів збирання та щодобових втрат зерна [8];
- введено нове поняття – коефіцієнт корисної дії комбайнового парку, причому двох типів [15].

Натуральний ККД – виражається ставленням фактичного валового збору зерна $W_ф$, зібраного парком за весь період збирання, до потенційного – W_o, розрахованого перед початком збирання у господарстві.

$$\eta_I = \frac{W_ф}{W_o} = \frac{\sum_I^{T_{зб}} S_i \cdot f \cdot y_0; T_{зб}}{S_0 \cdot y_0} \quad (1)$$

де S_0 – площа всього збирального масиву господарства під конкретною культурою та сортом;

y_0 – початкова врожайність зернових окремого виду та сорту (перед збиранням), т/га;

$f(y_0; T_{зб})$ – функція, що виражає динаміку втрат зерна від тривалості збирання на залишковій площі після кожного дня збирання S_i.

Формула (1) відображає реальну ситуацію в господарстві, коли в міру збирання зменшується збиральна площа, а врожайність визначається не на всій площі, а на залишковій після кожного дня збирання [10].

З формули (1) випливає: чим більший середньодобовий темп збирання (га/добу); (Т/добу), тим менший період збирання, тим вище намолот зерна та вищий ККД комбайнового парку [24].

Якщо комбайн працює на збиранні різних культур (кукурудзи, соняшника, трав на насіння), то відповідно $W_ф = \sum W_i$ а коефіцієнт ККД розраховується як середньозважене з урахуванням частки W_i в $W_ф$.

Альтернативні варіанти комбайнового парку з приблизно рівним ККД – η_1 запропоновано оцінити додатково техніко-економічними показниками [1].

Тому введено поняття – економічний ККД, який залежить від співвідношення собівартості зерна $Ц_{соб}$ (грн/т) та ринкової вартості зерна – $Ц_з$ (грн/т), та визначається з виразу:

$$\eta_2 = 1 - \frac{Ц_{соб}}{Ц_з} \quad (2)$$

Звідси виникають завдання щодо визначення функціонального зв'язку між головними факторами формування валового збору зерна та продуктивності комбайнів, їх кількості у парку, динаміки втрат, виявлення кількох альтернативних комбайнових парків та дати їм техніко-економічну оцінку, розрахувавши ККД другого роду [16]. Це дає можливість при будь-яких заданих значеннях S_0 і y_0 визначити оптимальну структуру комбайнового парку за кількістю комбайнів та їхньої продуктивності [7].

Мета досліджень

Мета досліджень – описати особливості аналітичних підходів до комплексних критеріїв оцінки виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах інтенсифікацією інженерного менеджменту.

Результати досліджень

Насправді загальний валовий збір зерна у господарстві за весь збиральний період зазвичай визначається сумарною кількістю зерна, привезеного з поля на зерноочисний струм. Можуть розрізняти збирання зерна до обробки або після обробки (комори збирання зерна). Середня врожайність зерна за сезон

визначається простим розподілом загальної кількості зібраного зерна на загальну збиральну площу.

Однак це досить примітивний і до того ж пасивний спосіб, який лише констатує кінцевий результат збирання врожаю та не розкриває потенційно можливий валовий збір, величину втрат урожаю та їхню причину. Без цього неможливо цілеспрямовано керувати збиральним процесом і через короткочасність прибирання своєчасно скоригувати технологічне та технічне забезпечення збиральних робіт.

У зв'язку з цим запропоновано більш оперативний метод прогнозування, розрахунку та управління валовим збором зерна за сезон на основі визначення добових темпів збирання, біологічних та механічних втрат зерна. Цей метод дозволяє виявити внутрішній механізм формування загального валового збору зерна як суму середньодобових зборів, які протягом періоду збору можуть бути різними залежно від темпів дозрівання культури, метеоумов, наявності та стану техніки, використання організаційно-технічних ресурсів тощо.

В реальних умовах роботи комбайнового парку господарства за будь-якого заданого об'єму роботи S_0 (за винятком посівів на 30...40 га) збирання триває кілька днів із поступовим зменшенням збирального масиву. В перший день збирання можна вважати, що врожайність зерна - y_0 і загальний намолот – W_o є максимальними. Якби вся площа була зібрана за один день (зміну), то максимальна врожайність буде у перший день жнив. Наступного дня, внаслідок самоосипання стиглого зерна, врожайність зерна на площі, що залишилася, буде вже меншою і т.д.

Таким чином, денний (добовий) темп збирання, тобто кількість убраних гектарів за цей час, визначає тривалість всього збирального періоду, а інтенсивність самоосипання зерна – біологічні втрати та загальний валовий збір зерна.

На рис. 1 представлений алгоритм формування валового збору зерна певної культури та сорту. Головна закономірність – у міру збирання прибрана площа збільшується, а залишкова врожайність та валовий збір зерна зменшуються.

Звідси загальний валовий збір зерна становить суму валових зборів зерна за кожен день збирання з урахуванням біологічних та механічних втрат.

$$W_{\text{ф}} = W_1 + W_2 + W_3 + \cdots W_n \quad (3)$$

Зіставляючи $W_{\text{ф}}$ і W_o можна розрахувати ККД комбайнового парку $\eta_{\text{к.п.}}$ (формула 1)

При розробці моделі формування загального валового збору зерна в аналітичному вигляді прийнято такі припущення та обмеження:

- продуктивність комбайна визначалася з урахуванням коефіцієнта використання експлуатаційного часу роботи комбайна протягом доби, тобто з урахуванням простоїв з технологічних, організаційних та технічних причин, що відповідає реальній ситуації (рис. 2);

- динаміка зниження врожайності зерна від самоосипання прийнята для кожної культури та сорту індивідуально за даними експериментальних досліджень;

- залишкова врожайність визначається після кожної доби роботи комбайнів на залишковій збиральній площі;

- темп самоосипання зерна у перший та останній день збирання (темп втрат) приймається виходячи із співвідношення часу роботи комбайнів у цей день та тривалості роботи протягом доби;

- механічні втрати зерна комбайнами приймаються нормативними, тобто не більше ніж 2% від обмолоченого зерна або за контрольними обмолотами;

- час роботи комбайнів протягом доби протягом усього терміну збирання прийнято однаковим (можливий виняток для останнього дня збирання).

Прийняті припущення та обмеження не порушують реальний процес роботи комбайнів, а деякі навіть підвищують точність оцінки результатів їх роботи, а загалом спрощують математичні викладки.

Потенційний валовий збір зерна перед початком збирання W_o визначали із рівняння:

$$W_o = S_0 \cdot y_0 \quad (4)$$

де S_0 – початкова площа збирального масиву, га;

y_0 – початкова врожайність зерна перед початком збирання, т/га.

Денне збирання визначали так:

$$t_y = N \cdot W_{\text{е.к.}} \cdot \text{T}_{\text{с}} \quad (5)$$

де N – кількість працюючих комбайнів, шт.;

$W_{\text{е.к.}}$ – експлуатаційна продуктивність комбайна, га/год;

$\text{T}_{\text{с}}$ – години роботи протягом доби, год/добу.

Таким чином, у перший день збирання буде прибрано врожай з площі

$$S_1 = N_k \cdot W_{\text{е.к.}} \cdot \text{T}_1 \quad (6)$$

Валовий збір зерна з цієї площі

$$W_1 = S_1 \cdot y_1 = S_1 \cdot \tfrac{T_1}{24} f_1 \cdot y_0; T_{\text{зб}} \cdot y_0 \quad (7)$$

Врожайність зерна y_1, наведена на рис. 1, з урахуванням втрат від самоосипання в день збирання визначається за такою формулою:

$$y_1 = S_1 \cdot \tfrac{T_1}{24} f_1 \cdot y_0; T_{\text{зб}} \cdot y_0$$

Залишкова збиральна площа після першого дня збирання:

$$S_{\Delta 1} = S_0 - S_1 \quad (8)$$

Залишкова врожайність на цій площі

$$y_{\Delta 1} = y_1 - y_0 f_2 \quad y_0; T_{\text{зб}} \quad (9)$$

Після другого дня прибирання відповідно:

$$S_2 = N \cdot W_{\text{е.к.}} \cdot \text{T}_2 \quad (10)$$

$$S_{\Delta 2} = S_0 - S_1 - S_2 \quad (11)$$

$$W_2 = S_2 \cdot y_2 = S_2 \cdot y_1 - y_0 f_2 \quad y_0; T_{\text{зб}} \quad (12)$$

Після третього дня збирання:

$$S_3 = N \cdot W_{\text{е.к.}} \cdot \text{T}_3 \quad (13)$$

$$S_{\Delta 3} = S_0 - S_1 - S_2 - S_3 \quad (14)$$

$$W_3 = S_3 \cdot y_3 = S_3 \cdot y_2 - y_0 f_3 \quad y_0; T_{\text{зб}} \quad (15)$$

Відповідно в останній день збирання

$$S_n = N_K \cdot W_{\text{е.к.}} \cdot \text{T}_n \quad (16)$$

$$W_n = S_n \cdot y_n = S_n \tfrac{T_n}{24} \cdot y_{n-1} - y_0 f_n \quad y_0; T_{\text{зб}} \quad (17)$$

Фактичний сумарний валовий збір зерна із загальної площі S_0 буде:

$$W_{\text{ср}} = S_1 \cdot y_1 + S_2 \cdot y_2 + S_3 \cdot y_3 + \cdots + S_{n-1} \cdot y_{n-1} + S_n \cdot y_n = \sum_1^n (S_i \cdot y_i) \quad (18)$$

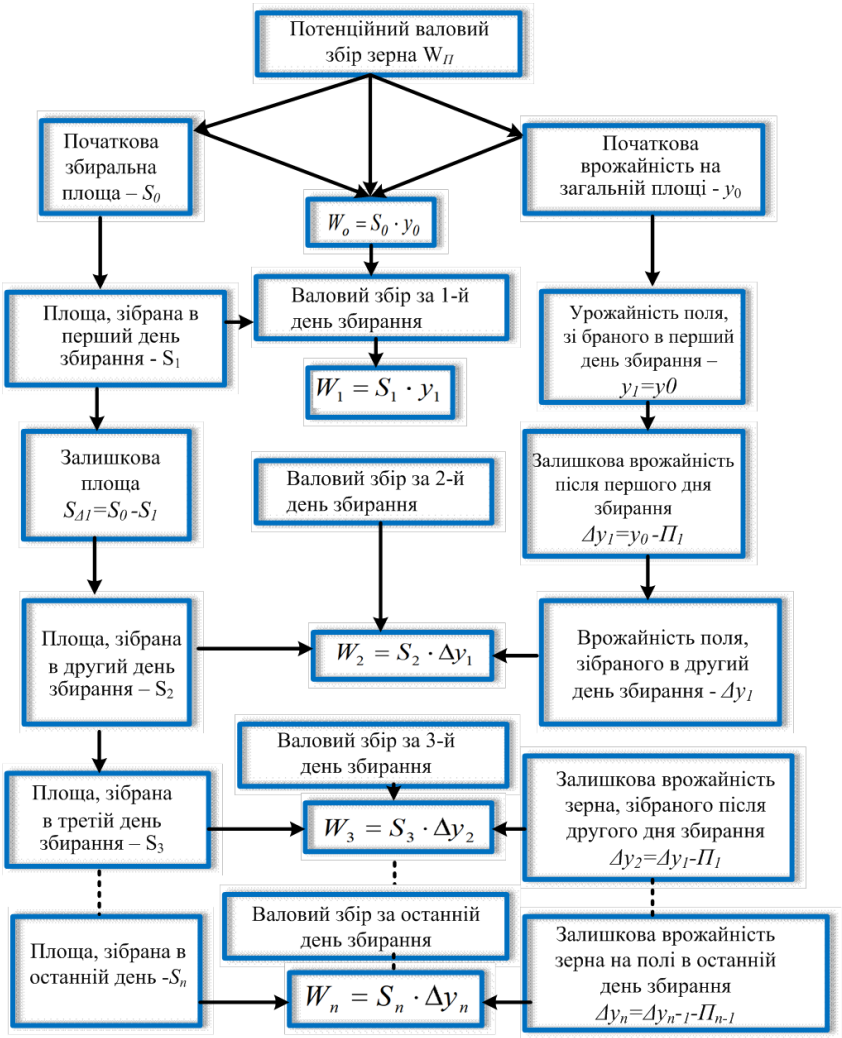


Рис. 1. Алгоритм формування валового збору зерна певної культури та сорту від першого до останнього дня збирання ($П_i$ – втрати зерна від самоосипання після кожного дня збирання т/га).

Fig. 1. Algorithm for the formation of gross grain harvest of a certain crop and variety from the first to the last day of harvest ($П_i$ – grain loss from self-shedding after each day of harvest t/ha).

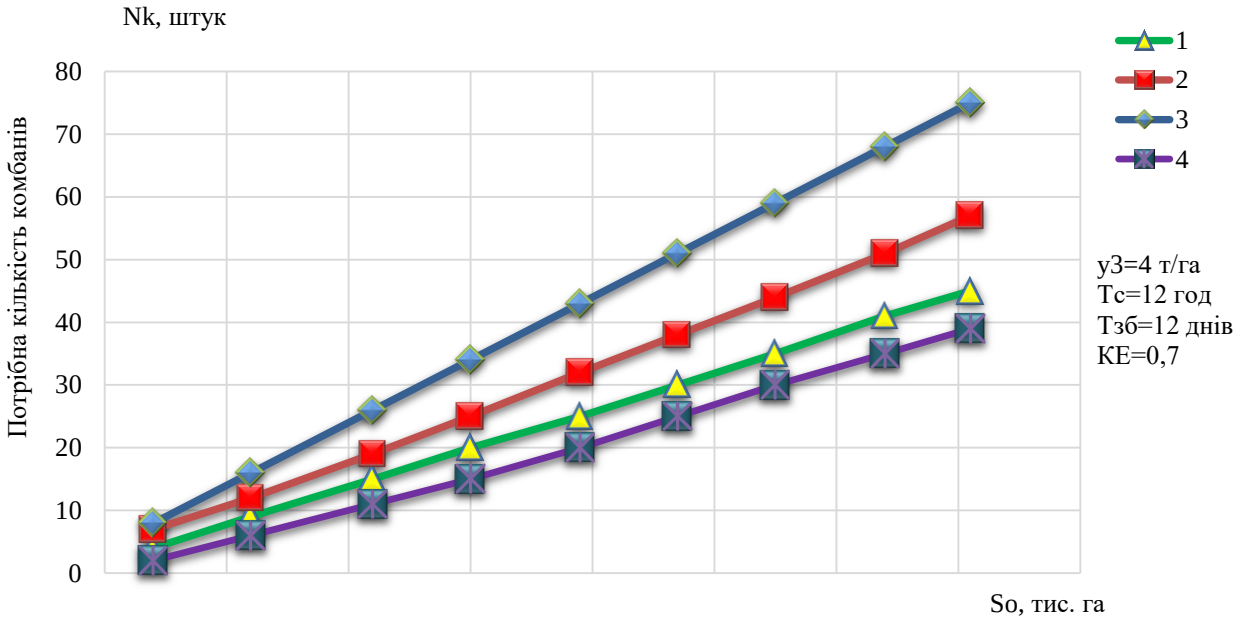


Рис. 2. Зміна необхідної кількості комбайнів різних класів за більшої варіації врожайності зерна.

Fig. 2. Change in the required number of combines of different classes with a greater variation in grain yield.

Встановлено, що середня денна продуктивність комбайна протягом перших 3 років використання становила 14,6-16,1 га; сезонна – 302-314 га; намолот зерна – 59-161 т за день і 1280-1440 т – за сезон (рис. 2). Для отримання необхідної продуктивності і якості обмолоту необхідно постійно слідкувати за величиною зазору між барабаном і підбарабанням. Для підвищення продуктивності вивантаження зерна доцільно проводити під час руху без зупинки комбайна, оскільки при намолоті 60 т за день втрачається приблизно 1,6 год робочого часу. Виявлено, що існуюча система збирання урожаю не враховує динаміки дозрівання зерна і соломи та їх цільового призначення за схемою: вхід у процес (перша фаза), основна частина із вище середнього (друга фаза) і вихід з процесу (третя фаза), неефективна через низьку живучість система збирання в організаціях, регіонах і областях в першій і третій фазах. Аналіз числових показників свідчить, що при збиранні всіх культур темп процесу в першій фазі збільшується повільно, в другій – швидше, а на виході спадає до мінімального. У першій фазі середній темп для жита, ячменю, вівса і пшениці досягає відповідно 0,25; 0,21; 0,30 і 0,26 тривалості циклу. Тривалість збирання кожної культури з темпом вище середнього становить менше половини тривалості циклу, а з темпом нижче середнього – більше половини. Загальний висновок з наведених даних зводиться до того, що 26-33% врожаю в господарствах можна отримати при застосуванні ресурсозберігаючих технологій. Аналіз і синтез закономірності процесу збирання урожаю свідчить, що протягом одного дня максимальний темп досягав 18,2-34,9% всього обсягу, що перевищувало середній темп до 3,58 раза.

Таким чином, у міру збирання внесок щоденного валового збору в загальний намолот зерна за сезон дедалі менший і менший через зниження врожайності зерна від самоосипання за однакових добових темпів збирання.

При нормативних механічних втратах зерна за комбайнами (2%) [14, 52] фактичний намолот зерна буде ще меншим і складе:

$$W_{\Phi}^{\text{Н}} = 0{,}98\sum_{1}^{n}(S_i \cdot y_i) \qquad (19)$$

де n – загальна кількість днів збирання $n = T_{\text{зб}}$.

Денний темп збирання S і можна виразити через параметри комбайна:

$$S_i = N_k \cdot 0{,}1 \cdot \text{В}_{\text{ж}} \cdot V_k \cdot T_c \qquad (19)$$

де $\text{В}_{\text{ж}}$ – ширина захвату жниварки комбайна, м;

V_k – швидкість руху комбайна, км/год.

$$S_i = N_k \cdot \frac{3{,}6 \cdot q_k \cdot \text{К}_{\text{екс}}}{1+\alpha_{\Phi} \cdot y_i} \cdot T_c \qquad (20)$$

q_k – пропускна спроможність комбайна, кг/с;

α_{Φ} – відношення маси соломи до маси зерна в хлібостої;

y_i – поточна врожайність зерна на полі, що забирається, т/га.

Звідси загальна математична модель розрахунку валового збору зерна на площі S_0 з урахуванням динаміки втрат зерна від самоосипання і механічних його втрат комбайнами при ширині захвату $\text{В}_{\text{ж}}$ та швидкості комбайна V_k мають вигляд:

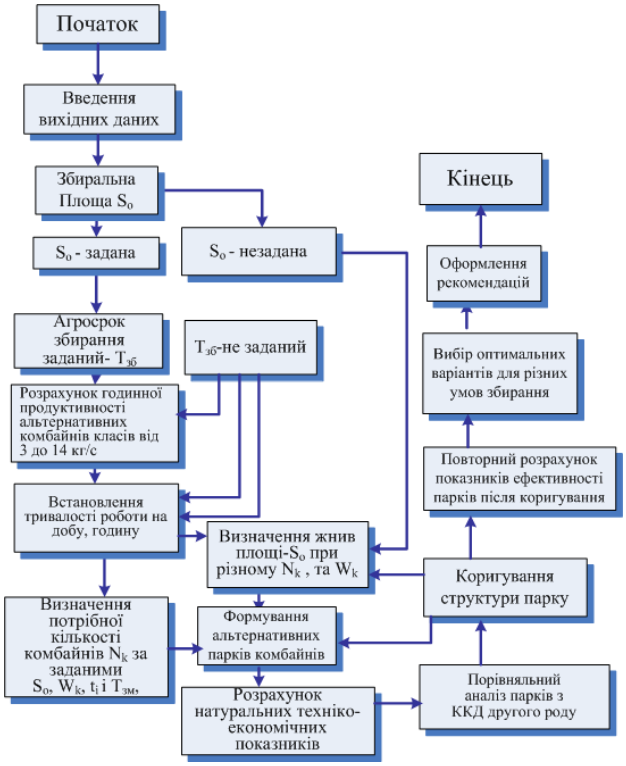


Рис. 3. Алгоритм ітераційної оптимізації структури комбайнового парку за техніко-економічними показниками їх роботи.

Fig. 3. Algorithm for iterative optimization of the structure of the combine fleet according to the technical and economic indicators of their work.

У розробленому алгоритмі (рис. 3) є два принципові варіанти: збиральна площа може бути задана або не задана (третій перехід в алгоритмі). У першому випадку парк розраховується під задану площу з різною тривалістю прибирання, у тому числі й за агротехнічний термін.

У другому випадку формується парк комбайнів і визначається, яку площу він може прибрати за різної тривалості збиральних робіт. Цей варіант уражає господарств з обмеженими фінансовими ресурсами.

Оскільки загальний валовий збір зерна залежить від денних (добових) темпів збирання, то виникають альтернативні комбайнові парки за структурою та продуктивністю. Наприклад, малий парк щодо початкового обсягу робіт (вихідної площі) вимагає менше фінансових, матеріальних та кадрових ресурсів, але зможе прибрати задану площу протягом тривалого часу і відповідно з більшими біологічними втратами. Великий парк за кількістю та продуктивністю може швидко закінчити прибирання з мінімальними біологічними втратами, але вимагатиме великих витрат на свою роботу. Звідси виникають численні альтернативні варіанти.

Така ж тенденція зберігається і за інших урожайностей зернових культур, що вказує на збільшення ефективності зернозбиральних комбайнів високих класів зі збільшенням збиральної площі. Тобто для господарств з великотоварним виробництвом зерна доцільнішими є комбайни класу 10 кг/с і вище.

Бережне прибирання з рівномірним розподілом пожнивних залишків дуже важливе за будь-якої технології. А якщо уникнути проходів техніки, яка ущільнює ґрунт, можна зберегти структуру та зменшити витрати при наступних операціях.

Для господарств, які мають великі поля, доцільно звернути увагу до бункери-перегрузчики (рис. 4), які дозволяють зменшити логістичні витрати, уникнути в'їзду на поля автомобілів, останні залишають ущільнену колію. Також, бункери-перевантажувачі можна оснастити системою вагового обліку та контролю. Надійними причеп-перевантажувачами є ті, що у своєму асортименті мають, як зернові бункери з продуктивними шнеками з ємністю бункера від 20 до 45 м^3, так і універсальні причепи з можливістю оснащення шнеком, ємністю бункера від 20 до 50 м^3.

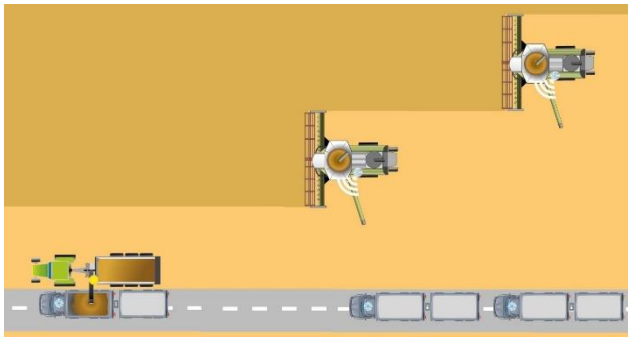


Рис. 4. Удосконалені схеми під No-till.
Fig. 4. Improved schemes at No-till.

Переваги використання бункерів-перевантажувачів:

- по полю переміщуються тільки комбайни та трактори з перевантажувачами. За рахунок зниження навантаження на ґрунт зберігається структура ґрунту;
- немає колії від автомобіля, на руйнування якої потрібні додаткові витрати солярки під час основної обробки;
- за технології поверхневої обробки або No-till, комбайну не потрібно їхати до межі поля.

Бункери-перевантажувачі обладнані ваговою системою контролю FWS (рис. 5), а також на комбайнах та вантажному транспорті встановлено обладнання електронного розпізнавання та контролю.

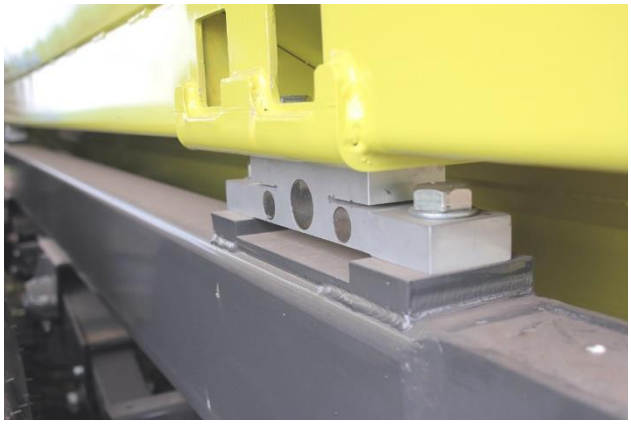


Рис. 5. Система контролю FWS.
Fig. 5. FWS control system.

Контроль завантажень на автотранспорт (рис. 6):

- збір відомостей із кожного комбайна індивідуально.
- складання карт врожайності.

При накладенні трекера роботи комбайна (GPS) можна виділити ділянки поля з різною врожайністю та якістю.

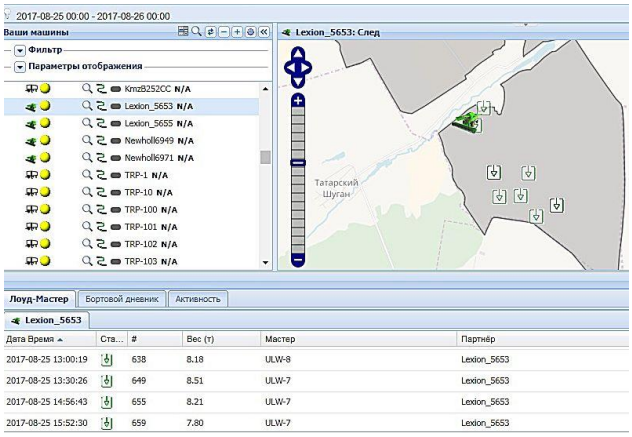


Рис. 6. Трекер роботи комбайна.
Fig. 6. Combine operation tracker.

Аналітичні відомості та онлайн контроль (рис. 7):

- автоматичне завантаження відомостей на сервер, у т.ч. телеметрія трактора;
- повна документація збирання врожаю без втрат;
- оперативний контроль ходу збиральних робіт.

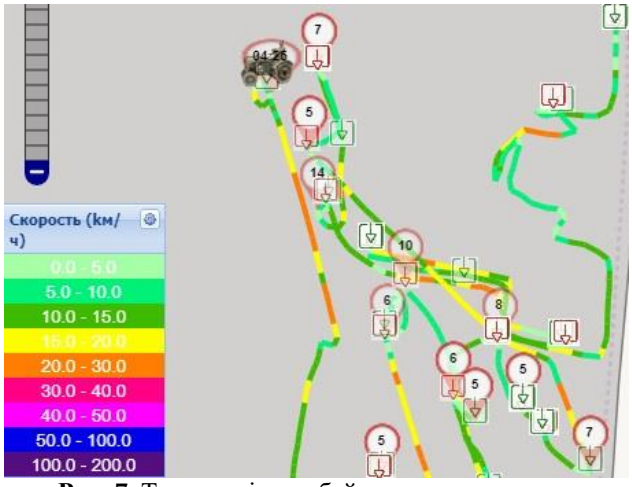


Рис. 7. Телеметрія комбайна.
Fig. 7. Combine telemetry.

Які зміни спостерігаються:

- висока продуктивність комбайнів. При затримці автотранспорту один бункер-накопичувач може продовжити роботу 3-4 комбайнів.
- опорний пункт приймає врожай з різних господарств, за високої вологості зерна є черга на розвантаження. При затримці одного автотранспорту: 25 хв * 4 комбайни = додатково + 100 хвилин продуктивної роботи комбайнів.

Дані телеметрії оптимізують роботу агрономів, логістів, бухгалтерів та економістів.

Оперативність ухвалення рішень. Можна розрахувати по кожній агрофірмі оптимальну кількість комбайнів та автотранспорту, внести корективи.

Висновки

1. Встановлено, що середня денна продуктивність комбайна протягом перших 3 років використання становила 14,6-16,1 га; сезонна – 302-314 га; намолот зерна – 59-161 т за день і 1280-1440 т – за сезон. Аналіз і синтез закономірності процесу збирання урожаю свідчить, що протягом одного дня максимальний темп досягав 18,2-34,9% всього обсягу, що перевищувало середній темп до 3,58 раза.

2. У розробленому алгоритмі (рис. 3) є два принципові варіанти: збиральна площа може бути задана або не задана (третій перехід в алгоритмі). У першому випадку парк розраховується під задану площу з різною тривалістю прибирання, у тому числі й за агротехнічний термін.

Список літератури

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

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

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

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

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

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

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

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

9. *Zagurskiy O., 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. P. 64-74.

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

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

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

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

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

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

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

17. *Kalinichenko D., Rogovskii I.* Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179-184.

18. *Kalinichenko D., Rogovskii I.* Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 93-102.

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

20. *Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.* Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.

21. *Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.* Штучні когнітивні системи в процесах технічного

обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.

22. *Rogovskii I. L.* Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.

23. *Роговський І. Л.* Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314–322.

24. *Rogovskii Ivan.* Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 2016. Vol. 18. No 3. P. 155–164.

25. *Роговський І. Л.* Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143–150.

26. *Роговський І. Л.* Моделі формування альтернатив інженерного менеджменту в методах підвищення виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146.

27. *Rogovskii I. L.* (2021). Resource of removal expenses for strong agricultural period of volume of operations. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 12. No 2. P. 123-131. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.02.123.

References

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13. *Rogovskii I. L.* (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10(3). 181-187.

14. *Rogovskii I. L.* (2019). Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10(4). 145-150.

15. *Rogovskii I. L.* (2020). Algorithmicly determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(1). 155-162.

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

17. *Kalinichenko D., Rogovskii I.* (2014). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of

RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 19(3). 179-184.

18. *Kalinichenko D., Rogovskii I*. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin–Rzeszów. 17(3). 93-102.

19. *Kalinichenko D., Rogovskii I*. (2018). Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 18(1). 105-115.

20. *Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L.* (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 258. 380-390.

21. *Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L.* (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 262. 353-361.

22. *Rogovskii I. L.* (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 258. 399-407.

23. *Rogovskii I. L.* (2015). Metodological performance of technological operations of restoration of working capacity of agricultural mashines at limited resources. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 212(1). 314-322.

24. *Rogovskii Ivan*. (2016). Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 18(3). 155-164.

25. *Rogovskii I. L.* (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(3). 143-150.

26. *Rogovskii I. L.* (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146.

27. *Rogovskii I. L.* (2021). Resource of removal expenses for strong agricultural period of volume of operations. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(2). 123-131. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.02.123.

АНАЛИТИЧНОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ИНЖЕНЕРНОГО МЕНЕДЖМЕНТА

И. Л. Рогоский

Аннотация. В статье проведён анализ аналитичности комплексных критериев оценки производства зерна в сельскохозяйственных предприятиях интенсификацией инженерного менеджмента. Эффективное использование зерноуборочных комбайнов и величина потерь зерна при комбайновке у сельскохозяйственных производителей зависят от классического набора организационных, технических, технологических факторов и состояния инженерно-технической службы. С целью повышения эффективности использования техники целесообразно использовать операционную технологию сбора зерновых колосовых культур, которая включает карты и рисунки по следующим вопросам: выбор технологий проведения работы, агротехнические требования, технику безопасности, выбор и комплектование агрегатов, подготовку агрегатов к работе, подготовку полей и отрядов, организацию работы агрегатов в отряды, транспортные работы, нормы выработки и расхода топлива, контроль и оценку качества работы. Установлено, что средняя дневная производительность комбайна в течение первых 3 лет использования составила 14,6-16,1 га; сезонно – 302-314 га; намолот зерна – 59-161 т в день и 1280-1440 т – в сезон. Для получения требуемой производительности и качества обмолота необходимо постоянно следить за величиной зазора между барабаном и подбарабаньем. Для повышения производительности выгрузку зерна целесообразно проводить при движении без остановки комбайна, поскольку при намолоте 60 т в день теряется примерно 1,6 часа рабочего времени.Обнаружено, что существующая система уборки урожая не учитывает динамику созревания зерна и соломы и их целевого назначения по схеме: вход в процесс (первая фаза), основная часть из выше среднего (вторая фаза) и выход из процесса (третья фаза), неэффективная из-за низкой живучесть система уборки в организациях, регионах и областях в первой и третьей фазах. Анализ числовых показателей свидетельствует, что при уборке всех культур темп процесса в первой фазе увеличивается медленно, во второй – быстрее, а на выходе снижается до минимального. В первой фазе средний темп для ржи, ячменя, овса и пшеницы достигает соответственно 0,25; 0,21; 0,30 и 0,26 продолжительности цикла. Продолжительность сбора каждой культуры с темпом выше среднего составляет менее половины продолжительности цикла, а с темпом ниже среднего – более половины. Общий вывод из данных сводится к тому, что 26-33% урожая в хозяйствах можно получить при применении ресурсосберегающих технологий. Анализ и синтез закономерности процесса уборки урожая свидетельствует, что в течение одного дня максимальный темп достигал 18,2-34,9% от всего объема, что превышало средний темп до 3,58 раза.

Ключевые слова: методология, коэффициент готовности, эффективность, сельскохозяйственная машина.

ANALYTICITY OF COMPLEX CRITERIA FOR EVALUATION OF GRAIN PRODUCTION IN AGRICULTURAL ENTERPRISES INTENSIFICATION OF ENGINEERING MANAGEMENT

I. L. Rogovskii

Abstract. The article analyzes the analytical nature of complex criteria for assessing grain production in agricultural enterprises by intensifying engineering management. Effective use of combine harvesters and the amount of grain losses during combining in agricultural producers depend on the classic set of organizational, technical, technological factors and the state of engineering and technical service. In order to increase the efficiency of machinery, it is advisable to use operational technology for harvesting cereals, which includes maps and drawings on the following issues: choice of technologies, agronomic requirements, safety, selection and assembly of units, preparation of units, field and detachment preparation, organization of work of units in detachments, transport works, norms of production and fuel consumption, control and estimation of quality of work. It was established that the average daily productivity of the combine during the first 3 years of use was 14.6-16.1 ha; seasonal - 302-314 hectares; grain threshing - 59-161 tons per day and 1280-1440 tons - per season. To obtain the required productivity and quality of threshing, it is necessary to constantly monitor the size of the gap between the drum and the drum. To increase the productivity of grain unloading, it is advisable to carry out while moving without stopping the combine, because when threshing 60 tons per day, approximately 1.6 hours of working time are lost.It was found that the existing harvesting system does not take into account the dynamics of grain and straw ripening and their purpose according to the scheme: entry into the process (first phase), the main part of the above average (second phase) and exit from the process (third phase), inefficient due to low survivability of the collection system in organizations, regions and oblasts in the first and third phases. Analysis of numerical indicators shows that when all crops are harvested, the pace of the process in the first phase increases slowly, in the second - faster, and at the output decreases to a minimum. In the first phase, the average rate for rye, barley, oats and wheat reaches 0.25, respectively; 0.21; 0.30 and 0.26 cycle times. The duration of harvesting each crop with a rate above average is less than half the duration of the cycle, and with a rate below average - more than half. The general conclusion from the given data comes down to the fact that 26-33% of the harvest in farms can be obtained by using resource-saving technologies. Analysis and synthesis of the regularity of the harvesting process shows that during one day the maximum rate reached 18.2-34.9% of the total, which exceeded the average rate by 3.58 times.

Key words: methodology, availability, efficiency, agricultural machine.

І. Л. Роговський ORCID 0000-0002-6957-1616.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 139-144
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.139

UDC 53.081; 53.082.1

HARDNESS – VOLUMETRIC CHARACTERISTIC OF MATERIAL

O. Ye. Semenovskyi, L. L. Titova, O. V. Mykhnian

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

Speciality of article: 131 – applied mechanics.

Corresponding authors: l_titova@nubip.edu.ua.

Article History: Received – June 2021, Accepted – November 2021, Published – 17 December 2021.
Bibl. 13, fig. 1, tabl. 5.

Abstract. Producing details for different purposes is guided by the conditions of their work and, therefore, attention is paid to such characteristics as strength, viscosity and hardness. Only the method of determining the hardness of the material allows you to conduct research without destroying the detail in addition to physical methods. This takes into account the fact that the other properties are indirectly related to the hardness parameter. The main disadvantage of all modern methods of the material hardness measurement is the inconsistency of the practical content of the units of measurement of the studied parameter to the theoretical essence of hardness - as a physical quantity that characterizes the properties of a rigid body. The units of all hardness measurement methods, depending on the scale factor, are usually compared by converting their values to such generally accepted methods as Brinell, Rockwell, or Vickers. The conversion of the hardness values obtained by different methods should be used very carefully and preferably for a preliminary assessment of the relative changes in material properties. When applying these methods, the units of measurement are the ratio between the load on the indenter, a given standardized shape and the area or depth of the imprint. However, based on the physical content of a property such as hardness, it is necessary to determine the relationship between the load on the indenter and the volume of the displaced material. This work aims to establish a theoretical basis for the digital characteristics of units of hardness obtained by different measurement methods. To provide the physical meaning of the determining of hardness, the dependence of the volume of the displaced material on the applied load was determined. The comparison of these values made it possible to really determine the relationship between the units of different methods not based on practical comparisons, but by summing up the theoretical basis. The obtained results indicate a sufficiently high correlation between the results obtained with different hardness measurement methods.

Key words: performance, mechanical properties, hardness, micro-hardness, volumetric hardness, indentor, penetration depth, displaced metal volume.

Introduction

In modern mechanical engineering, the main parameters that determine the use of materials are their performance characteristics determined by mechanical properties. Depending on the type of loads and working conditions of the details, their material must meet certain strength, viscosity and hardness parameters.

It is often accepted to control the listed detail properties after their manufacturing and strengthening by application of certain technological processes in modern mechanical engineering through determining of detail hardness, both volume vise as well as surface wise. Only the latter method, in addition to physical methods, allows you to conduct research without making special samples and destroying the detail. This considers the fact that the other properties are indirectly related to the hardness parameter.

Formulation of problem

The main disadvantage of all modern methods of the material hardness measurement is the lack, or rather inconsistency, of the practical content of the measurement units of the studied parameter to the theoretical essence of the hardness as a physical quantity that characterizes the properties of a rigid body [1].

Modern portable hardness measurement devices often determine hardness-related properties that vary significantly depending on the range of values being tested.

Analysis of recent researches results

The method of elastic rebound (also known as the method of determining the hardness through the dynamic load) is based on the definition of such property as elasticity which is usually determined by studying the material strength. This characteristic is closely related to the hardness. Although the relationship is different depending on the value ranges. I.e., there are 12 measurement scales for plastics.

The hardness is also determined by the damping time of the pendulum oscillations after contact (rebound) with the test material. In addition, there are devices that work on the principle of measuring electrical resistance and ultrasonic methods.

In modern metallurgy, the units of all the hardness measurement methods are commonly compared by converting their values to the broadly accepted methods such as Brinell, Rockwell, or Vickers (depending on the scale factor) [2].

But even the units of these fundamental methods do not correspond to the very physical meaning of the hardness as a physical quantity. This definition should be considered specifically in a three-dimensional space. To confirm this, we give the classic definition of hardness for a solid body - "Hardness is the ability of a body to resist the penetration of another more rigid body." That is, the penetration of the indenter through the surface area, as in the case of the Brinell method, or to a certain depth when following the Rockwell or Vickers methods.

When applying these methods, we have units of measurement lacking physical basis. That is, the units of measurement are the ratio between the load on the indenter given standardized shape and the area or depth of the imprint. However, based on the physical content of such property as hardness, it is necessary to determine the relationship between the load on the indenter, and the volume of the displaced material.

Purpose of research

The work aims to establish a theoretical basis for the digital characteristics of hardness units obtained by different measurement methods.

Research results

In our work, we compared the units of measurement of the main methods of determining hardness by giving them a real physical meaning. For this matter, the dependence of the volume of displaced material on the applied load was determined. The comparison of these values makes it possible to realistically determine the relationship between units of different methods not based on practical comparisons but by summarizing the theoretical basis.

Given the different shape of the indents as well as the wide range of load changes it is necessary to introduce certain coefficients that will take into account the scale factors.

To ensure the accuracy of the obtained results the research used a fairly wide range of measurements of the properties of the studied materials. The lower hardness limit was taken to be 15 units on the HRC scale which corresponds to the hardness of unhardened steel. And the upper limit was taken at 60 HRC respectively. This hardness characterizes the properties of the device materials. The reference data of hardness units using different scales is presented in the table 1 [3-6].

Table 1. The relationship of the hardness values determined by different hardness measurement devices

Hardness Value			
HB	HRC	HRB	HV
192	15	92	190
217	20	97	217
248	25	101	240
286	30	107	285
375	40	-	390
601	60	-	746
Load. kg			
300	150	100	0.1

Since our research assumes that the real physical quantity that corresponds to the theoretical definition of a rigid body is the ability of the volume of the body to penetrate the indenter, we derived formulas for the basic hardness measurement.

Under the Brinell method, the basic values are the radius of the ball and the depth of its penetration during indentation. The depth of penetration h is determined from the equation:

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)} = R - \sqrt{R^2 - r^2}, \text{ mm} \quad (1)$$

where: D is the ball diameter, mm; R is the ball radius, mm; d and r are diameter and radius of the inprint, mm.

Then the volume of the displaced metal is determined as follows:

$$V = \pi h^2 \cdot \left(R - \frac{1}{3}h\right), \text{ mm}^3 \quad (2)$$

R = 5 mm.

To convert the units obtained using the Rockwell method indenter diamond cone with an angle at the apex of 120 h is obtained from the following:

$$h = (100 - HRC) \cdot 0,002, \text{ mm} \quad (3)$$

The formula for determining the volume of displaced metal by the Rockwell method is derived based on the volume of the cone:

$$V = \pi h^3, \text{ mm}^3 \quad (4)$$

Similarly, the formula for research by the method of Rockwell is derived. When a steel ball with a diameter of 1,588 mm is used as an indenter, the depth of the penetration is determined by the formula:

$$h = (130 - HRC) \cdot 0,002, \text{ mm} \quad (5)$$

And the volume of the displaced metal is respectively:

$$V = \pi h^2 \left(R \cdot \frac{1}{3}h\right), \text{ mm}^3 \quad (6)$$

In the study of microhardness where a diamond pyramid with an angle at the apex of 136 ° is used as an indenter, the following equations hold:

$$h = \frac{d}{2} \cdot \tan 68° = \frac{d}{2} \cdot 2,48, \text{ mm} \quad (7)$$

where: d is the imprint diameter (average value), mm;

$$V = \frac{1}{3}S \cdot h = \frac{1}{6} \cdot d^2 \cdot h, \text{ mm}^3 \quad (8)$$

The formula to determine the volumetric hardness of the material given the value of the volume of the displaced metal under load takes the form:

$$P_V = \frac{P}{V}, \text{ кН/mm}^3 \quad (9)$$

where P is the load acting on the metal, кН; V is the displaced metal volume, mm^3. The calculation results are shown in the tables 2-5.

Table 2. The calculated values of hardness derived under the Brinell method on the HB scale.

Hardeness HRC (Reference data)	15	20	25	30	40	60
Imprint diameter, mm (Reference data)	4.3	4.1	3.85	3.6	3.15	2.5
Depth of penetration h, mm	0.49	0.44	0.39	0.34	0.25	0.16
Volume of the displaced metal, mm^3	3.65	2.95	2.32	1.77	0.97	0.40
Volumetric hardeness, $кH/mm^3$	8.22	10.17	12.93	16.94	30.93	75

Table 3. The results of calculations for hardness values under the Rockwell method on the HRC scale.

Hardeness HRC (Reference data)	15	20	25	30	40	60
Depth of penetration h, mm	0.17	0.16	0.15	0.14	0.12	0.08
Volume of the displaced metal, mm^3	0.154	0.128	0.0106	0.0086	0.0054	0.0016
Volumetric hardeness, $кH/mm^3$	97.40	117.19	141.51	174.42	277.78	937.5

Table 4. The results of calculations for hardness values under the Rockwell method on the HRB scale.

Hardeness HRC (Reference data)	15	20	25	30
Depth of penetration h, mm	0.076	0.066	0.052	0.046
Volume of the displaced metal, mm^3	0.0139	0.0105	0.0065	0.0051
Volumetric hardeness, $кH/mm^3$	71.94	95.24	151.5	196

Table 5. The results of calculations for hardness values under the Vickers method on the HV scale.

Hardeness HRC (Reference data)	15	20	25	30	40	60
Imprint diameter, mm (Reference data)	31	29	28	26	22	15
Depth of penetration h, mm	0.038	0.036	0.035	0.032	0.027	0.019
Volume of the displaced metal, mm^3	0.0000061	0.000005	0.0000046	0.0000036	0.0000022	0.0000014
Volumetric hardeness, $кH/mm^3$	163.93	200	217	277	455	714

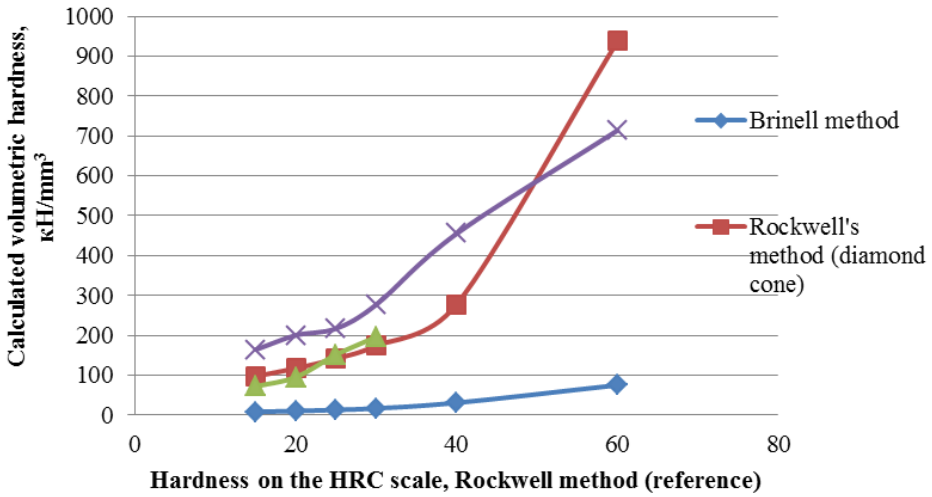


Fig. 1. The nature of the change in volumetric hardness of materials in the 15-60 HRC interval.

The relationship between the values of the hardness units of different measurement methods and the actual values of volumetric har dness is illustrated in the Figure 1.

Conclusions

1. An attempt is made to theoretically substantiate the reduction of empirical (numerical) values of units of different methods of hardness measurement to real values of volumetric hardness which has a real physical meaning.

2. The obtained results indicate a sufficiently high correlation between the results obtained under different hardness measurement methods.

3. The obtained conclusions are illustrated and confirmed graphically.

4. The data obtained in research under the Brinell method are somewhat different which is explained by the scale factor.

References

1. *Vilys J., Ciuplys K, Terentjev K, Kolmakov A.* et al. (2003). Particularies of Plastic Deformation of Metals Near Surface Layers. Kaunas. Technologija. 208.

2. *Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R.* (2021). Determiantion of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 4(7(112). 41-49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292.

3. DSTU EN 6506-1: 2007 Metallic materials. Determination of Brinell hardness. Part 1. Test method.

4. DSTU EN 6506-4: 2008 Metallic materials. Determination of Brinell hardness. Part 4. Table of hardness values.

5. DSTU EN 6507-1: 2007 Metallic materials. Determination of Vickers hardness. Part 1. Test method.

6. DSTU EN 6508-1: 2013 Metallic materials. Determination of Rockwell hardness. Part 1. Test method (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T).

7. *Titova L. L.* (2020). Criteria for evaluation of efficiency of using machines in agricultural complex. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(2). 151-156. ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica. DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.151-156.

8. *Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L.* (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6 (7-108). 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

9. *Student M., Gvozdetsky V., Student O., Prentkovskis O., Maruschak P., Olenyuk O., Titova L.* (2019). The Effect of Increasing the Air Flow Pressure on the Properties of Coatings during the Arc Spraying of Cored Wires. Strojnicky Casopis. 69(4). 1 December. 133-146.

10. *Rogovskii I. L, Titova L .L., Remshev E. Yu., Solomka O. V., Voinash S. A., Malikov V. N., Olekhver A. I.* (2021). Research of sliding bearings with reverse friction pair and inlaid liners made of thermoplastic composite materials. Journal of Physics: Conference Series. 1889. 042010. doi:10.1088/1742-6596/1889/4/042010.

11. *Titova L. L.* (2021). Modeling of transients of dynamic model of power power plant of machines for forestry works. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(1). 147-154.

12. *Titova L. L.* (2021). Methods of finding the optimal parameters of production processes with variable composition of machines for forestry work. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(2). 97-104.

13. *Titova L. L.* (2021). Mathematical model of optimization of parameters of production processes of machines for forestry works. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(3). 77-85.

Список літератури

1. *Vilys J., Ciuplys K, Terentjev K, Kolmakov A*. et al., Particularies of Plastic Deformation of Metals Near Surface Layers. Kaunas. Technologija. 2003. 208 p.

2. *Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R*. Determiantion of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4. Issue 7(112). P. 41-49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292.

3. ДСТУ EN 6506-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 1. Метод випробування.

4. ДСТУ EN 6506-4:2008 Металеві матеріали. Визначення твердості за Брінеллем. Частина 4. Таблиця значень твердості.

5. ДСТУ EN 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Віккерсом. Частина 1. Метод випробування.

6. ДСТУ EN 6508-1:2013 Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T).

7. *Titova L. L.* Criteria for evaluation of efficiency of using machines in agricultural complex. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 2. P. 151-156. ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica. DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.151-156.

8. *Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L.* Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of

Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

9. *Student M., Gvozdetsky V., Student O., Prentkovskis O., Maruschak P., Olenyuk O., Titova L.* The Effect of Increasing the Air Flow Pressure on the Properties of Coatings during the Arc Spraying of Cored Wires. Strojnicky Casopis. 2019. Vol. 69. Issue 4. 1 December 2019. P. 133-146.

10. *Rogovskii I. L, Titova L .L., Remshev E. Yu., Solomka O. V., Voinash S. A., Malikov V. N., Olekhver A. I.* Research of sliding bearings with reverse friction pair and inlaid liners made of thermoplastic composite materials. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1889. 042010. doi:10.1088/1742-6596/1889/4/042010.

11. *Titova Л. Л.* Моделювання перехідних процесів динамічної моделі силової енергетичної установки машин для лісотехнічних робіт. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 147-154.

12. *Titova Л. Л.* Способи пошуку оптимальних параметрів виробничих процесів зі змінним складом машин для лісотехнічних робіт. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 2. P. 97-104.

13. *Titova Л. Л.* Математична модель оптимізації параметрів виробничих процесів машин для лісотехнічних робіт. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 3. P. 77-85.

ТВЕРДІСТЬ – ОБ'ЄМНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ

О. Є. Семеновський, Л. Л. Тітова, О. В. Михнян

Анотація. При виготовлені деталей різного призначення керуються умовами їх роботи і, відповідно, звертають увагу на такі характеристики, як міцність, в'язкість та твердість. Тільки методика визначення твердості матеріалу, окрім фізичних методів, дозволяє проводити дослідження не руйнуючи деталь. При цьому враховується той фактор, що решта властивостей побічно пов'язана з параметром твердості. Основний недолік всіх сучасних методів вимірювання твердості матеріалів полягає в невідповідності практичного змісту одиниць вимірювання досліджуваного параметру теоретичній суті твердості - як фізичної величини, що характеризує властивості твердого тіла. Одиниці всіх методів вимірювання твердості для їх практичного співставлення, залежно від масштабного фактору, прийнято порівнювати, через переведення їх величин до таких загальновизнаних методів, як Брінелля, Роквелла, або Віккерса. Користуватися переведенням величин твердості, отриманих різними методами, слід дуже обережно і переважно для попередньої оцінки відносної зміни властивостей матеріалу. При застосуванні цих методів ми маємо одиниці вимірювання, являють собою співвідношення між навантаженням на індентор, заданої стандартизованої форми та площею, або глибиною відбитка. Хоча виходячи з фізичного змісту такої властивості, як твердість необхідно визначати співвідношення між навантаженням на індентор та об'ємом витісненого матеріалу. Дана робота має на меті встановити теоретичне підґрунтя до цифрових характеристик одиниць твердості, отриманими при різних методиках вимірювання. Для надання фізичного змісту визначення твердості в роботі проводилось визначення залежності об'єму витісненого матеріалу від прикладеного навантаження. Співставлення саме цих величин дало можливість реально визначати співвідношення між одиницями різних методів не базуючись на практичних порівняннях, а шляхом підведення теоретичної бази. Отримані результати вказують на достатньо високу кореляцію між результатами отриманих при різних методиках вимірювання твердості.

Ключові слова: експлуатаційні характеристики, механічні властивості, твердість, мікротвердість, об'ємна твердість, індентор, глибина

ТВЕРДОСТЬ – ОБЪЕМНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛА

А. Е. Семеновский, Л. Л. Титова, Е. В. Михнян

Аннотация. При изготовлении деталей различного назначения руководствуются условиями их работы и соответственно обращают внимание на такие характеристики, как прочность, вязкость и твердость. Только методика определения твердости материала, кроме физических методов, позволяет проводить исследования не разрушая деталь. При этом учитывается тот фактор, что остальные свойства косвенно связаны с параметром твердости. Основной недостаток всех современных методов измерения твердости материалов заключается в несоответствии практического содержания единиц измерения изучаемого параметра теоретической сущности твердости – как физической величины, характеризующей свойства твердого тела. Единицы всех методов измерения твердости для их практического сопоставления, в зависимости от масштабного фактора, принято сравнивать через перевод их величин к таким общепризнанным методам, как Бринелля, Роквелла, или Виккерса. Пользоваться переводом величин твердости, полученных разными методами, следует очень осторожно и предпочтительно для предварительной оценки относительной

изменения свойств материала. При применении этих методов мы имеем единицы измерения, представляющие собой соотношение между нагрузкой на индентор, заданной стандартизированной формы и площадью или глубиной отпечатка. Хотя исходя из физического содержания такого свойства, как твердость, необходимо определять соотношение между нагрузкой на индентор и объемом вытесненного материала. Данная работа имеет целью установить теоретическую основу к цифровым характеристикам единиц твердости, полученным при различных методиках измерения. Для придания физического содержания определение жесткости в работе проводилось определение зависимости объема вытесненного материала от приложенной нагрузки.

Сопоставление этих величин дало возможность реально определять соотношение между единицами различных методов, не основываясь на практических сравнениях, а путем подведения теоретической базы. Полученные результаты указывают на достаточно высокую корреляцию между результатами, полученными при различных методиках измерения твердости.

Ключевые слова: эксплуатационные характеристики, механические свойства, твердость, микротвердость, объемная твердость, индентор, глубина проникновения, объем вытесненного металла.

О. Є. Семеновський ORCID 0000-0003-3358-1297.
Л. Л. Тітова ORCID 0000-0001-7313-1253.
О. В. Михнян ORCID 0000-0003-3210-4173.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 145-151
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.145

UDC 631.1.004

HIDDEN MARKOV MODELS OF TECHNICAL CONTROL OF TECHNICAL CONDITION PARAMETERS OF SELF-PROPELLED SPRAYERS

I. S. Liubchenko

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

Speciality of article: 133 – industry engineering.

Corresponding author: lub4enko.ira@gmail.com.

Article History: Received – June 2021, Accepted – November 2021, Published – 17 December 2021.
Bibl. 27, fig. 2, tabl. 0.

Abstract. The main indicator used to study the reliability are hidden Markov models of technical control of the technical condition of self-propelled sprayers, which means the probability that the self-propelled sprayer will be operational at any time, except for planned periods during which the use of self-propelled sprayers is expected. Derivation of the analytical expression for hidden Markov models of technical control of the parameters of the technical condition of self-propelled sprayers - a rather time-consuming operation. The complexity increases with the complication of the graph, ie in an effort to take into account more technical conditions, factors that affect the process of technical control of self-propelled sprayers. Therefore, it is advisable to solve the problem of such a plan using a simulation model. Using the Stateflow modeling tool of the Matlab software package, a model has been developed that allows modeling discrete-event models. Model of self-propelled sprayers among Stateflow for estimating the coefficient of readiness during technical control of programs. The results of simulation are the values of hidden Markov models of technical control of the parameters of the technical condition of self-propelled sprayers in various technical control programs, which allows us to draw conclusions about the impact of technical control of self-propelled sprayers on the readiness factor.The probabilities of errors varied from 0 to 1, which is quite justified in cases where the technical control differs only in the place of measurement of the parameter of technical condition, and the means of measurement are the same. The author found that the readiness factor is sensitive to errors of the second kind in this case. Ways of further research are found in the study of other programs of technical control of self-propelled sprayers, in which the readiness factor is sensitive to the probability of errors of the first kind.

Key words: simulation model, coefficient of readiness, self - propelled sprayer, technical control.

Introduction

The analysis of periodic signals of complex shape is often carried out by decomposing it into harmonics in a Fourier series.

After analog-to-digital conversion, a continuous signal is represented by a set of its instantaneous values-samples. In practice, the Fast Fourier Transform is more common.

Formulation of problem

The essence of this transformation lies in the recurrent application of the fundamental expression of the discrete Fourier transform to the analyzed signal. There are different algorithms for the fast Fourier transform, which differ in the ways of dividing the samples into subgroups and the requirements for the number of samples to be processed. The Fourier transform transforms the original signal from the amplitude-time space into the frequency-time, and in the time domain - a linear signal prediction that describes the acoustic signal using an autoregressive model. The principle of the linear prediction method is described in the literature.

Analysis of recent research results

Suppose that there is a sequence of signal vectors $S(n)$ and a filter of order M, with an impulse response $A(z)$, whose time samples will be denoted by $a_i, i = 1, \dots, M$. The results of filtering the signal $S(n)$ by the filter $A(z)$ can be written:

$$e(n) = \sum_{i=0}^{M} a_i S(n-1) = S(n) + \sum_{i=0}^{M} a_i S(n-i) = S`(n) - S(n)$$

In this case, the values of $S(n)$ must be considered as an estimate of the value of $S`(n)$, built on the basis of the values of previous readings, and the value of $e(n)$ – as the value of the prediction error.

The next step is to solve the problem of optimizing the values of the coefficients in such a way that the error value $e(n)$ would be minimal. As an optimality criterion, the sum of the squares of the error values on the studied interval is used. In this case, the values of the optimized quantity are found as follows:

$$a = \sum_{n=n_0}^{n_i} e^2(n) = \sum_{n=n_0}^{n_i} \left[\sum_{i=0}^{M} a_i S(n-i)\right]^2 = \sum_{n=n_0}^{n_i} \sum_{i=0}^{M} \sum_{j=0}^{M} a_i S(n - i) a_i S(n-j)\, a_j$$

where n_0 and n_i – boundaries of the analysis interval. If you enter the notation:

$$c_{ij} = \sum_{n=n_0}^{n_i} S(n-i)S(n-j)$$

then the expression for the root-mean-square error can be written as:

$$a = \sum_{i=0}^{M} \sum_{j=0}^{M} a_i c_0 a_j$$

Differentiating this expression with respect to a_k allows us to obtain a system of linear differential equations, the solution of which will be the optimal value of the filter coefficients.

Another way to analyze signals is to study the spectrum. Traditionally, to use this method, the Fourier transform of the signal is used. This analysis is based on the calculation of a certain number of coefficients of the Fourier series of the periodic function $f(t)$:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_k e^{int}$$

This function is obtained from the original signal by smoothing, averaging in a certain way selected segments. The nature of the change in the coefficients gives valuable information about the properties of the signal, allows you to identify hidden periods. To calculate the coefficients, there is a fast algorithm that requires $NlogN$ operations, where N – the signal length.

An important property of the Fourier coefficients is that each of them reflects the behavior of $f(t)$ as a whole. The Fourier spectrum shows the global properties of signals, but it is difficult to extract information about local features from them – sharp jumps, narrow peaks, etc.

The reason for this lies in the structure of the e^{int} basis functions. These functions are stretched over the entire interval of change of the analyzed function, then the coefficients have the form:

$$c_n = (2\pi)^{-1} \int_0^{2\pi} f(t) e^{-int} dt$$

Fourier analysis provides good results when considering stationary signals, but when considering non-periodic signals, non-stationary processes, difficulties arise. The generalized spectral characteristic of the process as a whole makes it possible to determine the moments of occurrence of local changes in the signal, the appearance or disappearance of individual harmonics, but Fourier analysis does not make it possible to determine the local time-frequency bursts of the signal, i.e. simultaneously represent the signal in both time and frequency. Wavelet analysis solves this problem.

For both the Fourier transform and the construction of the basis of the wavelet transform, one function is used, called the mother wavelet. Thus, we can conclude that, unlike the traditional Fourier transform used for signal analysis, the wavelet signal transform provides a two-dimensional sweep of the signal under study. In this case, the frequency and coordinate are considered as independent variables. As a result, it becomes possible to analyze the properties of the signal simultaneously in the physical (time coordinate) and frequency spaces. The wavelet transform has the property of linearity, the essence of which is that the wavelet transform of a vector function is a vector with wavelet transform components of each component of the analyzed vector separately. The result of wavelet analysis is shift invariant, i.e. a signal shift in time by t_0 leads to a wavelet spectrum shift also by t_0. Invariance with respect to scaling means that stretching (compression) of the signal leads to stretching (compression) of the wavelet spectrum of the signal.

It follows from this that it makes no difference whether to differentiate the function or the analyzing wavelet. If the analyzing wavelet is given by a formula, then it can be very useful for signal analysis. It is possible to analyze high-order features or small-scale variations of the signal $s(t)$ while ignoring large-scale polynomial components (trend and regional background) by differentiating the required number of times either the wavelet or the signal itself. This property is especially useful when the signal is given as a discrete series.

Purpose of research

Purpose of research is a viscount description of the analytical position of the estimation of hidden Markov models of technical control of the parameters of the technical condition of self-propelled sprayers.

Research results

In the general case, wavelets include localized functions that are constructed from a single parent wavelet $\varphi(t)$ by shifting in time b and changing the time scale a:

$$\varphi_{ab}(t) = (|a|)^{-1/2} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right), (a,b) \in R, \varphi(t) \in L^2(R)$$

where the factor $(|a|)^{-1/2}$ ensures that the norm of the functions is independent of the scaling number a.

The continuous wavelet transform of the signal $s(t) \in L^2(R)$, which is used for qualitative time-frequency analysis, corresponds in meaning to the Fourier transform with the replacement of the harmonic basis e^{-int} by the wavelet one $\varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)$:

$$W(a,b) = \langle s(t), \varphi_{ab}(t)\rangle = (|a|)^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) d, (a,b) \in R, a \neq 0$$

For quantitative methods of analysis (decomposition of signals with the possibility of subsequent linear reconstruction of signals from processed wavelet spectra), strictly from mathematical positions, any localized functions $\varphi(t) \in L^2(R)$, can be used as wavelet bases, if there are functions for them twins (pair functions) $\varphi^{\#}(t)$, such that the families $\{\varphi_{ab}(t)\}$ и $\{\varphi^{\#}_{ab}(t)\}$ can form paired bases of the function space $L^2(R)$. Wavelets defined in this way allow us to represent any arbitrary function in the space $L^2(R)$ as a series:

$$s(t) = \sum_{a,b} C(a,b)\,\varphi_{ab}^{\#}(t), (a,b) \in I$$

where the coefficients $C(a,b)$ – are the projections of the signal onto the wavelet basis of the space, which are determined by the scalar product:

$$C(a,b) = \langle s(t), \varphi_{ab}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)\varphi_{ab}(t)dt$$

If the wavelet $\varphi(t)$ has the property of orthogonality, then $\varphi^{\#}(t) \equiv \varphi(t)$ and the wavelet basis is orthogonal. a wavelet can be non-orthogonal, but if it has a twin, and the pair $\varphi(t)$, $\varphi^{\#}(t)$ makes it possible to form families $\{\varphi_{mk}(t)\}$ и $\varphi_{zp}^{\#}(t)$, satisfying the biorthogonality condition on integers I:

$$\langle \varphi_{mk}(t), \varphi_{zp}^{\#}(t) \rangle = \delta_{mz} \cdot \delta_{kp}, m,k,z,p \in I$$

then it is possible to decompose the signals into wavelet series with the construction of an inverse reconstruction formula. Most of the restrictions imposed on wavelets are related to the accuracy of the inverse wavelet transform.

The results of the wavelet transform, as the scalar product of the wavelet and the signal function, contain combined information about the analyzed signal and the wavelet itself. Obtaining certain objective information about the analyzed signal is based on the properties of the wavelet transform, common to wavelets of all types.

The disadvantage of wavelet analysis is the need to select basis functions for a specific signal under study, which will better reflect its properties. For in-depth study of a specific signal, this device is indispensable, but to create a universal method for processing audio signals for mathematical modeling of the state of various technical objects, it is more expedient to use Fourier analysis.

The task of recognizing acoustic signals is to select the optimal probability distribution law that best suits the sound being processed. Based on the analysis of articles by leading world scientists, we can conclude that at the moment the most promising systems for recognizing acoustic signals based on several basic approaches (Fig. 1): neural networks, hidden Markov models, dynamic programming.

The goal of dynamic programming is to find the optimal non-linear matching of two segments of sound. In this regard, algorithms based on the works of R. Bellman have found wide application. This method compares a sound fragment with a pre-recorded sound standard. For this purpose, it is necessary to compare the segments corresponding to the same acoustic signals by means of deformation of the time axis, measure the remaining difference, and sum up these partial distances taken with certain weight coefficients. The key disadvantage of the dynamic programming approach is its binding to a specific technical object from which the audio signal is recorded. To determine the state of a similar technical object, it is necessary to first add sound standards to the system, which greatly increases the complexity of creating systems for determining the state of a technical object based on the analysis of an acoustic signal.

The use of neural networks for recognition of acoustic signals is a promising area of artificial intelligence. With a correctly specified structure, a neural network trained on a training set of acoustic signal data produces the correct recognition results when given to the input data belonging to the same set, but not used in the learning process. In practice, neural networks are used that include one or more hidden layers of neurons. The complexity of the network is determined based on the number of neurons in the hidden layers, since the number of neurons in the input and output layers is clearly fixed.

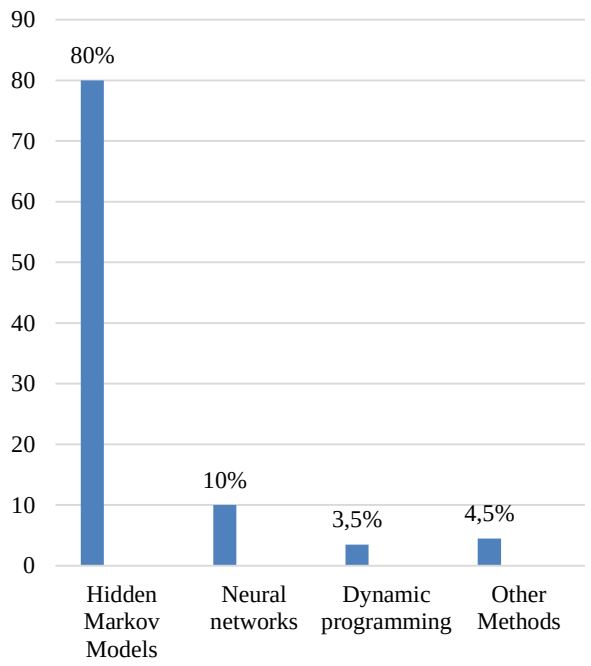


Fig. 1. Basic approaches to the recognition of acoustic signals.

The inputs of neural networks are vectors of signs of acoustic signals, and the outputs of the network are associated with sound standards, while the number of outputs is related to the number of recognizable sound signals. Neural networks are able to learn on acoustic signals from several identical sources, as a result, it is possible to develop a system that is independent of the sound source. Since when recognizing the sound signals of technical objects, the duration of the sound, and, accordingly, the number of feature vectors, is not known in advance, the task of training the neural network becomes much more complicated. Sometimes neural networks are used in combination with hidden Markov models. Despite their high potential, neural networks have not yet been widely used in the field of signal recognition, since their training is a complex process and requires a lot of computing power.

The use of hidden Markov models is currently the most promising and widely used approach in the recognition of acoustic signals. There are ergodic hidden markov models or models in which each state of the model can be obtained from any other state in a finite number of steps, autoregressive hidden markov models, hidden markov models with continuous observation density, hidden markov models with zero transitions and coupled states, hidden markov models with an explicitly specified state duration density function. The most suitable model architecture for determining the operational condition of tires is the left-right or Backis model. This model is with a finite number of states. Each state S_t changes once at each time t. Observations O_t determines from the calculation of

the probability distribution density of the occurrence of observation symbols in state j, $B = b_j(O_t)$. Moreover, transitions from state i to state j are also probabilistic and are determined by the discrete probability of transitions between states by the matrix of transition probabilities) $A = |a_{ij}|$.

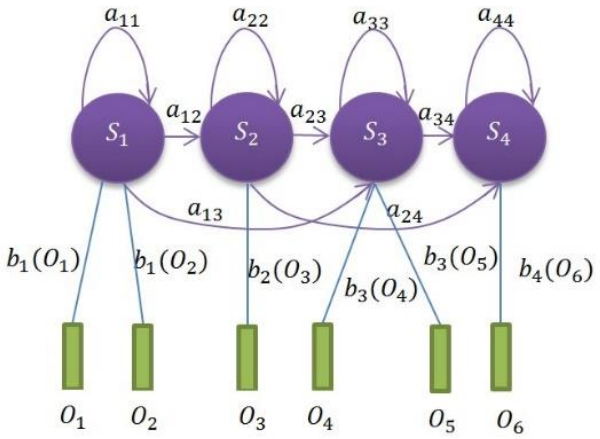


Fig. 2. Left-right hidden Markov model.

On Fig. 2 shows an example of a hidden Markov process in which the four model states pass from left to right $X = 1, 1, 2, 2, 3, 3, 4$ in the order corresponding to the sequence of observations from O_1 to O_6.

To simulate signals whose properties change over time, a left-right hidden Markov model is used, since transitions to states whose index is less than the index of the current state are not allowed, the main property of all left-right hidden Markov models is expressed through the values of transition probabilities:

$$a_{ij} = 0, j < i$$

Since the sequence of states must start at state 1 (and end at state N), the initial distribution of states has the properties:

$$\pi_i = \begin{cases} 0, i \neq 1 \\ 1, i = 1 \end{cases}$$

In order to avoid serious jumps in the state indices when using left-right models, additional restrictions are imposed on the transition probabilities. Such as type constraints:

$$a_{ij} = 0, j > i + \Delta$$

In particular, for the model shown in Fig. 2, the value of Δ is 2, that is, transitions through more than one state are not allowed.

The matrix of transition probabilities of the hidden part of the model (Fig. 2) has the form:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{bmatrix}$$

From this it is obvious that the transition probabilities for the last state of the left-right model are defined as follows:

$$a_{NN} = 1, a_{Ni} = 0, i < N$$

Since any parameters of the hidden Markov model, initially equal to zero, will retain their zero values even when using the procedure for reestimating model parameters, then imposing restrictions corresponding to the left-right hidden Markov model or models with limited transitions, in fact, does not affect this model in any way. procedure.

There are three main problems associated with the use of a hidden Markov model.

The first problem is reduced to estimating the probability $P(O/\lambda)$ of the occurrence of a sequence of observations $O = O_1, O_2, \ldots, O_t$ (in this case, vectors of audio signal features) for $\lambda = (A, B, \pi)$. The forward-reverse algorithm is used to estimate the likelihood.

The second task is signal recognition. Let a sequence of observations $O = O_1, O_2, \ldots, O_t$ and a hidden Markov model – λ be given. How to choose a sequence of states $Q = q_1 q_2 \ldots q_t$, which will be optimal in some significant sense (for example, best fits the existing sequence of observations). The Viterbi algorithm is used to solve this problem.

The third task is training a hidden Markov model. How should the model parameters $\lambda = (A, B, \pi)$ be adjusted in order to maximize $P(O/\lambda)$. This problem is solved using iterative learning algorithms using the Baum–Welch method, the EM method, or using gradient methods.

Other methods include Support Vector Machines, wavelet analysis, but these algorithms have not found widespread use in acoustic signal recognition systems.

For our purposes, the most promising approach is to build a mathematical model based on a hidden Markov model due to the fact that this class of stochastic models showed the best results in recognizing complex acoustic signals, including continuous speech. In addition to the possibility of sound recognition, the hidden Markov model makes it possible to improve the quality of a signal polluted by noise and distortion, and to synthesize a signal. In addition, this approach shows the highest recognition accuracy.

Conclusions

1. The key point in creating a system for determining the technical condition of an object by sound is the qualitative cleaning of the acoustic signal from noise and the subsequent analysis of the spectral characteristics. The most promising approach for cleaning signals is adaptive filtering, since adaptive filters allow you to work with a signal in which noise characteristics are constantly changing and cannot be predicted. The adaptive filter is adjustable and automatically adjusts to the noise impulse response to minimize filtering errors. In the subsequent analysis, two approaches, wavelet analysis and spectral analysis, can be used. Wavelet analysis is suitable for an in-depth study of the spectral characteristics of a signal, but to create a universal method for processing audio signals to simulate the state of various technical objects, it is more appropriate to use Fourier analysis.

2. The most promising artificial intelligence methods for automatic recognition of acoustic signals are neural networks, hidden Markov models and dynamic programming methods. When building a system for determining the state of a technical object by sound, it is advisable to use an approach based on hidden Markov models, since this method improves the quality of a signal contaminated with noise and distortion, and also shows the highest recognition accuracy.

Список літератури

1. *Savickas D.* Self-propelled sprayers fuel consumption and air pollution reduction. Water, Air & Soil Pollution. 2020. Vol. 231. P. 95. https://doi.org/10.1007/s11270- 020-4466-5.

2. *Meng A.* Modeling and experiments on Galfenol energy self-propelled sprayers. Acta Mechanica. Sinica 2020. https://doi. org/10.1007/s10409-020-00943-6.

3. *Li P.* Design and experimental study of broadband hybrid energy self-propelled sprayers with frequency-up conversion and nonlinear magnetic force. Micro- and Nanosystems Information Storage and Processing Systems. 2020. Issue 5. https://doi.org/10.1007/ s00542-019-04716-5.

4. *Beneš L., Novák P., Mašek J., Petrášek S.* John Deere self-propelled sprayers fuel consumption and operation costs. Engineering for Rural Development. 2015. Vol. 15. P. 13-17.

5. *Craessaerts G., De Baerdemaeker J., Saeys W.* Fault diagnostic systems for agricultural machinery. Biosystems Engineering. 2020. Vol. 106(1). P. 26-36.

6. *Toro A., Gunnarsson C., Lundin G., Jonsson N.* Cereal harvesting – strategies and costs under variable weather conditions. Biosystems Engineering. 2021. Vol. 111(4). P. 429-439.

7. *Findura P., Turan J., Jobbágy J., Angelovič M., Ponjican O.* Evaluation of work quality of the green peas self-propelled sprayers. Research in agricultural engineering. 2019. Vol. 59. P. 56-60.

8. *Hanna H. M., Jarboe D. H.* Effects of full, abbreviated, and no clean-outs on commingled grain during self-propelled sprayers. Applied Engineering in Agriculture. 2021. Vol. 27(5). P. 687-695.

9. *Korenko M., Bujna M., Földešiová D., Dostál P., Kyselica P.* Risk analysis at work in manufacturing organization. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2015. Vol. 63. P. 1493-1497.

10. *Lee D. H., Kim Y. J., Choi C. H., Chung S. O., Nam Y. S., So J. H.* Evaluation of operator visibility in three different cabins type Far-East self-propelled sprayers. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2016. Vol. 9(4). P. 33-44.

11. *Prístavka M., Bujna M.* Use of satatical methods in quality control. Acta Technologica Agriculturae. SUA in Nitra. 2013. Vol. 13. P. 33-36.

12. *Prístavka M., Bujna M., Korenko M.* Reliability monitoring of self-propelled sprayers in operating conditions. Journal of Central European Agriculture. 2013. Vol. 14. P. 1436-1443.

13. *Singh M., Verma A., Sharma A.* Precision in grain yield monitoring technologies: a review. AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America. 2012. Vol. 43(4). P. 50-59.

14. *Žitňák M., Kollárová K., Macák M., Prístavková M., Bošanský M.* Assessment of risks in the field of safety, quality and environment in post-harvest line. Research in Agricultural Engineering. 2015. Vol. 61. P. 26-36.

15. *Žitňák M., Macák M., Korenko M.* Assessment of risks in implementing automated satellite navigation systems. Research in Agricultural Engineering. 2014. Vol. 60. P. 16-24.

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

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

18. *Astashev V., Krupenin V.* Efficiency of vibration machines. Engineering for Rural Development. 2017. Vol. 16. P. 108-113.

19. *Zagurskiy O., 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. P. 64-74.

20. *Тітова Л. Л., Ничай І. М.* Методологічні положення технічного рівня використання комплексу сільськогосподарських машин. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. № 3. P. 151-162. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.151.

21. *Rogovskii I. L.* Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 3. P. 181-187. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181.

22. *Rogovskii I. L.* Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 4. P. 145-150. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.04.145.

23. *Роговський І. Л.* Алгоритмічність визначення періодичності відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 1. P. 155-162. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.01.155.

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

25. *Rogovskii Ivan.* Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 2016. Vol. 18. No 3. P. 155–164.

26. *Роговський І. Л.* Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143-150. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.143.

27. *Роговський І. Л.* Моделі формування альтернатив інженерного менеджменту в методах підвищення виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137.

References

1. *Savickas D*. (2020). Self-propelled sprayers fuel consumption and air pollution reduction. Water, Air & Soil Pollution. 231. 95. https://doi.org/10.1007/ s11270- 020-4466-5.

2. *Meng A*. (2020). Modeling and experiments on Galfenol energy self-propelled sprayers. Acta Mechanica. Sinica. https://doi. org/10.1007/s10409-020-00943-6.

3. *Li P*. (2020). Design and experimental study of broadband hybrid energy self-propelled sprayers with frequency-up conversion and nonlinear magnetic force. Micro- and Nanosystems Information Storage and Processing Systems. 5. https://doi.org/10.1007/ s00542-019-04716-5.

4. *Beneš L., Novák P., Mašek J., Petrášek S.* (2015). John Deere self-propelled sprayers fuel consumption and operation costs. Engineering for Rural Development. 15. 13-17.

5. *Craessaerts G., De Baerdemaeker J., Saeys W*. (2020). Fault diagnostic systems for agricultural machinery. Biosystems Engineering. 106(1). 26-36.

6. *Toro A., Gunnarsson C., Lundin G., Jonsson N*. (2021). Cereal harvesting – strategies and costs under variable weather conditions. Biosystems Engineering. 111(4). 429-439.

7. *Findura P., Turan J., Jobbágy J., Angelovič M., Ponjican O*. (2019). Evaluation of work quality of the green peas self-propelled sprayers. Research in agricultural engineering. 59. 56-60.

8. *Hanna H. M., Jarboe D. H*. (2021). Effects of full, abbreviated, and no clean-outs on commingled grain during self-propelled sprayers. Applied Engineering in Agriculture. 27(5). 687-695.

9. *Korenko M., Bujna M., Földešiová D., Dostál P., Kyselica P*. (2015). Risk analysis at work in manufacturing organization. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 63. 1493-1497.

10. *Lee D. H., Kim Y. J., Choi C. H., Chung S. O., Nam Y. S., So J. H*. (2016). Evaluation of operator visibility in three different cabins type Far-East self-propelled sprayers. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 9(4). 33-44.

11. *Prístavka M., Bujna M*. (2013). Use of satatical methods in quality control. Acta Technologica Agriculturae. SUA in Nitra. 13. 33-36.

12. *Prístavka M., Bujna M., Korenko M*. (2013). Reliability monitoring of self-propelled sprayers in operating conditions. Journal of Central European Agriculture. 14. 1436-1443.

13. *Singh M., Verma A., Sharma A*. (2012). Precision in grain yield monitoring technologies: a review. AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America. 43(4). 50-59.

14. *Žitňák M., Kollárová K., Macák M., Prístavková M., Bošanský M*. (2015). Assessment of risks in the field of safety, quality and environment in post-harvest line. Research in Agricultural Engineering. 61. 26-36.

15. *Žitňák M., Macák M., Korenko M*. (2014). Assessment of risks in implementing automated satellite navigation systems. Research in Agricultural Engineering. 60. 16-24.

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

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

18. *Astashev V., Krupenin V.* (2017). Efficiency of vibration machines. Engineering for Rural Development. 16. 108-113.

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

20. *Titova L. L., Nichay I. M*. (2020). Methodological provisions of technical level of use of complex of agricultural machines. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(3). 151-162. http://dx.doi.org/ 10.31548/machenergy2020.03.151.

21. *Rogovskii I. L.* (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10(3). 181-187. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181.

22. *Rogovskii I. L.* (2019). Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10(4). 145-150. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019. 04.145.

23. *Rogovskii I. L.* (2020). Algorithmicly determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(1). 155-162. http://dx.doi.org/10.31548/ machenergy2020.01.155.

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

25. *Rogovskii Ivan*. (2016). Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 18(3). 155-164.

26. *Rogovskii I. L.* (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(3). 143-150. http://dx.doi.org/ 10.31548/machenergy2020.03.143.

27. *Rogovskii I. L.* (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137.

СКРЫТЫЕ МАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ САМОХОДНЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

И. С. Любченко

Аннотация. Основным показателем, используемым при исследовании надежности

являются скрытые марковские опрыскиватели, под которым понимается вероятность того, что самоходный опрыскиватель окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме запланированных периодов, в течение которых применение самоходных опрыскивателей по назначению не предполагается. Вывод аналитического выражения для скрытых марковских моделей технического контроля параметров технического состояния самоходных опрыскивателей – довольно трудоемкая операция. Трудоемкость растет с усложнением графа, то есть при стремлении учесть больше технических состояний, факторов, влияющих на процесс технического контроля самоходных опрыскивателей. В этой связи решение задачи такого плана целесообразно проводить с помощью имитационной модели. С помощью инструмента моделирования Stateflow программного пакета Matlab разработана модель, позволяющая моделировать дискретно-событийные модели. Модель самоходных опрыскивателей среди Stateflow для оценки коэффициента готовности при проведении технического контроля над программами. Результатами имитационного моделирования являются значения скрытых марковских моделей технического контроля параметров технического состояния самоходных опрыскивателей при различных программах технического контроля, что позволяет сделать выводы о влиянии программы технического контроля самоходных опрыскивателей на значение коэффициента готовности.Вероятности ошибок при этом варьировались в пределах от 0 до 1, что вполне обосновано в случаях, когда технический контроль отличается только местом измерения параметра технического состояния, а средства измерения одинаковы. Автором установлено, что коэффициент готовности чувствителен к ошибке второго рода в данном случае. Пути дальнейших исследований встречаются в исследовании других программ технического контроля самоходных опрыскивателей, в которых коэффициент готовности чувствителен к вероятности ошибок первого рода.

Ключевые слова: имитационная модель, коэффициент готовности, самоходный опрыскиватель, технический контроль.

СКРИТІ МАРКІВСЬКІ МОДЕЛІ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ САМОХІДНИХ ОБПРИСКУВАЧІВ

І. С. Любченко

Анотація. Основним показником, що використовується для дослідження надійності є скрытые марковские модели технического контроля параметров технического состояния самоходных опрыскивателей, під яким розуміється ймовірність того, що самохідний обприскувач опиниться у працездатному стані у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких застосування самохідних обприскувачів за призначенням не передбачається. Виведення аналітичного виразу для скрытых марковских моделей технического контроля параметров технического состояния самоходных опрыскивателей – досить трудомістка операція. Трудомісткість зростає з ускладненням графа, тобто при прагненні врахувати більше технічних станів, чинників, які впливають процес технічного контролю самохідних обприскувачів. У зв'язку з цим розв'язання задачі такого плану доцільно проводити за допомогою імітаційної моделі. За допомогою інструменту моделювання Stateflow програмного пакету Matlab розроблено модель, яка дозволяє моделювати дискретно-подійні моделі. Модель самохідних обприскувачів серед Stateflow для оцінювання коефіцієнта готовності під час проведення технічного контролю за програмами. Результатами імітаційного моделювання є значення скрытых марковских моделей технического контроля параметров технического состояния самоходных опрыскивателей при різних програмах технічного контроля, що дозволяє зробити висновки про вплив програми технічного контролю самохідних обприскувачів на значення коефіцієнта готовності. Імовірності помилок при цьому варіювалися в межах від 0 до 1, що цілком обґрунтовано у випадках, коли технічний контроль відрізняється лише місцем вимірювання параметру технічного стану, а засоби вимірювання при цьому однакові. Авторкою встановлено, що коефіцієнт готовності чутливий до помилки другого роду в даному випадку. Шляхи подальших досліджень зустрічаються у дослідженні інших програм технічного контролю самохідних обприскувачів, у яких коефіцієнт готовності чутливий до ймовірності помилок першого роду.

Ключові слова: імітаційна модель, коефіцієнт готовності, самохідний обприскувач, технічний контроль.

І. С. Любченко ORCID 0000-0001-5259-1760.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 153-160
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.04.153

UDC 631.1.004

TECHNOLOGICITY OF MAINTENANCE OF COMBINE HARVESTERS SYSTEMS DURING STORAGE

I. M. Kuzmich

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

Speciality of article: 133 – industry engineering.

Corresponding author: beliy1994@meta.ua.

Article History: Received – June 2021, Accepted – November 2021, Published – 17 December 2021.
Bibl. 26, fig. 4, tabl. 0.

Abstract. The solution of universal, global problems of energy and resource conservation in both mechanical engineering and agro-industrial complex are inextricably linked with the solution of issues of protection of machinery from corrosion.

Modern agricultural machinery, and self-propelled combine harvesters in particular, are operated periodically for one or two seasons a year. Most combine harvesters are stored in the open areas of agro-industrial enterprises, and it is exposed to aggressive environmental influences (fluctuations in temperature, humidity, wind, solar radiation, dust and others). The main type of environmental impact on the equipment is atmospheric corrosion and the corrosion wear caused by materials, parts and components, which leads to its premature failure. Thus, the fatigue strength of steel products when stored for 12 months in the open reduces by 28–58%.

To ensure temporary corrosion protection of combine harvesters, a large number of conservation and working-conservation oils are used. However, the unresolved number of issues of theoretical and practical nature leads to the unjustified use of protective equipment, which either does not provide the required duration of storage of equipment, or increase the cost of its preservation. Standardized methods of testing anti-corrosion lubricants in the vast majority have a number of disadvantages, the most important of which is that the evaluation of protective properties is carried out in units that do not allow to estimate their service life, but only show the corrosion of the metal.

Key words: anticorrosiveness, lubricants, safety, efficiency, combine.

Introduction

The analysis of existing scientific works shows that a significant amount of research is devoted to the problems of bush-roller chains [1], their maintenance and storage of scientists, research and other institutes and organizations.

Summarizing the results of the work shows:

1. The actual consumption of bushing-roller chains type PR-19,05-3180 per 100 combines is 2.5 times higher than the established norm [2]. The reason – violation of operating instructions, as a consequence – their premature rejection, ie. until the pledged resource is exhausted [3].

2. Removal of bushing and roller chains from agricultural machinery creates great inconvenience during current and capital repairs, as well as during off-season maintenance [4]. To test the efficiency of many parts, assemblies and units of most complex agricultural machines, drive chains must be installed, and after inspection and adjustment – removed and put into storage with all technological operations of conservation, which increases labor costs from 7% to 10-13 % of the total regulatory complexity of storage of the combine [5]. The main reasons for the violation are the complexity of technological processes, weak material and technical base of rural enterprises, great inconvenience associated with the removal and storage [6].

3. The using sleeve-roller chains for their intended purpose and during storage, the joints are not insulated from moisture and abrasive particles [7]. Therefore [8], the improvement of service technology is a reserve for increasing the service life of drive chains. To reduce the impact of climatic influences and further aging and wear of bush-roller chain joints, the choice of technological conservation materials, including additives based on non-ferrous metal nanoparticles, is a priority [9].

Formulation of problem

Based on the above to achieve the goal of research in this article, the following research objectives are formulated:

- to carry out a comparative assessment of corrosion resistance of preservative materials, including nanostructured aluminum hydroxide (AlOOH – boehmite) [10];
- to determine the effect of nanostructured aluminum hydroxide (AlOOH – boehmite) on the lubricating properties of preservatives, on the example of sleeve-roller chains [11];
- to determine the regularity of the wear process and the optimal elongation of the sleeve-roller chains of combine harvesters depending on the methods of storage and lubrication during the intended use [12].

Analysis of recent research results

The sequence of the program cycle of experimental researches included a complex technique of research of influence of preservative materials on working capacity of bushing-roller chains of combine harvesters and consecutive elimination of the least effective of them [13].

The method of studying the protective properties of conservative materials included:

- study of corrosion resistance of samples of steel grade 3 in the humidity chamber H-4 [14];
- bench tests of samples of steel grade 3 under open atmosphere conditions [15];
- study of the influence of storage conditions and protective composition on the preservation of sleeve-roller chains [16].

In the laboratory, the study was performed on samples of steel grade 3 in the humidity chamber H-4 [17]. Given the geometric dimensions of the chamber, steel samples for testing were made with a size of 60 × 70 × 2 mm [18]. Before applying the studied conservative materials [19], they were marked [20]. Preservative materials were applied to the prepared samples by immersion and kept for 24 hours at room temperature [21], then placed in a humidity chamber H-4 [22]. Examination of samples and weighing was performed after 24, 48, 72, 120, 240, 360, 420 and 720 hours [23]. Evaluation of the protective ability of preservative materials was performed by gravimetric method and consisted in establishing the loss of mass per unit area of the test sample per unit time [24-26].

Purpose of research

The purpose of research is to develop a more efficient technological process of combine harvester systems during storage.

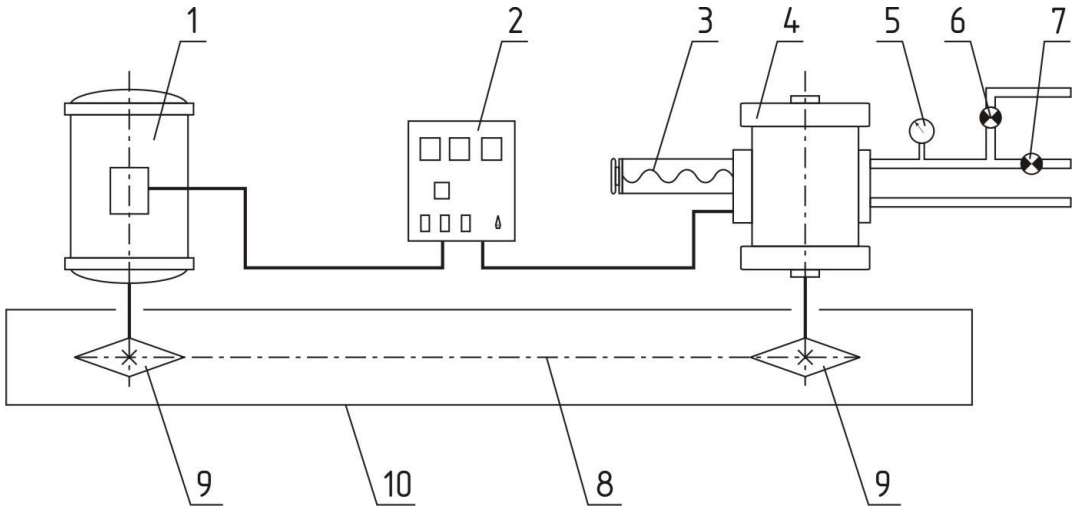
Research results

In order to verify and obtain more reliable results, bench tests of conservation compositions were conducted in open atmosphere conditions. The tests were performed on steel samples similarly to laboratory tests and on samples of sleeve-roller chains. In order to reduce the cost of research, the most effective conservation materials were selected based on the results of accelerated testing. The total duration of the tests was 1 year, which made it possible to simulate the real specifics of storing agricultural machinery. The test sites were inspected daily for the first 10 days and then every 2, 3, 6, 9 and 12 months.

To study the influence of storage conditions and protective composition on the storage of sleeve-roller chains, samples of sleeve-roller chains with a step of 19.05 mm were selected. The installation of chains on the stand simulated the conditions of their storage directly on agricultural machinery in a weakened state. Studies on each storage and conservation option were performed six times over 1 year.

Methods of research of influence of storage conditions and conservation materials on the process of wear of sleeve-roller chains. A characteristic feature of the method is the study on the stand for resource testing of sleeve-roller chains.

A stand has been set up for testing (Fig. 1) testing of chains with a range of 19.05 and 25.4 mm, belts and other products that can be connected in a closed loop. To simulate the operating conditions and ensure forced wear, 100 g of granular quartz sand (particle size – 0.8…1.6 mm) was fed to the sleeve-roller chain every two hours of operation. The number of teeth of the stars Z = 19, the value of the rotational speed of the stars of the chain transmission was recorded by a universal tachometer ATT-9006 with a laser marker. The mode of testing the circuit circuit is as follows: frequency of rotation of the motor and brake shafts – 1700 min^{-1} (chain speed 9.86 m/s), load in the leading branch of the chain – 1000 N. Duration of tests of one circuit – 50 hours.

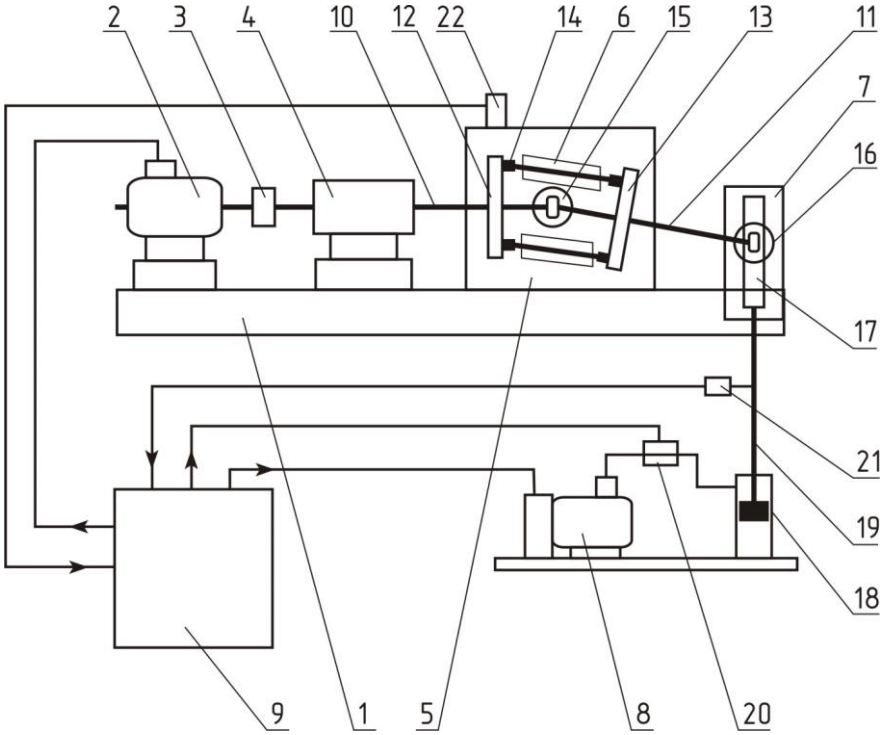


1 – motor shaft; 2 – control panel; 3 – screw; 4 – powder brake; 5 – manometer; 6 – bypass crane; 7 – the inlet crane; 8 – sleeve-roller chain; 9 – asterisk; 10 – protective cover

Fig. 1. Scheme of the stand for resource testing of sleeve-roller chains

The influence of storage conditions and protective composition on the wear of the samples of the chains was assessed by the value of the relative elongation by measuring their average pitch.

Methods of research of influence of storage conditions and preservative materials on fatigue strength of sleeve-roller chains. The main task was to obtain the fatigue characteristic of the sleeve-roller chains, which expresses the decrease in the strength of the chains depending on the service technology and the number of cycles of load change. In order to determine the residual life of the sleeve-roller chains after 50 h of resource tests they were disassembled into sections of 7 links and tested for fatigue strength (at N = 6 · 106 cycles) on a reliable and multifunctional stand (Fig. 2) with remote control for dynamic fatigue strength tests of multi-link and elastically deformed products, including at combined cyclic tensile, bending and torsional loads.



1 – base; 2 – electric motor; 3 – coupling; 4 – bearing support; 5 – protective screen; 6 – tested products; 7 – device for adjusting tensile forces; 8 – compressor; 9 – control unit; 10, 11 – shaft; 12, 13 – flange; 14 – fastening; 15, 16 – hinge of rotation; 17 – support slider; 18 – pneumatic cylinder; 19 – stock; 20 – solenoid valve; 21, 22 – contact sensors

Fig. 2. Scheme of the stand for dynamic tests for fatigue strength of multi-link and elastically deformed products

The stand is designed to work like this. When the stand is turned off, open the protective screen 5, which covers the mechanism of cyclic stretching, and fix it in the product 6 in the form of four segments of 5-7 links of drive single-row roller chains type PR with a range of 12.7-25.4 mm Next, include the compressor 8 and the pneumatic cylinder 18 supply air at an initial pressure of 0.05 MPa, include the motor 2, the speed of which is regulated from the control panel in the range of 1500...2500 min^{-1}, increase the air pressure in the pneumatic cylinder 18 to 0.19–0.4 MPa. Test time – 50…70 hours.

The method of studying the process of wear of the sleeve-roller chains of combine harvesters in operation provided for the study of the dynamics of the wear of drive chains depending on the method of maintenance during their intended use and storage without removal from combine harvesters. The bushing-roller chain from the drive shaft to the lower shaft of the reel variator (81 links) of the combine was convenient for research in the operating conditions. Measurements of chain wear were performed as often as possible, during daily maintenance, during forced downtime of combines due to breakage, wet bread mass, etc.

The analysis of the factors influencing the process of wear of bushing-roller chains and the requirements for the mathematical description of this process showed that the deviation of the state parameter depending on the operating time should be approximated by a random ordered function with increasing realizations and its indicators:

$$u(t) = b + v \cdot t^{a}, \qquad (1)$$

where b – the rate of sub-chain; v – the rate of wear of the chain; a – indicator of the degree of function; t – operating time.

As a criterion for optimizing the dynamics of chain elongation used a universal economic criterion - the minimum unit cost per unit of machine operation. In the process of determining it, we found the optimal values of the deviations of the state parameters allowed using the TurboNec program:

$$G = \min_{0 \le D_0 \le 1} \left[\frac{A \cdot Q(D_0)}{T_0(D_0)} + \frac{C \cdot (1 - Q(D_0))}{T_0(D_0)} \right], \qquad (2)$$

where $Q(D_0)$ – failure probability, $T_0(D_0)$ – average actual resource of the circuit; A – the average cost of eliminating the consequences of failure; C – the average cost of individual preventive diagnosis.

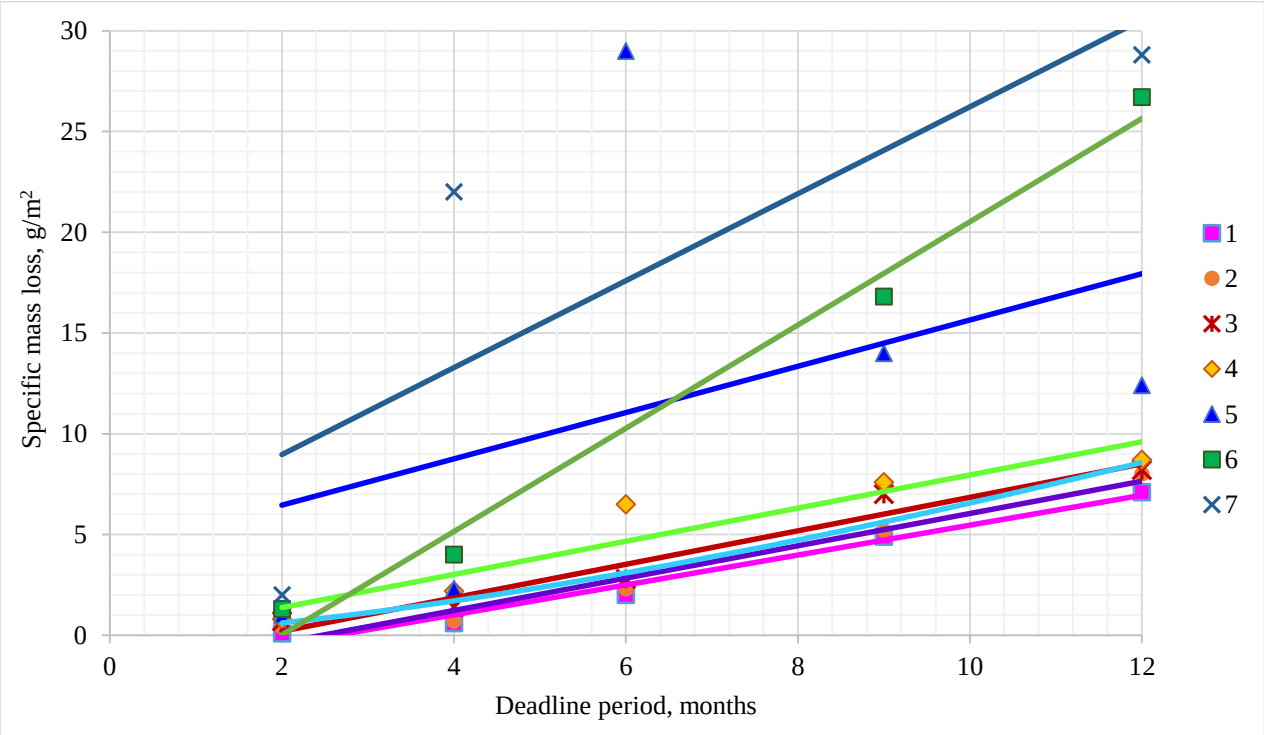
The article defines the criteria for choosing rational ways of servicing bushing and roller chains during storage and using them for their intended purpose.

Accounting for maintenance costs was performed according to two criteria:

1. according to the minimum value of the sum of the given expenses at storage, $\sum C_{Si} \rightarrow$ min, UAH;
2. at the minimum cost during the maintenance of chains when using them for their intended purpose, at $C_{Ei} \rightarrow$ min, UAH.

Thus, the most rational way to maintain the chain will be the use of conservation material and the technology in which costs will be minimal while minimizing costs during storage and during the use of chains for their intended purpose.

Figure 3 shows a graph of corrosion resistance of samples of steel grade 3, coated with preservatives. Analysis of the test results shows that the best protection of the samples provides the composition of Mayakor, because the value of corrosion losses is 6.8 g/m^2, which is 10% lower than in the compositions Rosoil-700 and NG-222A, whose corrosion resistance is 22 times higher compared to control samples without protection. Warehouses Rosoil-710, ARVK + (I-20 + AKOR-1 (10%)), Rosoil-710 + ARVK also have high protective properties. Depending on the composition, the corrosion resistance of the samples increases by 60…90% against the control samples.



1 – Mayakor; 2 – NG-222A; 3 – Rosoil-700; 4 – Rosoil-700 + ARVK; 5 – Rosoil-710; 6 – ARVC + (I-20 + ACOR-1); 7 – Control samples (without protection)

Fig. 3. Corrosion resistance of steel samples Steel 3 in an open atmosphere

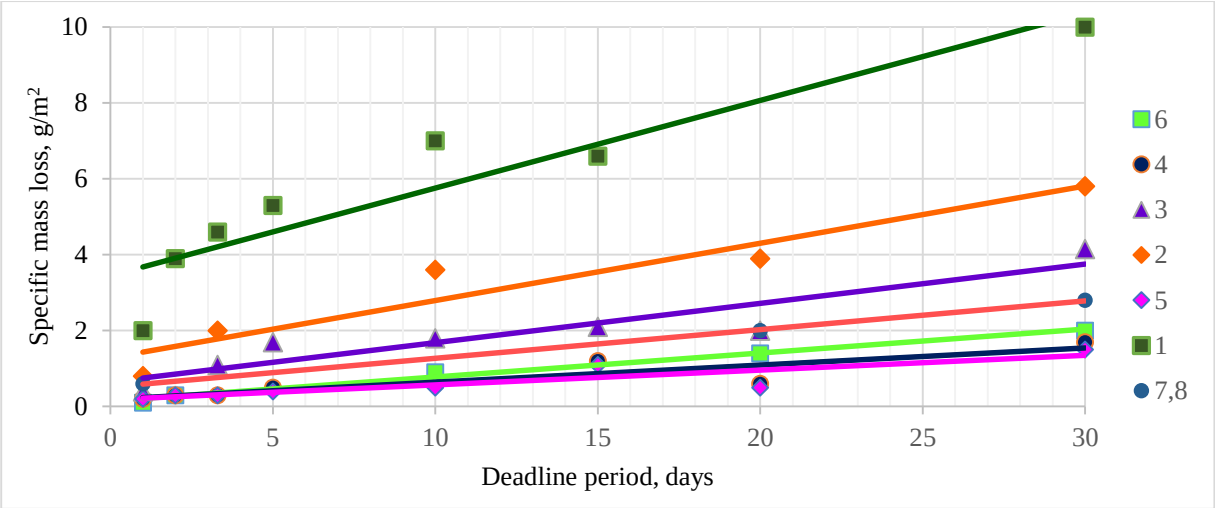
Of particular interest are studies of the corrosion resistance of preservative compositions containing nanopowder based on aluminum hydroxide (*AlOOH* - boehmite). According to the results of previous tests, the most effective conservation materials were selected for this purpose: Mayakor and Rosoil-700. The test results show (Fig. 4) that boehmite increases corrosion resistance by 25...85%.

The explanation for the increase in anticorrosive properties of preservatives with the addition of boehmite is its sorbent properties. The content of 1% *AlOOH* in the preservative material significantly increases the corrosion resistance, which indicates that chemical adsorption processes are taking place. Boehmite absorption of water from the environment, accompanied by the formation of chemical compounds $AlOOH + H_2O \rightarrow Al(OH)_3$ - Hydrogel.

Chemisorption processes are accompanied by the formation of a bond between the adsorbent molecules and the adsorbate. In this case, chemisorption takes place with the formation of *Al (OH)*$_3$, this is one of its qualities, which ensures the manufacturability of materials of this type. In a narrower sense, this process can be considered as the chemical absorption of water by the developed surface of the preservative material due to *AlOOH*, ie as chemical adsorption.

The experimental curves are described by the power function $u(t)=v \cdot t^{\alpha}$. Approximation and smoothing are made by means of Excel by the method of least squares, the value of reliability of approximation (R^2) varies within 0,734...0,997 that speaks about high accuracy of the received results.

The curves constructed in the MathCad 13.0 software environment are described by the function $u(t) = b + v \cdot t^{a}$, the standard deviation $\sigma = 0{,}047\ldots0{,}247$ mm.



1 – Rosoil-700; 2 – Mayakor; 3 – Mayakor + 1% AlOOH; 4 – Mayakor + 3% AlOOH; 5 – Mayakor + 5% AlOOH; 6 – Rosoil-700 + 1% AlOOH; 7 – Rosoil-700 + 3% AlOOH; 8 – Rosoil-700 + 5% AlOOH

Fig. 4. Corrosion resistance of steel samples Steel 3 in the chamber H-4

The testing samples of sleeve-roller chains for fatigue strength (Fig. 4) after the period of off-season storage in the open atmosphere and after resource tests on the stand, straight lines were obtained, which clearly show the decrease in chain strength from the number of load change cycles and the applied conservation composition.

Conclusions

1. For the first time the results of corrosion resistance of steel samples of Steel 3, covered with preservative materials with a content of 1…5% of nanostructured aluminum hydroxide (*AlOOH* - boehmite). It is established that the corrosion losses of the samples are reduced by 25...85%.

2. Comparative tests of chains showed that the best lubricating properties have preservatives NG-222A optimal optimum value of elongation of samples of chains is 6,044, 6,468 mm, respectively, which is 17...25% higher than the optimum allowable value of chain elongation.

3. It is established that the presence of nanocrystalline aluminum hydroxide (*AlOOH* - boehmite) in conservation materials reduces the wear of chain samples by 1.8… 2.2 times. The peculiarity of this process is explained by the fact that in the initial period of the boehmite chain exhibits plastic properties similar to graphite, but with increasing temperature in the friction node, boehmite sintering occurs, which turns into corundum with a more stable crystal lattice.

Corundum grinds the surface at the time of loading and heating. It is a solid porous material that helps to retain oil, which explains the increase in wear-resistant properties of preservatives.

4. The regularities of the process of wear of sleeve-roller chains in the conditions of operation are established and it is proved that the service life of chains with the use of preservative materials has increased by 50… 60%. With the help of the mathematical software package MathCAD 13.0 the function of the wear process $u(t)=b+v\cdot t^a$ and the indicators of running-in (b), wear rate (v) and degree of function (a) are determined.

Список літератури

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

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

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

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

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

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

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

8. *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. P. 64-74.

9. *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.

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

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

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

13. *Роговський І. Л.* Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143–150.

14. *Тітова Л. Л.* Моделювання перехідних процесів динамічної моделі силової енергетичної установки машин для лісотехнічних робіт. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 147-154.

15. *Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R.* Determiantion of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4(7(112). P. 41–49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021. 239292.

16. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Gumenyuk Yu. O., Nadtochiy O. V.* Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 839. P. 052055. https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055.

17. *Palamarchuk Igor, Rogogvskii Ivan, Titova Liudmyla, Omelyanov Oleg*. Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. Engineering for Rural Development. 2021. Vol. 20. P. 1761-1767. https://doi.org/10.22616/ERDev.2021. 20.TF386.

18. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Solomka O. V.* Research of sliding bearings with reverse friction pair and inlaid liners made of thermoplastic composite materials. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1889. P. 042010. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/4/04 2010.

19. *Rogovskii I. L., Titova L. L.* Design of landing of assembly machine building units with circulating load rolling bearing rings. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1889. P. 042004. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/4/042004.

20. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Berezova L. V.* Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. P. 032032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032.

21. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Ohiienko M. M.* Research of garden sprayer machines of near-stem and inter-stem strips of orchards. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. P. 022035. https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022035.

22. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Sivak I. M.* Research of machines for mulching near-trunk strips in perennial fruit plantations. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. P. 042041. https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/4/042041.

23. *Rogovskii I. L., Titova L. L.* Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 720. P. 012110. https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110.

24. *Rogovskii I. L., Titova L. L.* Modeling of normativity of criteria of technical level of forage harvesters combines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 720. P. 012109. https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012109.

25. *Rogovskii I. L., Titova L. L.* Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. P. 022100. https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022100.

26. *Kuzmich I. M., Rogovskii I. L., Titova L. L., Nadtochiy O. V.* Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. P. 052002. https://doi.org/ 10.1088/ 1755-1315/677/5/052002.

References

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

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

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

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

5. *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.

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

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

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

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

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

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

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

13. *Rogovskii I. L.* (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 11(3). 143–150.

14. *Titova L. L.* (2021). Simulation of transitional processes of dynamic model of power energy installation of machines for forestry works. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 147-154.

15. *Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R.* (2021). Determiantion of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 4(7(112). 41–49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021. 239292.

16. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Gumenyuk Yu. O., Nadtochiy O. V.* (2021). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 839. 052055. https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055.

17. *Palamarchuk Igor, Rogogvskii Ivan, Titova Liudmyla, Omelyanov Oleg*. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. Engineering for Rural Development. 20. 1761-1767. https://doi.org/10.22616/ERDev.2021. 20.TF386.

18. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Solomka O. V.* (2021). Research of sliding bearings with reverse friction pair and inlaid liners made of thermoplastic composite materials. Journal of Physics: Conference Series. 1889. 042010. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/4/04 2010.

19. *Rogovskii I. L., Titova L. L.* (2021). Design of landing of assembly machine building units with circulating load rolling bearing rings. Journal of Physics: Conference Series. 1889. 042004. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1889/4/042004.

20. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Berezova L. V.* (2021). Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 723. 032032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032.

21. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Ohiienko M. M.* (2021). Research of garden sprayer machines of near-stem and inter-stem strips of orchards. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 723. 022035. https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022035.

22. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Sivak I. M.* (2021). Research of machines for mulching near-trunk strips in perennial fruit plantations. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 723. 042041. https://doi.org/ 10.1088/1755-1315/723/4/042041.

23. *Rogovskii I. L., Titova L. L.* (2021). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 720. 012110. https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110.

24. *Rogovskii I. L., Titova L. L.* (2021). Modeling of normativity of criteria of technical level of forage harvesters combines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 720. 012109. https://doi.org/ 10.1088/1755-1315/720/1/012109.

25. *Rogovskii I. L., Titova L. L.* (2021). Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 677. 022100. https://doi.org/ 10.1088/1755-1315/677/2/022100.

26. *Kuzmich I. M., Rogovskii I. L., Titova L. L., Nadtochiy O. V.* (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 677. 052002 https://doi.org/ 10.1088/ 1755-1315/677/5/052002.

ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ПРИ ЗБЕРІГАННІ

І. М. Кузьмич

Анотація. Вирішення загальнолюдських, глобальних проблем енерго- та ресурсозбереження як у машинобудуванні, так і в агропромисловому комплексі нерозривно пов'язані з вирішенням питань захисту техніки від корозії.

Сучасна сільськогосподарська техніка, і самохідні зернозбиральні комбайни зокрема, експлуатуються

періодично протягом одного або двох сезонів на рік. Більшість зернозбиральних комбайнів зберігається на відкритих майданчиках підприємств агропромислового комплексу, при цьому вона піддається агресивному впливу довкілля (коливанням температури, вологості, впливу вітру, сонячної радіації, пилу та інших). Основним видом впливу зовнішнього середовища на техніку є атмосферна корозія та викликане нею корозійне зношування матеріалів, деталей та вузлів, що призводить до її передчасних відмов. Так втомна міцність виробів із сталі при зберіганні протягом 12 місяців на відкритому майданчику знижується на 28–58%.

Для забезпечення тимчасового протикорозійного захисту зернозбиральних комбайнів застосовується велика кількість консерваційних та робітничо-консерваційних мастил. Однак невирішеність низки питань теоретичного та практичного характеру призводить до необґрунтованого застосування захисних засобів, які або не забезпечують необхідну тривалість зберігання техніки, або збільшують витрати на її консервацію. Стандартизовані методи випробувань антикорозійних мастильних матеріалів в переважній кількості мають велику кількість недоліків, найголовнішим з яких є те, що оцінка захисних властивостей проводиться в одиницях, які не дозволяють оцінити термін їхньої дії, а лише показують величину корозії металу.

Ключові слова: антикорозійність, мастильні матеріали, збереженість, ефективність, комбайн.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ ЗЕРНОСБОРНЫХ КОМБАЙНОВ ПРИ ХРАНЕНИИ

И. М. Кузьмич

Аннотация. Решение общечеловеческих, глобальных проблем энерго- и ресурсосбережения как в машиностроении, так и в агропромышленном комплексе неразрывно связано с решением защиты техники от коррозии.

Современная сельскохозяйственная техника и самоходные зерноуборочные комбайны в частности, эксплуатируются периодически в течение одного или двух сезонов в год. Большинство зерноуборочных комбайнов хранится на открытых площадках предприятий агропромышленного комплекса, к тому же она подвергается агрессивному воздействию окружающей среды (колебаниям температуры, влажности, воздействию ветра, солнечной радиации, пыли и др.). Основным видом воздействия внешней среды на технику является атмосферная коррозия и вызванный ею коррозионный износ материалов, деталей и узлов, что приводит к ее преждевременным отказам. Так усталостная крепость изделий из стали при хранении в течение 12 месяцев на открытой площадке снижается на 28–58%.

Для обеспечения временной противокоррозионной защиты зерноуборочных комбайнов используется большое количество консервационных и рабоче-консервационных масел. Однако нерешенность ряда вопросов теоретического и практического характера приводит к необоснованному применению защитных средств, которые либо не обеспечивают необходимую длительность хранения техники, либо увеличивают расходы на ее консервацию. Стандартизированные методы испытаний антикоррозионных смазочных материалов в подавляющем количестве имеют большое количество недостатков, главным из которых является то, что оценка защитных свойств производится в единицах, не позволяющих оценить срок их действия, а лишь показывающих величину коррозии металла.

Ключевые слова: антикоррозионность, смазочные материалы, сохранность, эффективность, комбайн.

І. М. Кузьмич ORCID 0000-0003-1718-6123.

Зміст

1. Вплив хімічного складу на сегрегацію елементів і властивості сталевої стрічки, що виготовлена методом стрічкового лиття
Є. Г. Афтанділянц 5-13

2. Рух частинки по внутрішній поверхні із заданим меридіаном, яка обертається навколо вертикальної осі
Т. М. Воліна, С. Ф. Пилипака, В. М. Бабка 15-20

3. Технологічна сутність отримання вуглецевих сорбентів на основі рослинної сировини та їх економічна ефективність
О. М. Калівошко, М. Ф. Калівошко 21-27

4. Регресійні моделі технологічних процесів післязбиральної обробки зерна
Є. В. Михайлов, Н. О. Задосна 29-34

5. Теоретичні дослідження пневмовтрат повітряного теплообмінника побічно-випарного типу тваринницьких приміщень
Г. М. Калетнік, В. М. Яропуд 35-41

6. Відновлення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин нанесенням зносостійких покрить
Ю. Б. Паладійчук, Ю. М. Мельник 43-52

7. Організації транспортно-логістичних систем постачань харчових продуктів
О. М. Загурський, Т. С. Жураковська 53-59

8. Математичне моделювання стабільності механічної системи дискатора
О. В. Козаченко, К. В. Сєдих, О. М. Шкрегаль 61-66

9. Підвищення виходу біогазу при зброджуванні гною великої рогатої худоби з відходами виноробства в біогазових установках
В. М. Поліщук, С. А. Шворов, Г. В. Крусір, Д. А. Дерев'янко, Є. О. Дворник, Т. С. Давиденко 67-76

10. Синтез енергоощадних транспортно-технологічних систем з гвинтовими робочими органами
І. І. Чвартацький, І. В. Фльонц, А. В. Грабар, Р. В. Шатров 77-84

11. Моніторинг технічного стану сільськогосподарської техніки за керівними матеріалами на її експлуатацію
А. В. Новицький, І. С. Харьковський, Ю. А. Новицький 85-93

12. Алгоритм з оптимізації виробничих процесів і операцій пасажирських автоперевезень
С. І. Бондарєв 95-101

13. Математичне моделювання ґрунтообробного агрегату в системі «ґрунт-агрегат-енергетичний засіб» для Strip-Till технології обробітку ґрунту
Л. П. Середа, Д. А. Ковальчук 103-108

14. Підвищення якості протруювання насіння сільськогосподарських культур за допомогою комбінованої обробки
О. М. Вечера, В. В. Куянов 109-115

15. Експериментальні дослідження ефективності використання безпілотних літальних апаратів при вирощуванні агрокультур
В. М. Зубко 117-128

16. Аналітичність комплексних критеріїв оцінки виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах інтенсифікацією інженерного менеджменту
І. Л. Роговський 129-138

17. Твердість – об'ємна характеристика матеріалу
О. Є. Семеновський, Л. Л. Тітова, О. В. Михнян 139-144

18. Скриті марківські моделі технічного контролю параметрів технічного стану самохідних обприскувачів
І. С. Любченко 145-151

19. Технологічність обслуговування систем зернозбиральних комбайнів при зберіганні
І. М. Кузьмич 153-160

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 163*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

Contents

1. Chemical composition influence on element segregation and properties of steel strip manufactured by strip casting route
Ye. G. Aftandiliants 5-12

2. Movement of particle on inner surface with preset meridian, which rotates around vertical axis
T. M. Volina, S. F. Pylypaka, V. M. Babka 15-20

3. Technological essence of carbon production sorbents based on vegetable raw materials and their economic efficiency
O. M. Kalivoshko, M. F. Kalivoshko 21-27

4. Regression models of technological processes post-harvesting grain
E. V. Mikhailov, N. A. Zadosnaya 29-34

5. Theoretical studies of air losses of air heat exchanger of indirect-evaporative type of livestock rooms
G. M. Kaletnik, V. M. Yaropud 35-41

6. Restoration resource of working bodies of soil treatment machines by applying wear-resistant coatings
Yu. B. Paladiychuk, Ju. M. Melnik 43-52

7. Food supply transport and logistics system organizations
O. M. Zagurskiy, T. S. Zhurakovska 53-59

8. Mathematical modeling of stability of mechanical system of discator
O. V. Kozachenko, K. V. Syedykh, O. M. Shkrehal 61-66

9. Increased biogas output during fermentation of manure of cattle with winemaking waste in biogas plants
V. M. Polishchuk, S. A. Shvorov, G. V. Krusir, D. A. Derevianko, Ye. O. Dvornyk, T. S. Davidenko 67-76

10. Synthesis of energy-saving transport-technological systems with screw working bodies
I. I. Chvartatskiy, I. V. Flonts, A. V. Grabar, R. V. Shatrov 77-84

11. Monitoring the technical condition of agricultural machinery for guideline materials for its operation
A. V. Novitskiy, I. S. Kharkovskiy, Yu. A. Novitskiy 85-93

12. Algorithm for optimization of production processes and passenger transportation operations
S. I. Bondariev 95-101

13. Mathematical modeling soil tilling unit in the system "soil-aggregate-energy means" for Strip-Till technology soil treatment
L. P. Sereda, D. A. Kovalchuk 103-108

14. Improving the quality of agricultural seed treatment with the combination of combined treatment
O. M. Vechera, V. V. Kuianov 109-115

15. Experimental efficiency studies use of unmanned aircraft in cultivation of agricultural cultures
V. M. Zubko 117-128

16. Analyticity of complex criteria for evaluation of grain production in agricultural enterprises intensification of engineering management
I. L. Rogovskii 129-138

17. Hardness – volumetric characteristic of material
O. Ye. Semenovskyi, L. L. Titova, O. V. Mykhnian 139-144

18. Hidden markov models of technical control of technical condition parameters of self-propelled sprayers
I. S. Liubchenko 145-151

19. Technologicity of maintenance of combine harvesters systems during storage
I. M. Kuzmich..... 153-160

Guidelines for authors (2021)

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

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

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

– Clear and grammatically correct script in English,
– Format of popular Windows text editors (A4 size, 10 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2,0 cm),
– Every page of the paper including the title page, text, references, tables and figures should be numbered,
– SI units should be used.

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

Title, Author(s) name (s), Affiliations, Full postal addresses, Corresponding author's e-mail

Abstract (up to 200 words), Keywords (up to 5 words), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion (a combined Results and Discussion section can also be appropriate), Conclusions (numbered), References, Tables, Figures and their captions.

Note that the following should be observed:

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

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

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

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

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

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

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

Colour figures will not be printed.

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

7. *Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao*. (2021). Quantitative evaluation of residual torque of a loose bolt based on wave energy dissipation and vibro-acoustic modulation: A comparative study. *Journal of Sound and Vibration*. 383. 156-170.

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

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

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

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

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Machinery & Energetics
Journal of Rural Production Research

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

Техніка та енергетика
Журнал наукових досліджень сільськогосподарського виробництва

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

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ВИПУСК 12

№ 4

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

Редактор І. Л. Роговський

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

Здано до набору 22.12.2021 Підписано до друку 22.12.2021
Формат 60×84/16 Папір офсетний.
Наклад 100 прим. Зам. № 1342 від 22.12.2021

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