

Polish Academy of Sciences
University of Engineering and Economics in Rzeszów

MOTROL

**COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS
IN AGRICULTURE**

**AN INTERNATIONAL JOURNAL
ON OPERATION OF FARM
AND AGRI-FOOD INDUSTRY MACHINERY**

Vol. 16, No 3

LUBLIN – RZESZÓW 2014

Editor-in-Chief: Eugeniusz Krasowski

Assistant Editor: Jerzy Grudziński

Associate Editors

1. Agricultural machinery: *Valeriy Dubrovin*, Kiev, *Mariusz Szymanek*, Lublin
2. Machinery of agri-food industry: *Leszek Mościcki*, Lublin
3. Energetics: *Iliya Nikolenko*, Simferopol, *Janusz Wojdalski*, Warszawa
4. Land management, urban planning, architecture and geodesy: *Karol Noga*, Kraków, *Roman Kodaj*, Rzeszów, *Michał Proksa*, Rzeszów, *Lech Lichołaj*, Rzeszów
5. Mathematical, statistics: *Andrzej Kormacki*, Lublin, *Rostislav Bun*, Lviv

Editorial Board

Dariusz Andrejko, Lublin, Poland
Andrzej Baliński, Kraków, Poland
Volodymyr Bulgakow, Kiev, Ukraine
Zbigniew Burski, Lublin, Poland
Karol Cupiał, Częstochowa, Poland
Aleksandr Dashchenko, Odessa, Ukraine
Kazimierz Dreszer, Lublin, Poland
Valeriy Dyadychev, Lugansk, Ukraine
Konstantin Dumenko, Mykolayiv, Ukraine
Dariusz Dziki, Lublin, Poland
Stepan Epoyan, Kharkiv, Ukraine
Sergiy Fedorkin, Simferopol, Ukraine
Jan Gliński, Lublin, Poland
Dimitriy Goncharenko, Kharkiv, Ukraine
Aleksandr Holubenko, Lugansk, Ukraine
L.P.B.M. Jonssen, Groningen, Holland
Stepan Kovalyshyn, Lviv, Ukraine
Józef Kowalczyk, Lublin, Poland
Volodymyr Kravchuk, Kiev, Ukraine
Elżbieta Kusińska, Lublin, Poland
Andrzej Kusz, Lublin, Poland
Janusz Laskowski, Lublin, Poland
Nikołaj Lubomirski, Simferopol, Ukraine
Kazimierz Lejda, Rzeszów, Poland
Dmytro Melnychuk, Kiev, Ukraine
Jerzy Merkisz, Poznań, Poland
Ryszard Michalski, Olsztyn, Poland

Aleksandr Morozov, Simferopol, Ukraine
Janusz Mystowski, Szczecin, Poland
Ignacy Niedziółka, Lublin, Poland
Paweł Nosko, Lugansk, Ukraine
Gennadij Oborski, Odessa, Ukraine
Yurij Osenin, Lugansk, Ukraine
Marian Panasiewicz, Lublin, Poland
Sergiy Pastushenko, Mykolayiv, Ukraine
Iwan Rohowski, Kiev, Ukraine
Józef Sawa, Lublin, Poland
Povilas A. Sirvydas, Kaunas, Lithuania
Volodymyr Snitynskiy, Lviv, Ukraine
Stanisław Sosnowski, Rzeszów, Poland
Ludvikas Spokas, Kaunas, Lithuania
Jarosław Stryczek, Wrocław, Poland
Aleksandr Sydorchuk, Kiev, Ukraine
Wojciech Tanaś, Lublin, Poland
Viktor Tarasenko, Simferopol, Ukraine
Giorgiy F. Tayanowski, Minsk, Bielarus
Leonid Tishchenko, Kharkiv, Ukraine
Henryk Tylicki, Bydgoszcz, Poland
Denis Viesturs, Ulbrok, Latvia
Dmytro Voytiuk, Kiev, Ukraine
Anatoliy Yakovenko, Odessa, Ukraine
Oleg Zaitsev, Simferopol, Ukraine
Tadeusz Złoto, Częstochowa, Poland

All the scientific papers positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Valeriy Dubrovin*

Typeset: *Ivan Rohowski*

Cover design: *Hanna Krasowska-Kołodziej*

Photo on the cover: *Konstantin Dumenko*

Editorial Office address: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture

Wielkopolska Str. 62, 20-725 Lublin, Poland

e-mail: eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl

ISSN 1730-8658

© Copyright by Polish Academy of Sciences 2014

© Copyright by University of Engineering and Economics in Rzeszów 2014

In co-operation with National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine in Kiev 2014

Edition 200+16 egz. Ark. Druku 358

Publishing Office address: AgroMediaGroup

Novokonstantinovska Str. 4a, 04-080 Kiev, Ukraine

CO FERMENTATION OF SUGAR BY-PRODUCTS WITH TYPICAL AGRICULTURAL SUBSTRATES

Vitaliy Kryvoruchko¹, Thomas Amon¹, Barbara Amon¹, Valeriy Dubrovin², Maksym Melnychuk²

*¹Division of Agricultural Engineering, Department of Sustainable Agricultural Systems
University of Natural Resources and Applied Life Sciences*

Str. Peter-Jordan, 82, Vienna, Austria, A-1190

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

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

*Виталий Криворучко¹, Томас Амон¹, Барбара Амон¹, Валерий Дубровин²,
Максим Мельничук²*

*¹Отдел сельскохозяйственного машиностроения, Департамент устойчивого сельскохозяйственной системы, Университет природных ресурсов и прикладных естественных наук
Австрия, г. Вена, ул. Питер-Иорданской, 82, А-1190*

*²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15, 03041*

Summary. Anaerobic digestion (AD) is a promising option for the environmentally friendly recycling of agricultural by-products. However, overloading of the digester with sugar, starch or protein might cause inhibition of the anaerobic processes. The aim of the present project was to investigate the influence of sugar beet by products on biogas yield from a typical mixture of energy crops and animal manure.

The investigated substrates have been: cattle slurry, maize, sorghum and grass silage, sugar beet pulp e (SBP) and sugar beet tail silage (SBT). The difference between untreated SBT to processed SBP. All substrates were digested in 1 l eudiometer-batch digesters at 37.5°C during 28 to 38 days. The specific methane yield of mixtures and various substrates examined. The experiments showed that edition of sugar beet by product to energy crop and slurry mixture results in high methane yield even the achieved methane yield of the mixture was lower the expected.

Key words: anaerobic digestion, biogas, methane yield, by-products, sugar beet pulp, sugar beet tail, potato peel pulp, potato fruit water.

INTRODUCTION

The worldwide high consumption of primary energy is not only causing the global climate change, but as well is the available of primary energy limited. Therefore, the primary energy sources need to be replaced by renewable ener-

gy sources. The energy recovery of animal manure, other organic wastes and energy crops in biogas plants gives a perspective to substitute natural gas by bio-methane. A new European study showed that about 500 billions m³ of bio-methane per year can be produced from organic wastes and energy crops [13]. This amount of bio-methane could completely cover the current demand of natural gas in Europe. Beside the independence of natural gas supplies, the usage of the biogas technology contributes to the reduction of greenhouse gas emissions, the development of rural areas and the creation of new jobs.

The limited knowledge of anaerobic digestibility and methane yield of by-products of sugar beet and starch potato processing is limiting their usage on the one hand and may cause biological-brake down of the biogas plants on the other hand.

Except of the present project, little work on AD and methane yield of by-products from the sugar and starch industry has been done [1, 6]. The low pH value and the high protein and sugar contents in these substrates may cause an acidification of the digester and therefore an inhibition of the methane production [9]. To avoid this danger in biogas plants, these by-products need to be investigated in laboratory experiments and the development of important process parameters has to be recorded. The most important parameters to indicate a possible inhibition of the AD process are: pH, volatile fatty acids and ammonia concentration. Beside these

CO FERMENTATION OF SUGAR BY-PRODUCTS WITH TYPICAL AGRICULTURAL SUBSTRATES

process parameters, it is also important to have knowledge about the development of the biogas composition (methane, hydrogen sulphide and carbon dioxide) during the AD.

The objectives of the present project was to determine the suitable volume and the co-fermentation effects of sugar beet by products within the mixture of other agricultural substrates and manure for biogas production.

MATERIAL AND METHODS

2.1. Substrates

Sugar beet pulp (SBP) and sugar beet tail (SBT) were collected as silages from the AGRANA Zucker Ges.m.b.H. in Tulln, Austria. The proofed mixture of agricultural substrates consists of cattle slurry, maize and sorghum was collected on the Farms in Lower Austria.

2.1.3. Inoculum

Active sludge from a commercial biogas plant in Lower Austria (table 1) was used as inoculum. The substrates of the biogas plant were vegetables, maize silage and sunflower silage. The inoculum was collected from the last part of the horizontal fermenter into a 50 l heatable container. Before sampling the transport

container was filled with argon to insure anaerobic conditions inside.

2.1.1. Determination of methane potential (Experiment A)

The present study included 14 experimental variants. There of six variants were explored in mono digestion. Sugar by-products were analyzed as silage and as dried material. To determine the co-fermentation effects of sugar by-products 6 mixtures with different content (30, 50 and 70% DM) of SBP and SBT were also digested. In the course of the experiment the fermentation process were detailed monitored to recognize any inhibitions or co-fermentation effects of different variants.

2.2. Anaerobic digestion experiments – Determination of the biochemical methane potential

The biochemical methane potential of the by-products was determined in 1 l eudiometer-batch digesters at 37.5°C.

Table 2 shows the nutrient content of the inoculum. In the course of the AD experiment in the laboratory, the specific methane potential of the inoculum was measured as well. The inoculum showed a low specific methane potential of only 15 l_N (kg VS)⁻¹.

Table 1. Parameters of the biogas plant from which the inoculum was taken

Parameter	
Digester type	Horizontal plug flow digester 1 mixing tank 193 m ³
Digester	4 horizontal plug flow digesters 160 m ³ each 1 vertical second stage digester 1885 m ³ 1 storage tank (uncovered) 4825m ³
Digested substrates	Energy crops, vegetables
Temperature in the digester	37°C
Ø hydraulic retention time	15 days h. digester + 55 days second stage
Electrical output	330 kW
Energy production	2 475.000 kWh a ⁻¹

Table 2. Nutrient content of inoculum

Substrate	XP	XL	XF	XA	XX	N	C	GE	C/N	pH	DM	VS
	%	%	%	%	%	%	%	MJ			%	%
	DM	DM	DM	DM	DM	DM	DM	kg ⁻¹			FM	DM
								DM				
Inoculum	14.5	0.8	10.0	47.2	27.5	6.3	27.7	18.0	4.4	7.4	2.4	52.8

XP = crude protein, XL = crude lipids, XF = crude fiber, XA = crude ash, XX = N-free extracts, N = nitrogen, C = carbon, GE = gross energy, DM = dry matter, FM = fresh matter, VS = volatile solids

The experiments were carried out in accordance with VDI 4630 [15] and DIN 38 414–8 [5].

Prior to AD, samples of all substrates were analysed for pH, DM, VS, crude protein, crude lipids, crude fibre, crude ash, N-free extracts, nitrogen and carbon using standard analysing procedures according to VDLUFA Band II.I [16] and VDLUFA Band III [16]. The gross energy content was measured with a calorimeter.

The substrates were digested together with 350 g inoculum. That means on average the DM ratio between substrate and inoculum was 1:3. The DM content in the digesters with SBP and SBT ranged from 3.8 to 4.0%, the DM content in the digesters with PP, PPP and PFW from 3.0 to 3.1% DM.

Each eudiometer consists of six digesters connected to equilibrium vessels, with a septum for gas extraction (Fig. 1). The digesters were placed on magnetic stirrers in a tempered water bath. Specific methane yield from each substrate was measured in three replicates. During AD, the digester content was mixed for 10 minutes every 30 minutes. Biogas was collected in gas-collection tubes connected to the digesters. The amount of biogas produced was monitored every day. Biogas quality (methane, hydrogen sulphide and ammonia) was analysed six times during the experiments. Methane (CH₄) concentration in the biogas was measured using a NDIR analyser (Dräger X-am 7000, Dräger Safety, Lübeck, Germany) with an accuracy of $\pm 1\text{--}3\%$ of the measurement reading. Before each measurement, the analyser was calibrated with CH₄ calibration gas containing 60% CH₄

and 40% CO₂. NDIR readings were validated at regular intervals with gas chromatographic analysis. Hydrogen sulphide (H₂S) and ammonia (NH₃) concentration in the biogas were analysed with the NDIR analyser in combination with Dräger tubes (accuracy $\pm 5\text{--}10\%$ and $10\text{--}15\%$ of the measurement reading, respectively). The biogas and methane production from the inoculum alone was also measured and subtracted from the biogas and methane production from the digesters containing the substrates and inoculum. The specific biogas and methane yields were calculated on the basis of norm conditions: 273 K and 1013 mbar and are given in norm litre per kg of volatile solids (l_N kg VS). In addition, the coefficient of energy efficiency of AD (η) was calculated for each substrate. This coefficient relates the produced methane energy to the gross energy of the substrate.

To control the quality and stability of the fermentation process, measurements of pH were done every second to third day and volatile fatty acids were measured twice during the experiment, at the beginning and at the end using gas chromatography. The fatty acid spectrum examined was C1-C6: acetic acid (HAC), propionic acid (PRO), iso butyric acid (i-BUT), butyric acid (n-BUT), iso valeric acid (i-VAL), valeric acid (n-VAL) and caproic acid (CAP).

2.3. Statistical data analysis

Statistical data analysis was carried out using the software package SPSS (version 12.0, SPSS Inc. 2006).

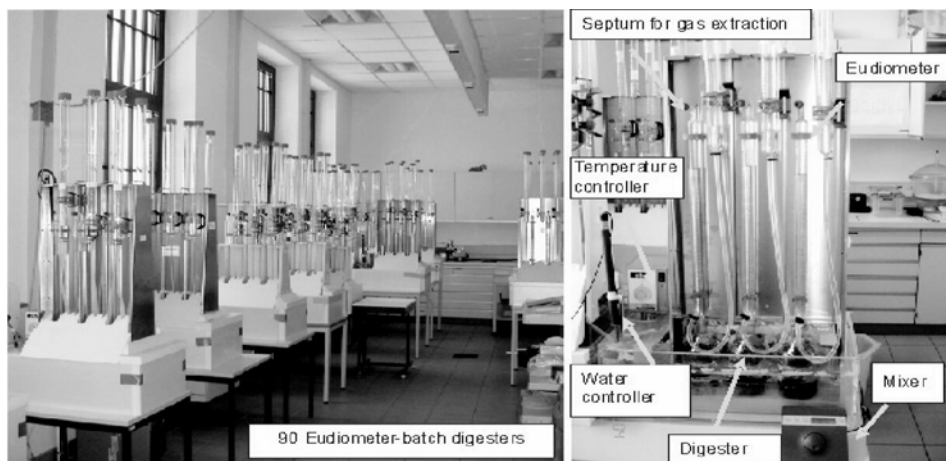


Fig. 1. Eudiometer-batch digester system

CO FERMENTATION OF SUGAR BY-PRODUCTS WITH TYPICAL AGRICULTURAL SUBSTRATES

In first step, the descriptive statistics were done, determining means, standard deviations and frequency distributions of the data. Differences in the specific biogas and methane yields were tested with a pair wise comparison of regression parameters by the Tukey-HSD-Test and T-Test. The level of significance was set to 0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Volatile fatty acid concentrations and pH during anaerobic digestion

The AD process of all substrates was carried out under optimal mesophilic conditions. The average temperature was 37.5°C and the pH values in the experiments ranged between 7.29 and 7.85. For SBP and SBT, at the beginning of the experiment the pH was 7.29 and 7.85, respectively. At the end of the experiment the pH for SBP and SBT was 7.34 and 7.79, respectively. That means during the whole experiment, the pH was lower in the digesters with SBP compared to digesters with SBT. From the beginning to the end of the experiment, the concentrations of acetic, propionic and butyric acid decreased in the digesters with SBP from 969 to 96.7, 113 to 4.2 and 8.8 to 0 mg l⁻¹, respectively. For SBT the values decreased from 791 to 58.0, 114 to 4.7 and 11.0 to 0 mg l⁻¹, respectively. The high concentrations of acetic and propionic acid at the beginning of AD are typical for the batch digester experiments. The low concentrations of acetic and propionic acid at the end of AD is a sign that the AD was not inhibited and the substrates were almost completely digested.

The pH was in all experimental variants in the range of 7.1 at the beginning of fermentation to 7.7 to 8.2 at the end of fermentation. Thus, there was optimum pH environment for the bacteria in the fermenters in experiment from the perspective of the. The optimal environment for the bacteria to a pH is between 6.4 and 8.0 (VDI 4630). If the pH is outside this range, there may be a worse gas yield and gas composition with a higher CO₂ content.

According to Wellinger [17], the AD runs optimal if the concentration of acetic, propionic

and butyric acid is less than 1000, 200 and 50 mg l⁻¹, respectively and the value for HAC/PRO lies between 5 and 10. When the total concentration of volatile fatty acids exceeds 3000 mg l⁻¹ or the propionic acid concentration becomes higher than 300 mg l⁻¹, an inhibition of the AD can take place. In the present experiments, except for PFW, the measured acetic acid concentrations were less than 1000 mg l⁻¹ (Fig. 2.). However, with SBT the total concentration of volatile fatty acids did not exceed 3000 mg l⁻¹ and with none of the substrates a propionic acid concentration higher than 300 mg l⁻¹ was measured. This demonstrates that in the present experiments the AD should not be inhibited.

3.2. Composition of the produced biogas

Table 3 displays the average composition of the biogas produced. Six times during the experiment the concentration of methane, hydrogen sulphide and ammonia were measured. The differences between the variants were not significant because the composition of the produced biogas varied during the experiments. In both experiments the concentrations of methane, hydrogen sulphide and ammonia increased during the first five days, then were more or less stable for the following 20 days and slightly decreased towards the end of the experiments. The present data are comparable with literature data [6, 8].

With regard to the by-products of sugar beet processing, SBP had higher concentrations of methane, hydrogen sulphide and ammonia compared to SBT (table 3).

As we can see the average methane concentration of grass and sorghum was higher than from the other substrates. The drying of sugar beet pulp silage reduced the methane content. It could be caused by the evaporation of fatty acids during drying process. The Mixtures with SBP shown a little higher methane content in biogas compared to the mixtures with SBT.

3.3. Specific biogas and methane yields as well as energetic efficiency of the investigated substrates

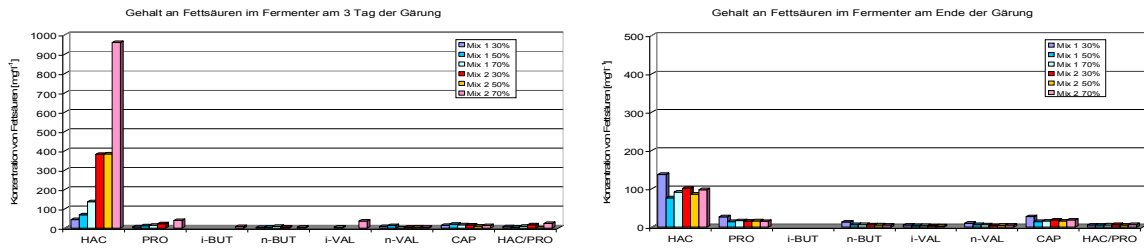


Fig. 2. Concentration of fatty acids in the fomenter to begin and to the end of digestion

Table 3. Concentration of methane (CH₄), hydrogen sulphide (H₂S) and ammonia (NH₃) in the biogas

Variant	CH ₄ -Content			H ₂ S- Content			NH ₃ - Content		
	%	n	±	%	n	±	%	n	±
cattle slurry	53,0	7	8,8	267	6	112	26	3	11
maize	55,1	7	3,7	214	6	58	29	3	16
sorghum	57,2	7	4	213	6	49	29	3	13
grass	57,6	7	4,2	281	6	149	32	3	30
pressed beet pulp silage	50,9	7	7,1	321	6	74	37	3	11
beet-tail silage	49,6	7	5	174	6	100	30	3	7
Mix 1 30%	56,7	7	3,7	209	6	23	33	3	1
Mix 1 50%	57,0	7	2,9	362	6	51	35	3	4
Mix 1 70%	57,3	7	3,3	176	6	97	32	3	10
Mix 2 30%	53,6	7	5,4	358	6	118	16	3	8
Mix 2 50%	54,7	7	7	387	6	45	16	3	13
Mix 2 70%	55,0	7	7,3	350	6	82	17	3	10
pressed and dried beet pulp silage	46,2	7	12,8	250	6	127	41	3	38
dried beet-tail silage	54,2	7	5,1	355	6	99	31	3	20

Table 4. Specific biogas and methane yield

Variante	Biogas yield [Nl *(kg oTS)-1]			Methane yield [Nl *(kg oTS)-1]		
	Av	n	St.div	Av	n	St.div
cattle slurry	249	3	2,6	132	3	0,5
maize	782	3	86,8	431	3	42,5
sorghum	608	3	26,8	348	3	14,9
grass	668	3	15,5	385	3	9
pressed beet pulp silage	845	3	33,3	430	3	18,1
beet-tail silage	970	3	68,7	481	3	32,4
Mix 1 30%	372	3	27,1	211	3	16,1
Mix 1 50%	405	3	15,5	231	3	8,1
Mix 1 70%	517	3	9,2	296	3	16,1
Mix 2 30%	668	3	24,0	358	3	10,2
Mix 2 50%	707	3	23,3	387	3	14,3
Mix 2 70%	812	3	50,0	447	3	24,9
pressed and dried beet pulp silage	641	3	21,4	296	3	13,2
dried beet-tail silage	506	3	27,9	274	3	14,9

CO FERMENTATION OF SUGAR BY-PRODUCTS WITH TYPICAL AGRICULTURAL SUBSTRATES

3.3.1. Specific biogas and methane yield of by-products of sugar beet processing (Experiment A)

The specific biogas and methane yield of the sugar by-products: sugar beet pulp silage (SBP) and sugar beet tail silage (SBT) were measured over 30 days. The measurements were carried out until the specific methane yield per day was less than 1% of the cumulative specific methane yield.

The specific biogas and methane yields of SBP and SBT were significantly different. With SBT the specific biogas and methane yields were higher. On average a specific methane yield of $481 \text{ l}_N (\text{kg VS})^{-1}$ was measured for SBT, whereas for SBP the specific methane yield was $430 \text{ l}_N (\text{kg VS})^{-1}$. In the literature similar values were reported [4, 6]. For sugar beet silage Hassan (2003) gave the methane yields between 400 and $468 \text{ l}_N \text{ kg}^{-1} \text{ VS}$.

SBT silage showed the highest methane yield of $480 \text{ NL CH}_4 (\text{kg VS})^{-1}$. The lowest methane yield was achieved from cattle manure. The standard deviation of the average methane yield for the SBP-silage, meadow and Sudan grass silage was significantly lower than of SBT silage and corn silage. This indicates a different homogeneity of the samples.

Table 4 also gives results for η , the energetic efficiency. For SBP on average 87.4% of the gross energy was converted to methane energy. The average value for SBT was 88.5%.

In the literature we found, for SBP silage a specific methane production potential of 400 NL CH_4 per kg VS . SBT silage for a specific methane production potential of $96 \text{ m}^3 / \text{t FM}$ is, 52% CH_4 , 17% TS (Keymer 2002) and $75 \text{ m}^3 / \text{t FM}$ indicated (no indication TS) by Weiland. The specific methane yield from cattle manure, maize and grass silage were also in the folding back from the fields of literature [2, 9, 10, 13, 18, 19, 20, 21].

The efficiency of methane digestion was calculated in accordance with the methane yield and the gross energy content in the biomass. It was 24% for cattle manure, 84% for maize, 64% for sudan grass, 73% in meadow grass, 85% for SBP silage and 89% for SBT silage. The efficiency of methane fermentation shows the energy recovery and fermentability of constituents

of biomass in anaerobic fermentation process. The formula is described in chapter "Material and Methods".

To identify the optimal mixture ratio of SBP silage and SBT silage in the mixture of cow manure, corn silage, to see Sudan grass and grass silage, were digested separately and in the mixtures. The measured specific biogas and methane yields with the standard deviation of three replicates are shown in table 4. As shown in table 4, the biogas and methane yield of the mixtures increased with increasing amount of sugar by-products in the mixture.

Determination of co-fermentation effects

To clarify the co fermentations effects caused by the addition of SBP and SBT silage to the mixtures of cattle manure, maize silage, Sudan grass and meadow grass the substrates were digested in the mixture were digested in the mixture and separately. Based on the determined specific methane yields of the individual separately digested components and their content in the mixtures the expected specific methane yields were calculated.

Figure 3 shows the measured specific methane production potential of the mixtures 1 and 2 with different proportions of sugar beet by-products compared to the expected specific methane yield of these mixtures. As we can see in the fig 6 there was now co-fermentation effect achieved.

The lower achieved as calculated specific methane yield of the mixtures with SBP silage could be possibly caused by reduced activity of cellulolytic bacteria, and thus lower recovery of nutrients from corn, Sudan grass and meadow grass silage.

In animal nutrition we know that allowance of slightly soluble carbohydrates (sugars and starches) in ruminants may reduce the digestibility of other nutrients, particularly of protein and crude fiber. This decrease is referred to as "general digestive depression". According to primarily the cellulolytic bacteria (cellulolytic activity) could be inhibited. This could explain the reduced actual methane yield of the mixtures with SBP silage.

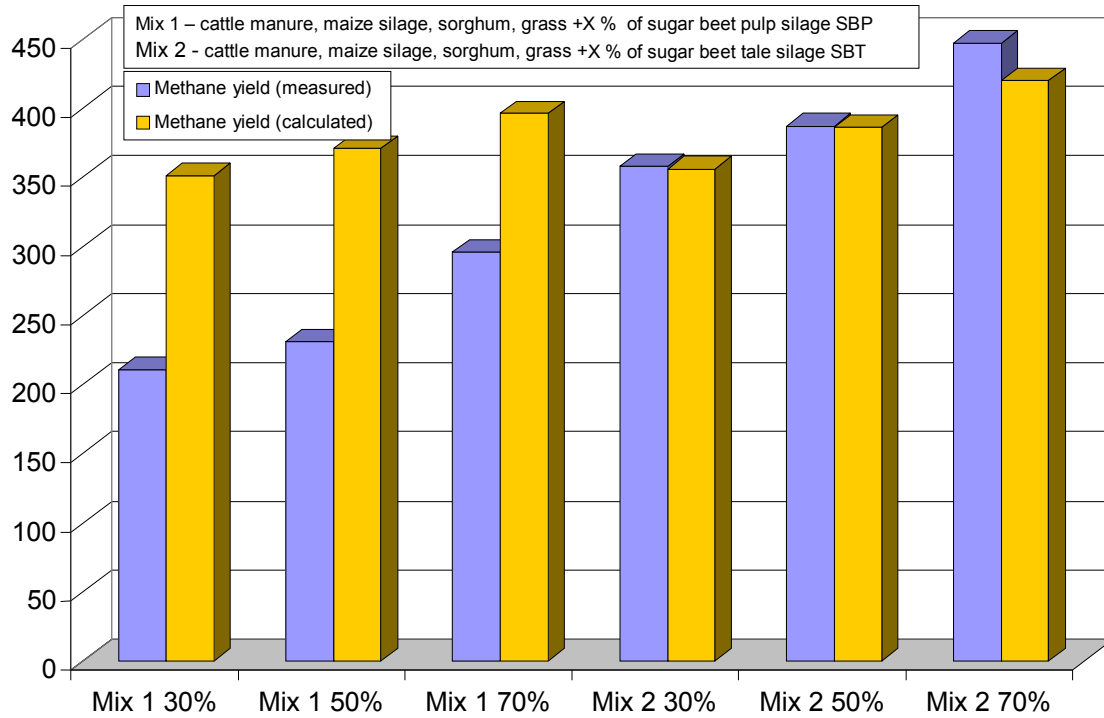


Fig. 3. Measured und calculated methane yield of agricultural substrates (determination of co-fermentation effects)

The mixtures of Group 2 with SBT silage showed only slight co-fermentations effects. The addition of 70% of the ZR-top silage, resulted maximal additional methane yield of 6%.

CONCLUSIONS

The fermentation of all variants was uniformly and stably without significant inhibition of methane fermentation. With increasing content of SBP silage in the mixture the specific methane production potential of the mixture increased. The addition of SBT silage (70% of DM fraction) to the mixture of energy crops and manure resulted in comparison to the monodigestion of the substrates – in a slightly higher methane yield as calculated. In other mixtures there was no co-fermentations effects achieved or they were even negative. For recommendations of the suitability of the ZR-pulp silage as performance-enhancing additive for biogas production, it is reasonable to test the transferability of the present test results in continuous experiments at laboratory scale.

Drying of sugar beet by-products:

The effect of drying of sugar beet-pulp silage and silage on top of their methane potential was tested in the present experiment compared to the non getrockneten ensiled biomass. The

results indicate that the drying of pulp silage-ZR and ZR-top silage to reduce the methane production potential of 30 and 43% resulted. The drying process causes the steaming out of free volatile fatty acids, which were formed during the ensiling process and can thus reduce the methane production potential of biomass.

REFERENCES

1. Golub G.A. 2011: Dosvid virobnitstva i vikoristannya biogazu v Respublitsi Polshcha / G.A. Golub, S.V. Lukyanets // Yekonomika APK. – № 11. – 157–160.
2. Dubrovin V.A., Melnichuk M.D., Golub G.A., Targonya V.S. 2011: Kontseptualnyye aspekty kompleksnogo tekhnicheskogo obespecheniya ekologicheskoi bezopasnogo proizvodstva organicheskikh produktov. Nauchno-tekhnicheskii progress v selskokhozyaystvennom proizvodstve: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Minsk, 19–20 oktyabrya 2011 g.). V 3 t. – Minsk: NPTs NAN Belarusi po mekhanizatsii selskogo khozyaystva. – T. 1. – 50–57.
3. Amon T., Hackl E., Jeremic D., Amon B. and Boxberger J. 2001: Biogas production from animal wastes, energy plants and organic wastes. In: 9th World Congress, Anaerobic Digestion,

CO FERMENTATION OF SUGAR BY-PRODUCTS
WITH TYPICAL AGRICULTURAL SUBSTRATES

- Anaerobic Conversion for Sustainability. Proceeding part 1, Antwerpen, Belgium, September 2–6.
4. Beck J. 2001: Grundlagen und Bewertung von Verfahren zur Behandlung und Entsorgung von Gärresten aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen. In: Bio-Solar Fachtagung, Borken, Februar.
5. DIN 1985: DIN 38 414–8. Bestimmung des Faulverhaltens. Schlamm und Sedimente.
6. Hassan, E.A. 2003: Biogas production from forage and sugar beets. Process control and optimization – ecology and economy. Doctoral thesis University of Kassel / Witzenhausen, Germany.
7. Hopfner-Sixt K., Amon T., Bodiroza V., Kryvoruchko V., Milovanovic D., Zollitsch W., Boxberger J. 2006: Biogas production from agricultural resources: characteristic values for material and energetic evaluation. Landtechnik. Fachzeitschrift für Agrartechnik und ländliches Bauen, 3/2006; ISSN 0023–8082.
8. KTBL 2005: KTBL Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany.
9. Golub G.A., Dubrovin V.A. 2011: Problemy tekhniko-tekhnologicheskogo obespecheniya energeticheskoy avtonomnosti agroekosistem. Nauchno-tekhnicheskii progress v selskokhozyaystvennom proizvodstve: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Minsk, 19–20 oktyabrya 2011 g.). v 3 t. – Minsk: NPTs NAN Belarusi po mekhanizatsii selskogo khozyaystva. – T. 1. – 39–45.
10. Golub G.A., Targonya V.S. 2011: Tekhnichne zabezpechennya organichnogo virobnitstva silskogospodarskoi produktsii ta biopaliv / G.A. Golub, V.S. Targonya // Mekhanizatsiya, yekologizatsiya ta konvertatsiya biosirovini u tvarinnitstvi. – Zaporizhzhya: IMT NAAN Ukraini. – Vip. 2(8). – 66–73.
11. Koster I.W.; Lettinga G. 1988: Anaerobic digestion at extreme ammonia concentrations. BIOL. WASTES., Vol. 25, № 1. – 51–59.
12. Analiz 2012: Analiz metanoutvorennya v biogazovikh ustanovkakh / [Golub G.A., Dubrovina O.V., Voytenko V.O., Gokh V.V.]: – Suchasni problemi zbalansovanogo prirodokoristuvannya: Zbirnik naukovikh prats / Podilskiy derzhavniy agrarno-tekhnichniy universitet (PDATU); Naukoviy redaktor: Bakhmat M.I. – Kamyants–Podilskiy. – Spetsialniy vipusk do VII naukovo-praktichnoi konferentsii. – 141–145.
13. Golub G.A. 2012: Obgruntuvannya rivnya zanurennya ta koyefitsiyenta zapovnennya biomasoyu obertovogo metantenka / Golub G.A., Dubrovina O.V. // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. Seriya: tekhnika ta yenergetika APK / Redkolegiya: D.O. Melnichuk (vidpovidalniy redaktor) ta inshi. – K. – Vip. 170, ch. 2. – 55–61.
14. Schattauer A., Weiland P. 2004: Grundlagen der anaeroben Fermentation. In: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Eds.), Handreichung Biogasgewinnung und Nutzung, Leipzig, Germany, 25–35.
15. VDI 2006: VDI 4630. Vergärung organischer Stoffe. Substratcharakterisierung, Probenahme Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Verein Deutscher Ingenieure (Ed.), VDI-Handbuch Energietechnik, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Germany.
16. VDLUFA 2004: VDLUFA, Band II.1 = VDLUFA, Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten: Methodenbuch Band II.1, Die Untersuchung von Düngemitteln, 4. Auflage, 2. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Deutschland.
17. Wellinger A. 1997: Biogasprozess: Mögliche Probleme von A bis Z. In: 6. Jahrestagung Biogas e.V. Kirchberg, Germany. – 1–8.
18. Golub G. 2013: Biomethane formation in biogas installations // The 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes Proceedings / G. Golub, O. Dubrovina: – Poznan, Puszczykowo, Poland. – Industrial Institute of Agricultural Engineering, 25–28th June. – 55–58.
19. Golub G.A. 2013: Kinetika anayerobnoi fermentatsii roslinnoi biomasi / G.A. Golub, O.V. Dubrovina // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. Seriya: Tekhnika ta energetika APK / Redkolegiya: D.O. Melnichuk (vidpovidalniy redaktor) ta inshi. – K. – Vip. 185, ch. 2. – 296–301.

20. Polischuk V.M. 2013: Vliyanie rezimov metanovogo sbragivaniya na effektivnost proizvodstva biogasa / Viktor Polischuk, Nikolay Lobodko, Olga Dubrovina // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. T. 15C. – 207–220.

21. Dubrovina O. Rezultati issledovaniy metanovoi fermentacii mnogokomponentnogo substrata / Olga Dubrovina // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. T. 15C. – 179–187.

КО ФЕРМЕНТАЦИЯ САХАРА ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ С ТИПИЧ- НЫМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ

Аннотация. Анаэробные пищеварения (AD) является перспективным вариантом для экологически чистого утилизации сельскохозяйственных побочных продуктов. Тем не менее, перегрузка в варочный котел с сахаром, крахмалом или белком может вызывать ингибирование анаэробных процессах. Целью настоящего проекта было изучение влияния сахарной свеклы по продукции на биогазовой выходом из типичной смеси энергетических культур и навоза.

Исследованные субстраты были: крупный рогатый скот суспензия, кукуруза, сорго и силос, жом с сахарной свеклы, силос (SBT). Разница между необработанной SBT к обрабатываемой СБП. Все основы были переведены в 1 л эвдиометр-пакетных варочных при 37,5 °С в течение 28 до 38 дней. Эксперименты показали, что выход по сахарной свеклы по продукции для энергетических культур и результатов суспензия смеси с высоким выходом метана может быть достигнута урожайность метана в смеси была ниже ожидаемого.

Ключевые слова: анаэробное сбраживания, биогаз, выход метана, побочный продукт, жом сахарной свеклы, картофельные корки, картофельно-фруктовая вода.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В КАНАТАХ ПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ МЕТОДОМ ВРЕМЕННЫХ СПЛАЙНОВ

Вячеслав Ловеikin, Юрий Човнюк, Пётр Лымарь

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Vyacheslav Loveykin, Yuri Chovnyuk, Petr Lyamar

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Проведено исследование влияния на динамические нагрузки упругих элементов (канатов) крановых механизмов, в которых применяются электрические приводы частотного управления (или гидравлические приводы), закона изменения ускорений в режимах пуска-торможения. Закон изменения ускорения во времени выбран из соображений высокой гладкости траектории движения механизма, что обеспечивает минимальные возможности для проявления нежелательных колебаний. Получены аналитические зависимости, которые определяют коэффициенты динамичности с учётом, как свойств самого механизма, так и параметров переходного процесса. В работе исследован метод временных сплайнов, позволяющий прогнозировать максимальные значения коэффициента динамичности и в дальнейшем формировать эквивалентные циклы нагрузок в механизмах.

Ключевые слова: метод, временные сплайны, анализ, динамические нагрузки, упругие элементы, канаты.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Существующий большой объём теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в сфере динамики механических систем в т.ч. металлоконструкций и механизмов грузоподъемных кранов, позволяет создавать точные методики и компьютерные программы расчёта динамических нагрузок при проектировании машин. Вместе с тем, разнообразие условий и режимов дальнейшей эксплуатации в большинстве случаев с течением времени вызывает существенные отклонения реальных показателей их качества, в частности, показателей надежности, от расчетных значений. Значе-

ния части показателей надежности, например, средней наработки на отказ или коэффициента готовности, при определённых условиях удастся сохранить и даже повысить в процессе эксплуатации машин. Значительно труднее поддерживать в требуемых пределах показатели долговечности основных несущих элементов металлоконструкции и узлов рабочих механизмов, в первую очередь определяющих безопасность использования машины. Поэтому, в частности, для ряда грузоподъемных кранов нормативными документами установлены сроки эксплуатации, после окончания которых осуществляется экспертное исследование технического состояния и проведения расчетов остаточного ресурса крана с целью обоснования возможности его дальнейшей эксплуатации и срока (даты) дальнейшего экспертного обследования. Эти расчеты, помимо многих других данных, требуют прогнозирования параметров эквивалентного нагрузочного цикла крана с учетом его конструкции, привода механизмов, системы управления, видов грузов, технологии работ и других факторов.

Одним из важнейших параметров эквивалентного нагрузочного цикла крана, необходимого для расчета его остаточного ресурса, является динамическая нагрузка в режимах пуска механизма подъема в процессе отрыва массива. В связи с этим возникла необходимость разработки систем управления, которые обеспечивают плавный пуск механизма подъема кранов. В практике расчетов эту нагрузку принято выражать через его отношение к статической нагрузке, например, в силу веса груза, что обычно называют коэффициентом динамичности $k_d(t)$. Прогнозирование значений этого коэффициента для заданных режимов технологи-

ческой эксплуатации кранов – основная задача данного исследования.

практически отсутствуют нежелательные колебания груза.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Квазиоптимальное управление аналитической системой с нестабильными параметрами рассмотрено в работе [1] на основе результатов исследований авторов [2, 3]. Прогнозирование коэффициентов динамичности в элементах крановых механизмов осуществлено в [4].

Результаты цитируемых работ будут частично использованы в данном исследовании.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Обоснование метода временных сплайнов для анализа динамических нагрузок в упругих элементах (канатах) кранового механизма подъема. Такой подход обеспечивает необходимую степень гладкости траектории движения механизма, подъема груза в процессе его пуска и выхода на стационарный режим функционирования (с постоянными (устоявшимися) значениями скорости движения грузовой тележки), для которого

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Современные системы электропривода с частотным регулированием и гидроприводы крановых механизмов позволяют обеспечить достаточно благоприятные законы управления по отношению к динамическим нагрузкам в их упругих связях. Из анализа тахограмм рабочих циклов кранов с указанными выше системами привода следует, что при наличии предпусковой ступени для выбора зазоров в трансмиссиях и ослаблений грузовых канатов, скорость механизмов при пусках возрастает до максимального значения вдоль S –образной кривой с плавными сопряжениями (рис. 1).

Следует отметить, что предпусковая ступень для выбора ослабления грузовых канатов (зазоров в сопряжениях) так же, как и применение электрического торможения предусмотрена на всех современных кранах, а также при модернизации более ранних моделей. Форма кривой уменьшения скорости при торможении подобна форме кривой ее роста при пуске.

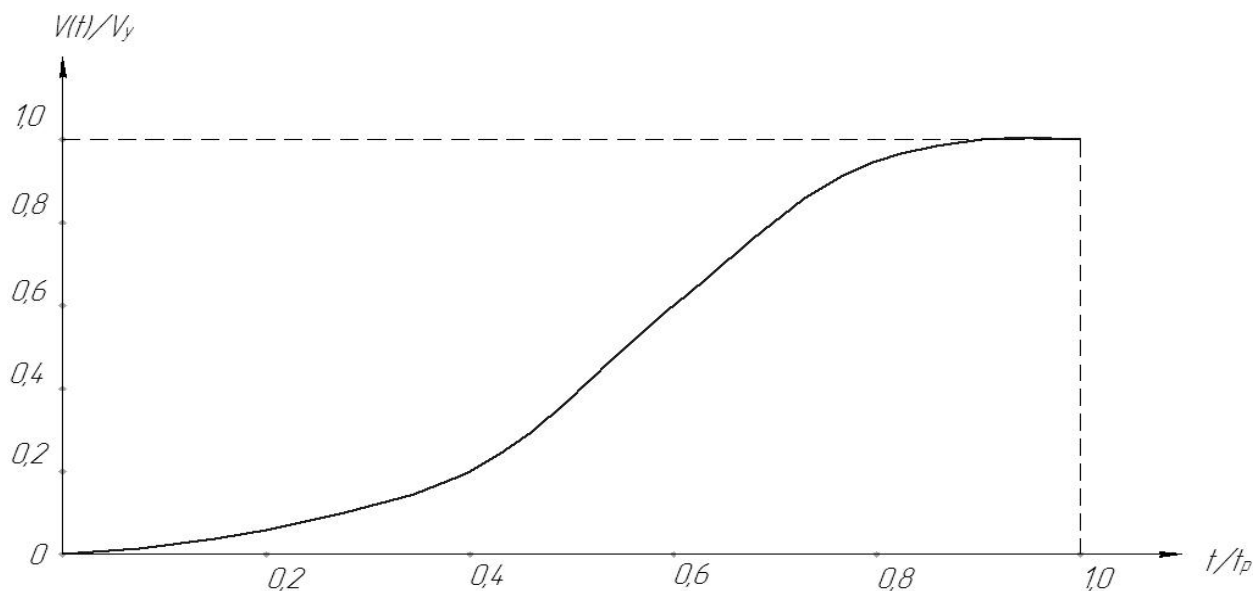


Рис. 1. График скорости, принятый для анализа динамических нагрузок:

t – время, t_p – продолжительность процесса пуска, V_y – величина установившейся скорости движения механизма после окончания процесса пуска

Fig. 1. The velocity adopted for the analysis of dynamic loads:

t – time, t_p – startup time, V_y – value steady speed after the startup

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В КАНАТАХ ПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ
МЕТОДОМ ВРЕМЕННЫХ СПЛАЙНОВ

Представленному на рис. 1 характеру нарастания скорости $V(t)$ отражает закон изменения ускорения $a(t)$ и, соответственно, избыточного усилия:

$$P_{изб.}(t) = m_{np} \cdot a(t), \quad (1)$$

где: m_{np} – суммарная приведенная масса подвижных элементов механизма, которые оказывают различное влияние на величину динамических нагрузок при работе кранов.

Ниже приведен анализ нагрузок в упругих элементах механизма для возможного закона управления $a(t)$, который соответствует рассматриваемому характеру роста скорости в период переходных процессов, определенной степени гладкости закона $V(t)$ (который не вызывает в конечных точках движения: $t = 0$, $t = t_p$, – колебаний системы), а также сформирован на основе временных сплайнов.

Введем следующие обозначения:

$$V = \frac{v(t)}{v_y}, \quad \tau = \frac{t}{t_p}. \quad (2)$$

Находим закон $V(\tau)$, в виде временного сплайна 9-го порядка:

$$V(\tau) = a_0 + a_1\tau^1 + a_2\tau^2 + a_3\tau^3 + a_4\tau^4 + a_5\tau^5 + a_6\tau^6 + a_7\tau^7 + a_8\tau^8 + a_9\tau^9 = \sum_{i=0}^9 a_i\tau^i, \quad (3)$$

где: константы a_0, a_1, \dots, a_9 необходимо определить из следующих начальных и конечных условий:

$$V|_{t=0} = \frac{dV}{d\tau}|_{t=0} = \frac{d^2V}{d\tau^2}|_{t=0} = \frac{d^3V}{d\tau^3}|_{t=0} = \quad (4)$$

$$= \frac{d^4V}{d\tau^4}|_{t=0} = 0,$$

$$V|_{t=1} = 1; \quad \frac{dV}{d\tau}|_{t=1} = \frac{d^2V}{d\tau^2}|_{t=1} = \frac{d^3V}{d\tau^3}|_{t=1} = \quad (5)$$

$$= \frac{d^4V}{d\tau^4}|_{t=1} = 0.$$

Учитывая условия (4) имеем:

$$a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 0. \quad (6)$$

Для коэффициентов a_5, a_6, a_7, a_8, a_9 с (5) имеем следующую систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} a_5 + a_6 + a_7 + a_8 + a_9 = 1, \\ 5a_5 + 6a_6 + 7a_7 + 8a_8 + 9a_9 = 0, \\ 10a_5 + 15a_6 + 21a_7 + 28a_8 + 36a_9 = 0, \\ 10a_5 + 20a_6 + 35a_7 + 56a_8 + 84a_9 = 0, \\ 5a_5 + 15a_6 + 35a_7 + 70a_8 + 126a_9 = 0, \\ a_5 + 6a_6 + 21a_7 + 56a_8 + 126a_9 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Систему (7) можно легко решить с помощью правила Крамера. Численное решение системы (7) на ЭВМ дает следующие результаты $a_5 = 126$, $a_6 = -420$, $a_7 = 540$, $a_8 = -315$, $a_9 = 70$. А закон $V(\tau)$ приобретает вид:

$$V(\tau) = a_5\tau^5 + a_6\tau^6 + a_7\tau^7 + a_8\tau^8 + a_9\tau^9 = \sum_{i=5}^9 a_i\tau^i. \quad (8)$$

Ряд исследований, в частности, приведенных в работах [2, 3], позволяют установить, что с достаточной точностью расчет максимальных динамических нагрузок в механизмах грузоподъемных кранов и многих других машин можно выполнять на основе двухмассовых расчетных схем с постоянными массами, коэффициентами жесткости упругих цепей и силами статического сопротивления. В этом случае, например, нагрузки в канатах грузовой лебедки крана $F(t)$ определяется зависимостью [1]:

$$F(t) = G(1 - \cos(kt)) + F_0(t) \cos(kt) + \frac{dF_0(t)}{dt} \sin(kt) + \frac{c}{m_1 k} \times \int_0^\tau P_{эц.}(u) \sin(k(\tau - u)) du, \quad (9)$$

где: G – сила тяжести груза (вес груза); t – текущее время; u – промежуточная переменная интегрирования; m_1 – масса подвижных элементов механизма, приведенная к концам канатов, сбегających с грузового барабана; m_2 – масса груза; $P_{эц.}(t)$ – избыточное усилие двигателя в период пуска механизма; $F_0(t)$ – начальная нагрузка в канатах в момент изменения закона управления в процессе пуска механизма; c и k – соответственно, коэффициент жесткости канатного отвеса груза и основная частота собственных колебаний.

При этом:

$$P_{узм}(t) = (m_1 + m_2)a(t), a(t) = \frac{dv(t)}{dt}, \quad (10)$$

$$k = \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)c}{m_1 m_2}}, T = \frac{2\pi}{k}, c = \frac{E_k S_k}{l},$$

где: S_k – площадь поперечного сечения каната, E_k – модуль упругости стального каната, l – длина каната.

Учитывая то обстоятельство, что выше была введена скорость (безразмерная) $V(\tau)$, величину $a(t)$, следует представить в виде:

$$a(t) = \frac{v_y dV(\tau)}{t_p d\tau} = \frac{v_y}{t_p} \sum_{i=5}^9 ia_i \tau^{i-1}. \quad (11)$$

Избыточное усилие двигателя $P_{узб}(t)$ должно обеспечивать разгон механизма до установившейся скорости v_y за заданное время t_p , т.е. на основе первой зависимости (10) должно удовлетворять условию:

$$\int_0^{t_p} P_{узб}(t) dt = (m_1 + m_2) \int_0^{t_p} a(t) dt = (m_1 + m_2) v_y. \quad (12)$$

При анализе рабочих циклограмм кранов в процессе их эксплуатации или экспертных обследований достаточно легко определяются длительности отдельных операций, скорости их реализации и продолжительности пусков и торможений. Поэтому коэффициент динамичности в упругой цепи, в данном случае в грузовых канатах, определяется из соотношения:

$$k_d(t) = \frac{F(t)}{G}. \quad (13)$$

Из уравнений (9) и (12) после несложных преобразований $k_d(t)$ целесообразно выражать формулой:

$$k_d(t) = 1 - \cos(kt) + k_d(0) \cos(kt) + \frac{dF(t)}{Gdt} \Big|_{t=0} \sin(kt) + \frac{c}{m_1 k G} \times \int_0^{\tau} P_{эга}(u) \sin[k(\tau - u)] du. \quad (14)$$

В формуле (14) введено обозначение:

$$k_d(0) = \frac{F(t)}{G} \Big|_{t=0}. \quad (15)$$

Обозначим также:

$$\frac{dF(t)}{Gdt} \Big|_{t=0} = \frac{dk_d(t)}{dt} \Big|_{t=0} = \dot{k}_d, \quad (16)$$

Тогда (14) можно представить следующим образом:

$$k_d(t) = 1 - \cos(kt) + k_d(0) \cos(kt) + \dot{k}_d(0) \sin(kt) + \frac{c}{m_1 k G} \times \int_0^{\tau} P_{узб}(u) \sin[k(\tau - u)] du. \quad (17)$$

Учитывая (10), (11), имеем из (17):

$$k_d(t) = 1 - \cos(kt) + k_d(0) \cos(kt) + \dot{k}_d(0) \sin(kt) + \frac{c(m_1 + m_2) v_y}{m_1 k G t_p} \times \int_0^{\tau} \left(\sum_{i=5}^9 ia_i u^{i-1} \right) \sin[k(\tau - u)] du. \quad (18)$$

При предварительном натяжении канатов в начальный момент времени, т.е. при $t=0$, $k_d(0)=1$. Будем считать, что и $\dot{k}_d(0)=0$. Тогда (18) принимает вид:

$$k_d(t) = 1 + \frac{c(m_1 + m_2) v_y}{m_1 k G t_p} \times \int_0^{\tau} \left(\sum_{i=5}^9 ia_i u^{i-1} \right) \sin[k(\tau - u)] du. \quad (19)$$

Выполнив некоторые упрощения, определим коэффициент динамичности:

$$k_d(t) = 1 + \sqrt{\frac{c(m_1 + m_2) v_y}{m_1 m_2 g}} \times \int_0^{\tau} \left(\sum_{i=5}^9 ia_i u^{i-1} \right) \sin[kt_p(\tau - u)] du, \quad (20)$$

$$0 < \tau < 1.$$

На рис. 2 приведены зависимости $k_d(t)$. Расчеты проведены по нестандартным значениям параметров: $v_y=0,5$ м/с; $t_p=1$ с; $k=136,8$ с⁻¹; $T=0,046$ с; $G=2352$ Н; $c=2041000$; $m_1=200$ кг; $m_2=240$ кг.

В формуле коэффициента перегрузки [4] существует слагаемое в виде интеграла, под знаком которого стоят две функции. Первый множитель, это нелинейная функция своего аргумента, которая отражает силовые перегрузки в подъемном механизме в процессе его пуска и выхода на устойчивый режим движения механизма подъема. Кроме того существует второй сомножитель, который воспроизводит собственные колебания системы с частотой k .

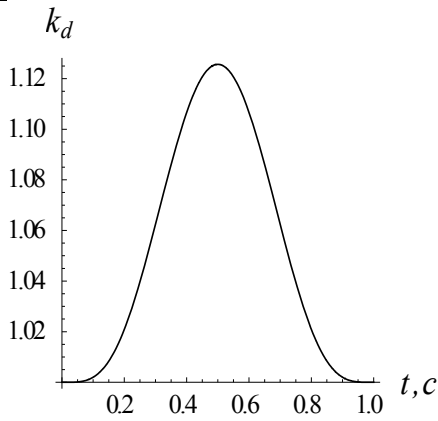


Рис. 2. Зависимость коэффициента динамичности $k_d(t)$ в элементах механизма при законе управления $a(t)$, (11)

Fig. 2. Characteristic curve of the dynamicity coefficient $k_d(t)$ in mechanism at the control law $a(t)$, (11)

Условия плавного вхождения в режим установившегося движения механизма требуют существования указанной выше нелинейной функции в качестве полинома определенной степени, а частота k в основном определяется физико-механическими характеристиками системы (длина каната, вес груза, коэффициент жесткости каната.) Когда частота собственных колебаний системы близка к $\frac{1}{t_p}$, тогда возникает взаимодей-

ствие собственных колебаний системы с частотой k и частотой перехода системы в устойчивый режим движения. На рис. 3 приведены зависимости коэффициента динамичности при различных значениях частоты собственных колебаний за время разгона 1 с.

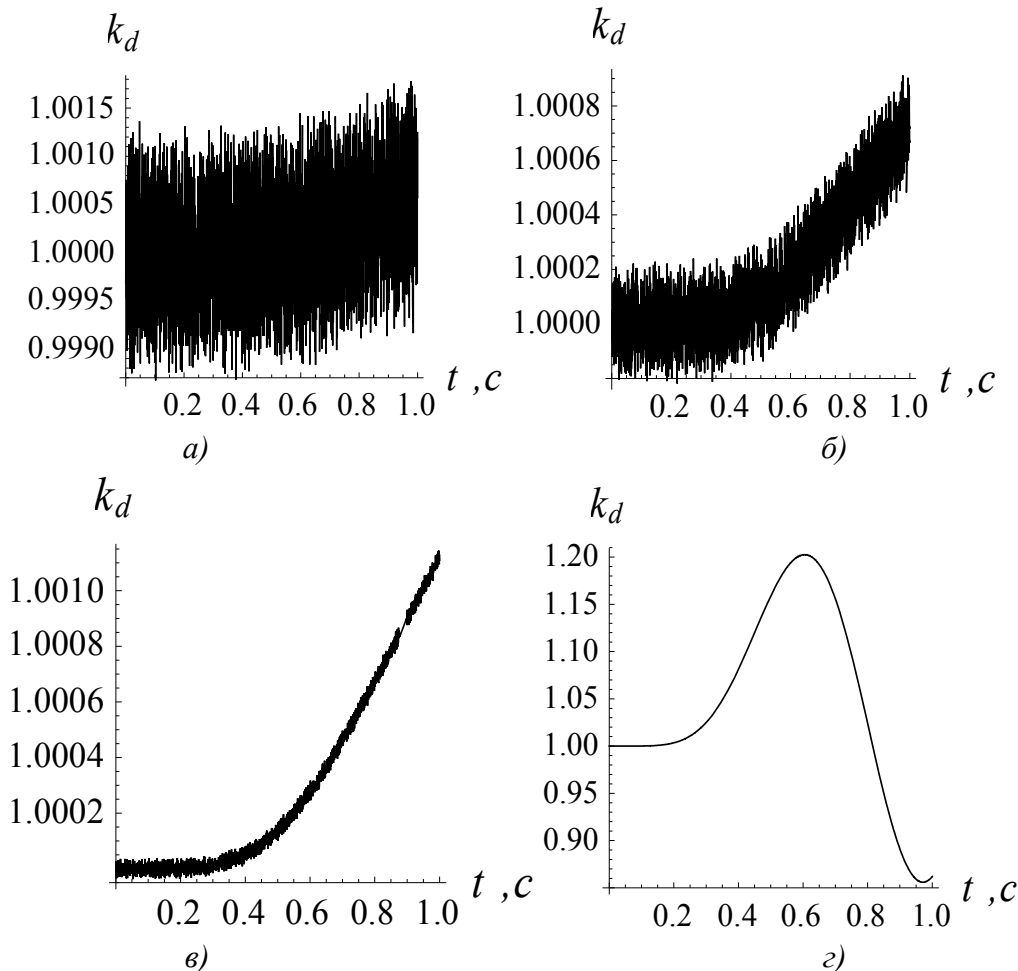


Рис. 3. Зависимость коэффициента динамичности $k_d(t)$ в элементах механизма по закону управления $a(t)$ при разных значениях k ($t_p=1$): а) $k=0,14 \text{ с}^{-1}$; б) $k=0,17 \text{ с}^{-1}$; в) $k=0,21 \text{ с}^{-1}$; г) $k=10 \text{ с}^{-1}$

Fig. 3. Characteristic curve of the dynamicity coefficient $k_d(t)$ in mechanism at the control law $a(t)$ for different values of k ($t_p=1$): а) $k=0,14 \text{ s}^{-1}$; б) $k=0,17 \text{ s}^{-1}$; в) $k=0,21 \text{ s}^{-1}$; г) $k=10 \text{ s}^{-1}$

Из полученных графиков (рис. 3) видно, что при частоте собственных колебаний системы $k \leq 0,21 \text{ с}^{-1}$ наблюдаются не стабильные, хаотические значения коэффициента динамичности в механизме подъема крана. Это свидетельствует о том, что при чрезвычайно малых массах подъемного механизма, груза и значениях коэффициента жесткости каната, управление механизмом подъема по заданному закону управления $a(t)$ осуществить невозможно. Также видно, что при $k = 10 \text{ с}^{-1}$ коэффициент динамичности может принимать значения $k_d \leq 1$, это объясняется тем, что при таких значениях k , частота колебаний груза совпадает с направлением действия каната и направлена в одну сторону. В этот момент натяжение в канате ослабляется, а коэффициент динамичности принимает значения меньше 1.

Результаты расчетов приведены в рамках программы Mathematica 8.0.

ВЫВОДЫ

1. Найден закон управления переходными процессами, соответствующий высокой степени гладкости траектории движения груза и типичной тахограмме крановых механизмов с частотным управлением электропривода и гидропривода, при выполнении перегрузочных работ.

2. Приведены математические зависимости и результаты сравнительного анализа динамических нагрузок в элементах механизмов, полученных другими авторами [1–4], определенного в данной работе законом управления приводом.

3. Закон управления рекомендуется как базовый для формирования эквивалентных нагрузочных циклов в процессе прогнозирования остаточного ресурса кранов применительно к заданным условиям технологической эксплуатации.

4. Полученные в работе результаты могут в дальнейшем служить для уточнения и совершенствования существующих инженерных методов расчета подобных систем как на стадиях их проектирования, конструирования, так и в режимах реальной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zubko N.F. 1993: Kvazioptimalnoe upravlenie dinamicheskoi sistemoi s nestabilnini parametrami/ N.F. Zubko // St. «Sistemi I sredstva podderjki resheniy v processah upravleniya na transporte». – K.: instityt kibernetiki AN Ukraini im. V.B. Glushkova.
2. Volkov D.P. 1965: Dinamika i prochnost odnokovshovih eksksvatorov / D.P. Volkov. – M.: Mashinostroenie. – 463.
3. Komarov M.S. 1969: Dinamika gruzopodyomnih mashin / M.S. Komarov. – K. – M.: Mashgiz. – 267.
4. Zubko N.F. 2013: Prognozirovanie koefficientov dinamichnosti v elementah kranovih mehanizmov / N.F. Zubko // Visnyk Odeskogo nacionalnogo morskogo univesitetu. №2 (38). – 63–71.
5. Romasevich Yu.O. 2011: Optimizatsiya rezhimu zmini vilyotu vantazhu bashtovogo kрана za odinichnimi kinematichnimi kriteriyami / Yu.O Romasevich, G.V. Shumilov // Motrol. – Tom 13 B. – 167–173.
6. Petrov Yu.P. 1977: Variatsionnie metody teorii optimalnogo upravleniya / Yu.P. Petrov. – L.: Energiya. – 280.
7. Khitrik V.E. 1974: Metody dinamicheskoy optimizatsii mehanizmov mashin-avtomatov / V.E. Khitrik. – L.: Izd-vo Leningr. Un-ta. – 116.
8. Potryagin L.S. 1961: Matematicheskaya teoriya optimalnih processov / L.S. Potryagin, V.G. Boltnyanskiy, R.V. Gamkrelidze, Ye.F. Mishchenko. – M.: Fizmatgiz. – 392.
9. Bellman R. 1960: Dinamicheskoe programirovanie / R. Bellman. pod. red. Vorobyeva N.N. – M.: Izdatelstvo inostranoi literature. – 400.
10. Romasevich Yu.A. 2012: Realizatsiya optimalnogo upravleniya dvizheniem dinamicheskikh system s ispolzovaniem PD- i PID-regulirovaniya / Yu.A. Romasevich // Motrol. – Vo 14. – №3. – 176–183.
11. Saharov E.O. 1970: Nekotrie voprosi dempfirovaniya kolebaniy gruzа na gibkom podvese / E.O. Saharov // Issledovanie dinamiki gruzopod`emnih kranov. – №5 (100). – 30–39.
12. Smehov A.A. 1975: Optimalnoe upravlenie pod`emno-transportnimi mashinami / A.A. Smehov, N.I. Erofeev – M.: Mashinostroenie. – 239.

13. Gerasimyak R.P. 1970: Elektroprivodi kranovih mehanizmov / Gerasimyak R.P., Parail V.A. – M.: Energiya. – 136.
14. Modelyuvannya 2004: Modelyuvannya dinamiki mehanizmov vantazopidymnih mashin / [Loveykin V.S., Chovnyuk Yu.V., Dikteruk M.G., Pastushenko S.I.]. – K. – Mikolaiv: RVV MDAU. – 256.
15. Zubko N.F. 1992: Nadyozhnost i optimizaciya zapasov detaley portovih mashin. M.: Transport. – 144.
16. Grigirov O.V. 1997: Optimalne keruvannya ruhom mehanizmov vantazhopidymnih mashin / O.V. Grigirov, V.S. Loveykin. – K.: Vipol. – 264.
17. Komarov M.S. 1953: Dinamika gruzopodyomnih mashin / M.S. Komarov. – M.: Mashinostroenie. – 187.
18. Dyakonov V.P. 2004: Mathematica 4.1/4.2/5.0 v matematicheskikh i nauchno-tekhnicheskikh raschetah / V.P. Dyakonov. – M.: SOLON – Press. – 696.
19. Lobov N.A. 1987: Dinamika gruzopodyomnih kranov / Lobov N.A. – M.: Mashinostroenie. – 160.
20. Moiseyev N.N. 1971: Chislennie metodi v teorii optimalnih system / N.N. Moiseyev. – M.: Nauka. – 424.
21. Chernousko F.L. 1980: Upravlenie kolebaniyami / F.L. Chernousko, L.D. Akulenko, B.N. Sokolov. – M.: Nauka. – 384.
- the maximal value of the dynamic coefficient and to form an equivalent cycles of the loading in mechanisms.
- Key words:** method, temporal splines, analysis, dynamic loadings, elastic elements, ropes.

DYNAMIC ANALYSIS IN ROPE OF LIFTING CRANES BY TEMPORAL SPLINES

Summary. The investigation of the influence of the special law of changing of the accelerate in the process of start and braking for the crane mechanisms with a electric drive of control by frequency or with a hydraulic drives on dynamic loads in the elastic elements (ropes) is regarded. The law for changing in time of the acceleration is chosen with the help of the high mechanism's motion trajectory differentiation what gives one the possibility to suppress the unwanted oscillations. The mathematical expressions for the definition of the dynamic coefficients with taking into account of the mechanism's properties and parameters of transition process are received. The method of time splines is used what gives one the possibilities to forecasting

ЕЩЁ РАЗ О РАДИУСАХ ЭЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

Сергей Позыдаев

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны 15*

Sergey Pozhydaiev

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Динамический радиус и радиус качения шин низкого и сверхнизкого давления существенно различаются. Однако современная теория качения не даёт однозначного ответа на вопрос, какой из радиусов следует применять при расчётах. Проверка теории качения на соответствие закону сохранения энергии показала, что применение радиуса качения является корректным, а применение динамического радиуса – некорректным.

Ключевые слова: эластичное колесо, динамический радиус, радиус качения, закон сохранения энергии.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В аграрном производстве широко применяются колёсные машины и агрегаты на энергосберегающих шинах низкого и сверхнизкого давления, которые обеспечивают высокое сцепление, агротехническое допустимое буксование и минимальные затраты энергии при движении агрегатов в самих неблагоприятных условиях работы [1, 2, 3].

Особенностью таких шин является их значительная нормальная деформация и, как следствие, существенное различие между значениями динамического радиуса r_d (расстояния от опорной поверхности до оси колеса) и радиуса качения r_k :

$$r_k = \frac{v_T}{\omega} \equiv \frac{L_T}{\alpha} \quad (1)$$

где: v_T – продольная составляющая поступательной скорости движения колеса, взятой без учёта проскальзывания или буксования; ω – угловая скорость вращения колеса в плоскости его вращения; L_T – продольная составляющая теоретического пути, прой-

денного колесом; α – угол поворота колеса в плоскости его вращения.

Однако современная теория качения эластичного колеса не даёт однозначного ответа на вопрос, какой радиус следует применять при расчёте силовых показателей работы колеса.

Представители одной научной школы [4, С. 54; 5, С. 57], опираясь на очевидные геометрические соображения, принимают, что показателем взаимосвязи между приложенным к колесу крутящим моментом M_k и силой тяги колеса P_k является динамический радиус колеса r_d .

А представители второй школы [6, С. 22, 28; 7, С. 17, 33; 8] используют иные подходы и получают, что этим показателем является радиус качения r_k .

Но значения этих радиусов в отдельных случаях могут различаться на 15...25% [8, С. 13], что подрывает доверие к теории качения: любые результаты расчётов колёсных движителей можно оспорить, противопоставив им другие.

Первым обратил внимание на возможность различных подходов в этом вопросе Е.А.Чудаков [9, С. 19, 32].

Но вместо поиска причины разногласий он приравнял альтернативные уравнения и вывел из них корректирующее соотношение для коэффициента сопротивления перекатыванию колеса f , обеспечивающее одинаковость результатов, получаемых при применении того или иного радиуса [9, С. 31].

Однако такое решение не выдерживает проверку на граничные условия, заключающуюся в том, что любое корректное построение должно давать правильные результаты в условиях, когда входные переменные приближаются к крайним допустимым для них значениям.

В данном случае, предполагая значения продольного сноса a и момента сопротивления перекачиванию M_f стремящимися к нулю, получаем два различных уравнения, не могущие давать одинаковые результаты.

Это свидетельствует об искусственности решения, предложенного Е.А. Чудаковым.

Данное направление, в котором полагают правомерным применение обоих радиусов одновременно, поддерживают также авторы работ [10 – 14].

В частности, В.И. Коптилов полагает, что динамический радиус должен применяться при анализе работы колеса с силовой точки зрения, а радиус качения – при анализе с энергетической точки зрения [13, 14].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты многих скрупулёзных теоретических и экспериментальных исследований подтверждают правильность подходов второй научной школы [15–18].

Её расчётные соотношения отражены и в действующем ГОСТ 17697-72 [19, п. 38].

Однако никакие доказательства корректности положений одной из научных школ не могут служить доказательством некорректности положений другой.

В связи с этим в настоящее время продолжают существовать обе научные школы и упомянутое выше противоречие между ними, что, по нашему мнению, свидетельствует о низком качестве теории качения эластичного колеса как науки.

В предыдущей статье автора была сделана попытка применить для разрешения противоречия такой мощный и эффективный инструмент исследования, как закон сохранения энергии.

Однако всесторонняя проверка корректности теории качения с точки зрения этого закона там проведена не была.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является уточнение теории качения эластичного колеса путём всесторонней проверки её корректности с точки зрения закона сохранения энергии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование №1. Авторы работ [4, 5] полагают следующее:

а) показателем взаимосвязи между крутящим моментом колеса M_k и его силой тяги P_k является динамический радиус колеса r_d ;

б) показателем взаимосвязи между угловой скоростью вращения колеса ω и продольной составляющей его теоретической поступательной скорости v_t является радиус качения r_k .

Это означает, что в процессе изменения значений радиусов колеса (неизбежных при существенном изменении нормальной нагрузки) сила тяги P_k изменяется по закону, определяемому законом изменения динамического радиуса r_d , а поступательная скорость v_t – по закону изменения радиуса качения r_k .

Однако это противоречит "золотому правилу" механики, которое является следствием из закона сохранения энергии и гласит: во сколько раз мы проигрываем в скорости, во столько же раз выигрываем в силе.

В соответствии с этим правилом в качестве показателя взаимосвязи в обоих пунктах должен применяться один и тот же радиус, но это требование, как видим, в данном случае не соблюдается.

Для выяснения того, какой же радиус должен фигурировать в пп. а) и б), учтём, что пункт б) является прямым следствием из известного определения радиуса качения r_k (1), что означает его истинность.

Отсюда необходимо следует вывод о том, что в соответствии с "золотым правилом механики" показателем взаимосвязи между крутящим моментом колеса M_k и его силой тяги P_k должен быть тот же радиус, что и в п. б, т.е. радиус качения колеса r_k . Динамический радиус колеса r_d в соответствии с "золотым правилом механики" не может быть показателем упомянутой взаимосвязи, вследствие чего его применение следует полагать некорректным.

Исследование №2. Предположим, что коллизия является следствием различных

методических подходов каждой из научных школ. Авторы работ [4, 5] рассматривают силовое равновесие колеса и изначально вводят в схему сил именно динамический радиус, который и перемещается в окончательный результат. А авторы работ [6, 7] рассматривают баланс мощности колеса, при составлении которого опираются на радиус качения, который в конечном счёте и перемещается в окончательный результат.

В этом случае представляет интерес поиск взаимосвязи между величинами M_k и P_k способом, который изначально не опирается ни на какой из радиусов колеса. Он должен привести к некоторому показателю взаимосвязи, который, возможно, будет представлять собой один из конкурирующих радиусов, что подтвердит правомерность применения этого и неправомерность применения другого радиуса. И такой методический подход возможен – это составление баланса энергий и работ, выполняемых равномерно движущимся колесом – рис. 1.

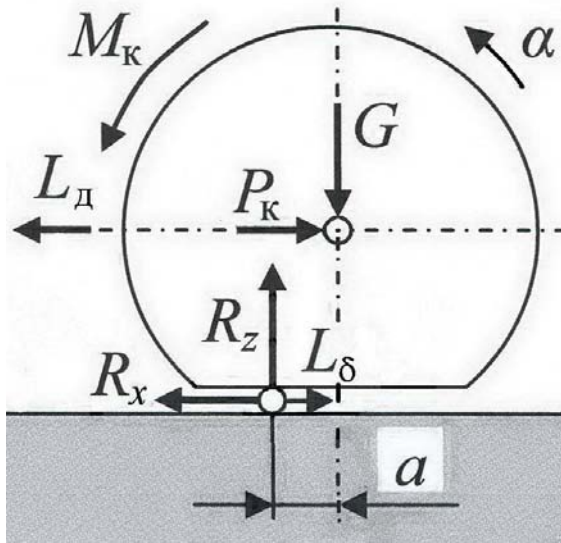


Рис. 1. К составлению уравнения баланса энергий и работ

Fig. 1. To drawing up the equation of energy balance

Подвод энергии осуществляется крутящим моментом M_k , поворачивающим колесо в плоскости его вращения на некоторый угол α . Значение этой энергии (работы) равно $M_k \alpha$. Упомянутый поворот колеса сопровождается по крайней мере одним из двух таких явлений:

- некоторым действительным поступательным перемещением колеса L_d ;
- некоторым пробуксовыванием колеса L_δ , которое представляет собой поступательное перемещение протектора шины относительно опорной поверхности в направлении, противоположном теоретической скорости движения.

На пути действительного перемещения L_d колесо выполняет полезную работу $L_d P_k$.

На пути буксования L_δ рассеивается энергия $L_\delta R_x$, где: R_x – продольная реакция дороги. Данная реакция численно равна силе тяги колеса P_k , вследствие чего рассеиваемая энергия может быть записана в виде $L_\delta P_k$.

В процессе преодоления момента сопротивления перекачиванию $R_z a$ колесо выполняет работу $R_z a \alpha$.

Таким образом, баланс энергий и работ, выполняемых колесом, имеет вид:

$$M_k \alpha = P_k (L_d + L_\delta) + R_z a \alpha.$$

Однако сумма величин L_d и L_δ представляет собой теоретический путь поступательного перемещения колеса L_T , вследствие чего баланс энергий и работ принимает вид:

$$M_k \alpha = P_k L_T + R_z a \alpha. \quad (2)$$

Из баланса (2) следует соотношение

$$M_k = P_k \frac{L_T}{\alpha} + R_z a, \quad (3)$$

свидетельствующее о том, что показателем взаимосвязи между крутящим моментом колеса M_k и его силой тяги P_k является некая величина $\frac{L_T}{\alpha}$. Согласно определению (1) она

представляет собой радиус качения колеса r_k , но не динамический радиус r_d . Т.е. и в этом случае получено, что динамический радиус r_d не является показателем упомянутой взаимосвязи, что подтверждает некорректность его применения.

Исследование №3. Равенство (3) вытекает из баланса энергий и работ (2), подчинённого закону сохранения энергии; а альтернативное равенство (содержащее динамиче-

ский радиус) противоречит равенству (3) т.е. противоречит закону сохранения энергии. Одно это является достаточным основанием для признания ошибочности применения динамического радиуса [20, с. 63].

Исследование №4 заключается в численной проверке баланса (2) на предмет того, действительно ли он, как утверждается в предыдущем пункте, не соблюдается в случае применения динамического радиуса.

Предположим, что имеем колесо со следующими параметрами и показателями нагружения: радиус качения r_k равен 1,0 м; динамический радиус r_d может быть любым, не равным радиусу качения, примем его равным 0,8 м; крутящий момент $M_k = 10$ Н·м; угол поворота колеса в плоскости вращения $\alpha = 1,0$ рад; нормальная реакция дороги $R_z = 20$ Н; продольный снос нормальной реакции a равен 0,1 м.

Согласно определению (1) значение теоретического пути $L_T = r_k \alpha = 1,0$ м.

В соответствии с применяемым в работах [4, 5] соотношением $M_k = P_k r_d + R_z a$ значение силы тяги колеса P_k равно $(M_k - R_z a) / r_d = (10 - 20 \cdot 0,1) / 0,8 = 10,0$ Н.

Подстановкой всех полученных значений в баланс (2) получаем:

- левая часть баланса (энергия, подведенная к колесу) равна:

$$M_k \alpha = 10 \cdot 1,0 = 10,0 \text{ Дж},$$

- правая часть баланса (работа, выполненная колесом), равна:

$$P_k L_T + R_z a \alpha = 10,0 \cdot 1,0 + 20 \cdot 0,1 \cdot 1,0 = 12 \text{ Дж}.$$

Баланс не соблюдается: колесо, расчёт которого производится с применением динамического радиуса, меньшего, чем радиус качения, должно представлять собой источник даровой энергии (вечный двигатель), что, как известно, невозможно.

В противоположном же случае (при $r_d > r_k$) колесо должно представлять собой "черную дыру", в которой энергия бесследно исчезает.

Соблюдение баланса (2) обеспечивается только в одном единственном случае – когда сила тяги колеса P_k равна 8,0 Н, что дости-

гается при вычислении её с применением радиуса качения r_k .

Но при этом возникает вопрос, по какой причине авторы работ [4, 5] приходят к ложному заключению о возможности применения динамического радиуса? Чтобы ответить на него, рассмотрим рис. 2.

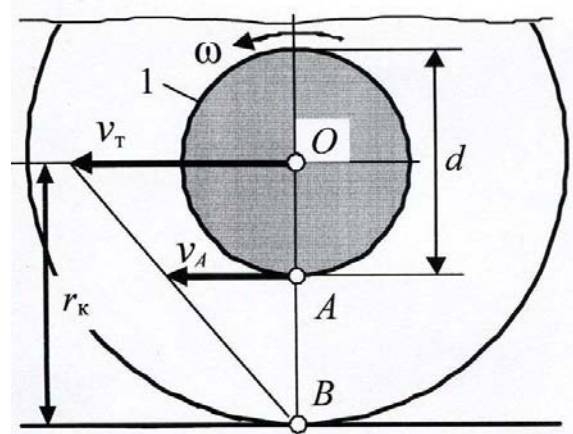


Рис. 2. Эпюра распределения линейных скоростей движения точек жёсткого колеса в сечении OAB

Fig. 2. Distribution diagram linear velocities rigid wheel points in section OAB

Предположим, что изображённое на нём эластичное колесо имеет такую малую нормальную загрузку, при которой его нормальная деформация практически отсутствует и оно ведёт себя точно так же, как и абсолютно твёрдое колесо.

Предположим также, что диск 1 колеса приводится во вращение с угловой скоростью ω , а буксование или проскальзывание колеса относительно опорной поверхности отсутствует.

Точка B контакта колеса с опорной поверхностью будет представлять собой мгновенный центр вращения колеса в его абсолютном движении, вследствие чего линейные скорости движения точек O и A будут равны:

- линейная скорость т.О:

$$v_T = \omega r_k; \quad (4)$$

- линейная скорость т.А колёсного диска диаметром d :

$$v_A = v_T - \omega \cdot 0,5d = \omega (r_k - 0,5d). \quad (5)$$

Поскольку точка B представляет собой мгновенный центр вращения колеса, то её

линейная скорость и длина вектора скорости равны нулю.

Соединив прямыми линиями концы векторов скоростей точек O , A и B , получаем эпюру распределения линейных скоростей точек жёсткого колеса в сечении OAB . Она по всей длине являет собой прямую линию, что свидетельствует об одинаковости угловых скоростей вращения жёсткого колеса во всём упомянутом сечении.

Рассмотрим второй случай качения колеса: нормальная нагрузка большая, наблюдается существенная нормальная деформация шины – рис. 3.

В этом случае необходимо учитывать, что брекерный пояс современных радиальных шин имеет большую эластичность в радиальном направлении и большую жесткость в окружном, вследствие чего беговая дорожка "... ведет себя при качении колеса подобно тракторной гусеничной ленте" [21, С. 38].

При таких условиях путь L_T , проходимый колесом при его повороте в плоскости вращения, будет таким же, как и в предыдущем случае.

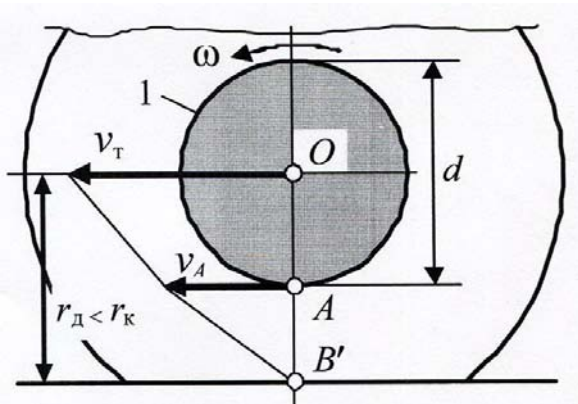


Рис. 3. Эпюра распределения линейных скоростей движения точек эластичного колеса в сечении OAB'

Fig. 3. Distribution diagram linear velocities elastic wheel points in section OAB'

Это означает, что радиус качения колеса (согласно выражению (1)) и линейная скорость движения т. O (согласно выражению (4)) в данном случае тоже будут такими, как и в предыдущем случае. На рис. 3 это отражено вектором v_T скорости движения т. O , равным такому же вектору на рис. 2.

В соответствии с соотношением (5) линейная скорость движения т. A тоже останется без

изменений, что отражено на рис. 3 вектором v_A .

Линейная скорость и длина вектора скорости т. B' (мгновенного центра вращения колеса) равны нулю.

Соединив концы векторов скоростей точек O , A и B' прямыми линиями, получаем эпюру распределения линейных скоростей точек эластичного колеса в сечении OAB' . Она представляет собой ломаную линию, что свидетельствует о различных угловых скоростях участков OA и AB' сечения OAB' колеса. На участке OA угловая скорость вращения остаётся той же, что и раньше, равной ω . Но на участке AB' угловая скорость ω' несколько больше, потому что на меньшем, чем у жёсткого колеса, плече AB' (равном $r_d - 0,5d$) она обеспечивает ту же линейную скорость v_A , что и у жёсткого колеса:

$$v_A = \omega \cdot (r_k - 0,5d) = \omega' \cdot (r_d - 0,5d).$$

Увеличение угловой скорости шины в сечении OAB' происходит за счет тангенциальных деформаций боковин. Это, в частности, даёт объяснение тому факту, что при работе шин с пониженным давлением воздуха, несмотря на большую радиальную эластичность, катастрофически быстро разрушаются боковины.

Из последнего уравнения следует, что угловая скорость вращения участка AB' сечения OAB' эластичного колеса равна:

$$\omega' = \omega \cdot \frac{(r_{k0} - 0,5d)}{(r_{d0} - 0,5d)}. \quad (6)$$

Вследствие этого эластичное колесо нельзя рассматривать как монолитное затвердевшее тело.

Применяя принцип затвердевания и динамический радиус, эластичное колесо следует представлять в виде двух твердых тел, шарнирно соединенных между собой – колесного диска с посадочным диаметром d , вращающегося с угловой скоростью ω , и шарнирно прикрепленного к нему рычага длиной $AB' = r_d - 0,5d$, угловая скорость вращения которого (ω') несколько больше, чем ω , и определяется по выражению (6).

Только в таком случае механическая модель колеса, опирающаяся на динамический радиус, будет физически корректной.

Силы, действующие в такой механической системе, невозможно определить с помощью элементарного уравнения её равновесия под действием приложенных сил и моментов, что и ввело в заблуждение авторов работ [4, 5]. Это можно сделать только с помощью уравнения, составленного для баланса мощности или работ колеса.

С другой стороны, можно применять и простейшую модель эластичного колеса – в виде монолитного недеформируемого твёрдого тела, взаимодействующего с опорной поверхностью на плече, равном радиусу качения эластичного колеса r_k . В силу простоты этой модели и соответствующих ей расчетных соотношений целесообразно применять именно её.

ВЫВОДЫ

1. Применение динамического радиуса в теории качения эластичного колеса противоречит закону сохранения энергии и следствиям из него, вследствие чего однозначно должно быть признано некорректным. Причиной этого является неправомерное представление эластичного колеса в виде монолитного затвердевшего тела, взаимодействующего с опорной поверхностью на плече, равном динамическому радиусу.

2. Научная школа теории качения, опирающаяся на радиус качения колеса r_k и представленная в ГОСТ-17697-72, безупречна с точки зрения закона сохранения энергии.

3. Научная школа, опирающаяся на динамический радиус r_d , таковой не является.

3. При расчётах колёсных движителей, у которых динамический радиус и радиус качения различаются несущественно, можно применять как тот, так и другой радиус. Однако при расчетах движителей низкого и сверхнизкого давления, у которых упомянутые радиусы существенно различаются, применение динамического радиуса будет приводить к существенным ошибкам конечного результата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zaytsev S.D., Pryadkin V.I., Streblechenko L.S. 2006: Energosredstvo na shinah sverhnizkogo davleniya // Traktory i selkhoz mashiny. – №10. – 9–10.
2. Włodzimierz Białczyk. 2012: Plość przelożeń w układzie napędowym a walory użytkowe ciągnika rolniczego / Włodzimierz Białczyk, Anna Cudzik, Jarosław Czarnecki, Marek Brennenstul // Lublin, MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Vol. 14. No. 5. – 169–176.
3. Borisenko V.O. 2011: Imitatsiyne modelyuvannya roboti polovikh agregativ // Lublin. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Vol. 13 B. – 80–86.
4. Kutkov G.M. 2004: Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskiye svoystva / – M.: KolosS. – 504.
5. Traktory. 1988: Teoriya / V.V. Guskov, N.N. Velev, Yu.E. Atamanov [i dr.]; pod. red. V.V. Guskova. – M.: Mashinostroyeniye. – 376.
6. Smirnov G.A. 1981: Teoriya dvizheniya kolesnykh mashin. – M.: Mashinostroyeniye. – 271.
7. Grishkevich A.I. 1986: Avtomobili. Teoriya. – Mn. – Vysheyshaya shkola. – 208.
8. Petrushov V.A., Shuklin S.A., Moskovkin V.V. 1975: Soprotivleniye kacheniyu avtomobiley i avtopoyezdov. – M.: Mashinostroyeniye. – 225.
9. Chudakov Ye.A. Teoriya avtomobilya. – M.: Mashgiz, 1950. – 343.
10. Petrushov V.A. 1963: K voprosu o kachenii elastichnogo kolesa po tverdoy opornoy poverkhnosti // Avtomobilnaya promyshlennost. №12. – 5–9.
11. Litvinov A.S., Farobin Ya.E. 1989: Avtomobil. Teoriya ekspluatatsionnykh svoystv. – M.: Mashinostroyeniye. – 240.
12. Dinamika 1976: Dinamika sistemy doroga – shina-avtomobil-voditel / A.A. Khachaturov, V.L. Afanasyev, V.S. Vasilyev [i dr.]; pod red. A.A. Khachaturova. – M.: Mashinostroyeniye. – 535.
13. Kopotilov V.I. 2013: O fizichescom smisle coefficienta soprotivleniya kacheniyu veduschego kolesa avtomobilya. – №1. – 20–23.
14. Kopotilov V.I. 2013: O fizichescom smisle coefficienta soprotivleniya kacheniyu veduschego kolesa avtomobilya. – №3. – 13–16.

15. Chabarov A.A. 1971: Otdelniye voprosi processa ravnomernogo kacheniya vedushchego pnevmaticheskogo koleasa // Trudi NATI. Vip. 212. – 3–30.
16. Stankevich E.B. 1987: Zavisimost silovogo nagruzheniya koleasa ot yego geometricheskikh parametrov // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. – №9. – 6–9.
17. Goncharenko S.V. 2007: Identiflkatsiya shin po ekspluatatsionnym pokazatelyam / S.V. Goncharenko, Z.A. Godzhayev, E.B. Stankevich [i dr.] // Traktory i selkhoz mashiny. – №7. – 16–19.
18. Zaytsev S.D. 2010: Eksperimentalnaya otsenka tyagovo-stsepykh kachestv shirokoprofilnoy shiny / S.D. Zaytsev, L.S. Streblechenko, S.V. Goncharenko, V.L. Pryadkin // Traktory i selkhoz mashiny. – № 8. – 25–27.
19. GOST 1972: GOST 17697-72. Avtomobili. Kacheniyе koleasa. Terminy i opredeleniya. – Vved. 1972-05.06. M.: Izd-vo standartov. – 24.
20. Irodov I.E. 1978: Osnovnyye zakony mekhaniki. – M.: Vysshaya shkola. – 240.
21. Rabota 1976. Rabota avtomobilnogo koleasa / V.I.Knoroz, Ye.V. Klennikov, I.P. Petrov i dr. – M.: Transport. – 239.

ONCE AGAIN ABOUT RADIUS OF ELASTIC WHEEL

Summary. The loaded radius and effective rolling radius of the low and ultralow pressure tires are significantly different. However, the modern theory of rolling does not give an unambiguous answer to the question which of the radiuses should be used in the calculations. Verification of the theory of rolling concerning its conformity to the energy conservation law has shown the following: the application of the effective rolling radius is correct and the use of the loaded radius is incorrect.

Key words: elastic wheel, loaded radius, effective rolling radius, law of conservation of energy.

ОЦЕНКА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ОТЖИМЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА

Геннадий Голуб, Максим Павленко, Наталья Оларь

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Gennadiy Golub, Maksym Pavlenko, Nataliya Olar

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Приведена оценка сырьевой базы производства дизельного биотоплива при двухступенчатом отжиме растительного масла.

Ключевые слова: растительное масло, дизельное биотопливо, холодный отжим, горячий отжим.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На пороге XXI века человечество подсчитывает мировые запасы нефти и прогнозирует ресурсы минерального ископаемого топлива примерно на 50 лет, тем самым осознавая, что необходимо искать замену привычным для нас нефтепродуктам, в частности дизельному топливу. Для замены дизельного топлива используют топлива биологического происхождения, а именно: растительное масло и метиловый эфир. Реальной альтернативой традиционному дизельному топливу по своим свойствам является дизельное биотопливо в виде метилового эфира.

Основным сырьем для производства дизельного биотоплива есть растительное масло, а именно: рапсовое, подсолнечное, соевое, льняное, рыжиковая и другие. Любое из данных масел можно использовать для производства дизельного биотоплива, только нужно правильно подобрать концентрации химических компонентов, которые используются при его производстве. Однако существует проблема при использовании растительного масла в качестве сырья для производства биодизельного топлива - аграрии не всегда заинтересованы направлять зерно и масло на производство дизельного биотоплива. Поэтому необходимо искать пути заинтересованности производителей масла для его переработки под дизельное биотопливо.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проблем при производстве дизельного биотоплива достаточно немало. Например, необходимо покупать зерно почти по себестоимости, совершенствовать технологический процесс производства дизельного биотоплива, повышая его экономическую эффективность не снижая качества продукции.

Решением этих проблем при производстве дизельного биотоплива в условиях сельского хозяйства занимались многие ученые. Среди них, наибольшего результата достигли: Евич П. [11], который разработал стандарт по использованию рапсового масла как топлива; Дубровин В.А. [1, 12, 15, 16, 17, 18, 21], проанализировал технологии производства дизельного биотоплива с растительных масел, разработал рекомендации по использованию дизельного биотоплива в сельском хозяйстве; Чуба В.В. [3, 4], раскрыл технические особенности установок для изготовления дизельного биотоплива и варианты использования дизельного биотоплива в двигателях внутреннего сгорания; Драгнев С.В. [6, 20], обосновал адаптивный процесс и параметры установки для изготовления метиловых эфиров жирных кислот; Полищук В.Н. [8, 9, 14], проанализировал технологии изготовления дизельного биотоплива, рассмотрел варианты альтернативных топлив для дизельных двигателей; Масло И.П., Заборский В.П. и Вережка М.И. [4, 5] занимались исследованиями по изготовлению и использованию дизельного биотоплива на основе растительных масел; Муштрук М.М. [10, 13], проанализировал технологии и оборудование по изготовлению дизельного биотоплива на основе животных жиров; Каленская С.М. [19], проанализировала сырьевую базу, тех-

ОЦЕНКА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ОТЖИМА РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА

нологии изготовления и характеристики дизельного биотоплива. Данные работы посвящены разработкам и улучшениям оборудования для производства дизельного биотоплива путем совершенствования технологических линий и оборудования для этерификации растительного масла в дизельное биотопливо.

Нами, в работах [2, 7] проанализировано промышленную и агропромышленную технологию производства дизельного биотоплива. Агропромышленная технология производства дизельного биотоплива – это упрощенная промышленная технология, которая адаптирована под фермерское производство дизельного биотоплива для собственного использования.

В то же время, вопрос увеличения экономической эффективности производства дизельного биотоплива из растительных масел остается открытым.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Провести оценку сырьевой базы производства дизельного биотоплива при двухступенчатом отжиме растительного масла.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Производство растительного масла путем прессования должно включать в себя первый (холодный) отжим и второй (горячий) отжим, согласно схеме приведенной на рис. 1.

Технологическая схема агропромышленного производства дизельного биотоплива выглядит следующим образом: полученное зерно очищают от различных примесей, сушат до заданной нормы содержания влаги, затем подают на пресс, на котором под давлением без нагрева получают неочищенное масло первого (холодного) отжима и жмых с высоким содержанием масла, который подвергают второму (горячему) отжиму.

При этом получают неочищенное масло и жмых с низким содержанием масла.

Масло холодного отжима очищают путем фильтрации или осаждения, подвергают винтеризации, повторно фильтруют или осаждают и используют для пищевых потребностей. Масло горячего отжима очищают путем осаждения, подвергают винтеризации

для удаления воска, повторно очищают путем осаждения и используют как сырье для производства дизельного биотоплива, а именно при добавлении метилата калия проводят процесс этерификации, разделяют на фракции, полученный метиловый эфир очищают путем осаждения и откачивают в резервуар для хранения дизельного биотоплива.

При прессовании имеем уравнение баланса массы масла:

$$M_o = M_{ox} + M_{ог}, \quad (1)$$

где: M_o – общая масса масла, которое можно получить при прессовании зерна масличной, кг; M_{ox} – масса масла первого (холодного) отжима, кг; $M_{ог}$ – масса масла второго (горячего) отжима, кг.

Умножив уравнение баланса массы масла на цену каждого компонента, получим:

$$M_o C_o = M_{ox} C_{ox} + M_{ог} C_{ог}, \quad (2)$$

где: C_o – цена масла, грн./кг; C_{ox} – цена масла первого (холодного) отжима, грн./кг; $C_{ог}$ – цена масла второго (горячего) отжима, грн./кг.

Разделив на массу зерна масличной культуры, получим:

$$\frac{M_o}{M} C_o = \frac{M_{ox}}{M} C_{ox} + \frac{M_{ог}}{M} C_{ог},$$

$$\text{или } k_o C_o = k_{ox} C_{ox} + k_{ог} C_{ог}, \quad (3)$$

где: k_o – общий коэффициент выхода масла, %; k_{ox} – коэффициент выхода масла первого (холодного) отжима, %; $k_{ог}$ – коэффициент выхода масла второго (горячего) отжима, %.

Учитывая, что, $k_{ог} = k_o - k_{ox}$ с уравнения (3) можно записать:

$$k_o C_o - k_{ox} C_{ox} = (k_o - k_{ox}) C_{ог}. \quad (4)$$

Откуда цена масла второго (горячего) отжима составит:

$$C_{ог} = \frac{k_o C_o - k_{ox} C_{ox}}{k_o - k_{ox}}. \quad (5)$$

Зависимость (5) для определения цены масла второго (горячего) отжима в графическом виде приведена на рис. 2.

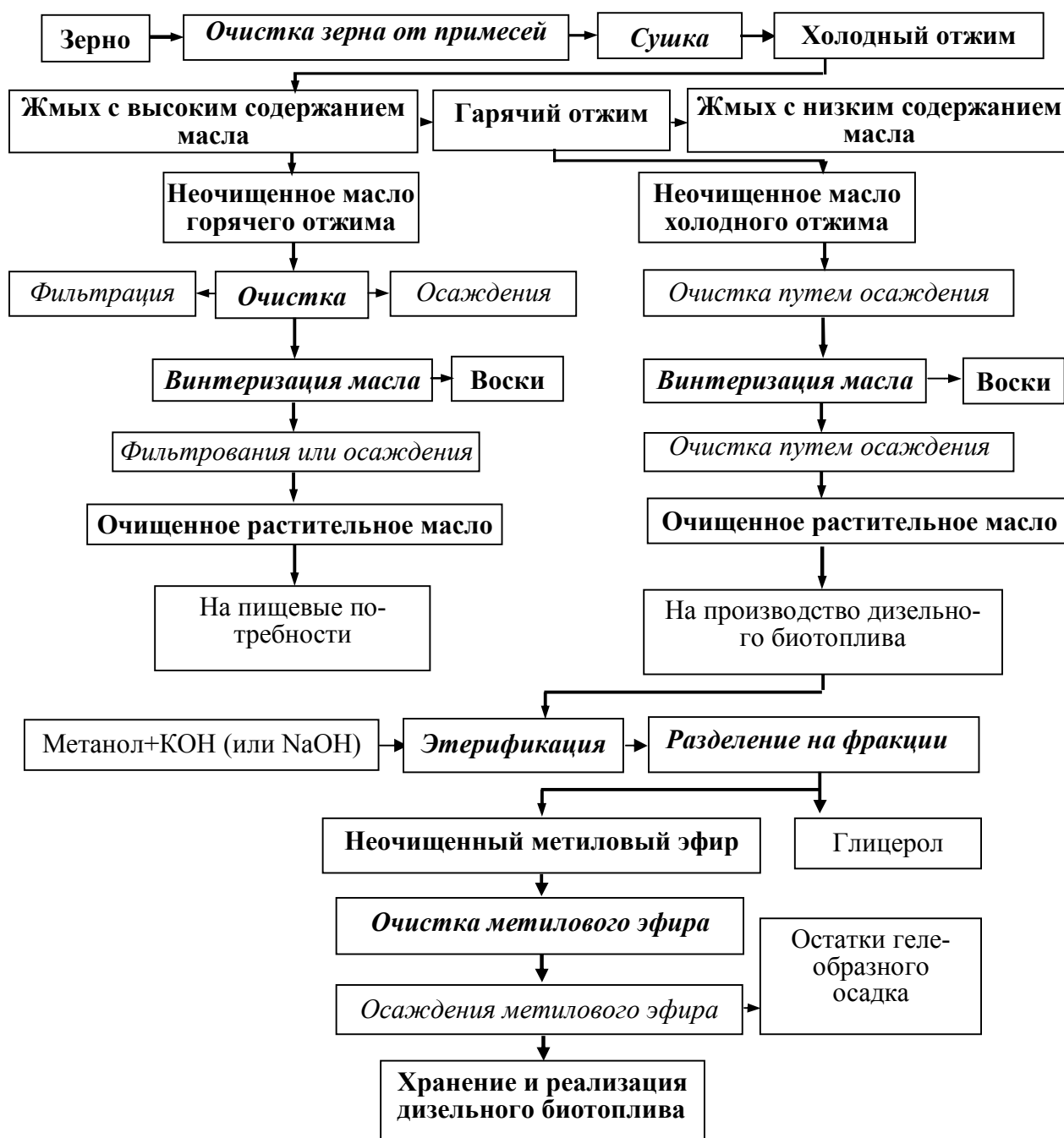


Рис. 1. Схема агропромышленного производства масла холодного отжима и дизельного биотоплива из масла горячего отжима

Fig. 1. Scheme of agricultural production oil by cold-pressed and biodiesel production from oil by hot pressed

Анализ показывает, что цена масла второго (горячего) отжима уменьшается при увеличении цены первого (холодного) отжима и при увеличении коэффициента выхода масла холодного отжима. На графике имеется также зона нулевых значений цены масла второго (горячего) отжима при цене масла холодного отжима от 12 грн./кг до 16 грн./кг и при коэффициенте выхода масла первого (холодного) отжима в пределах от 20 % до

26 %. Нулевая цена масла второго (горячего) отжима может быть определена с уравнения (5) следующим образом, если $C_{ог} = 0$, то $k_o C_o - k_{ох} C_{ох} = 0$ или:

$$k_{ох} = k_o \frac{C_o}{C_{ох}}. \quad (6)$$

Зависимости на рис. 3 получены исходя из нулевой цены масла второго (горячего) отжима.

ОЦЕНКА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВА ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА
ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ОТЖИМА РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА

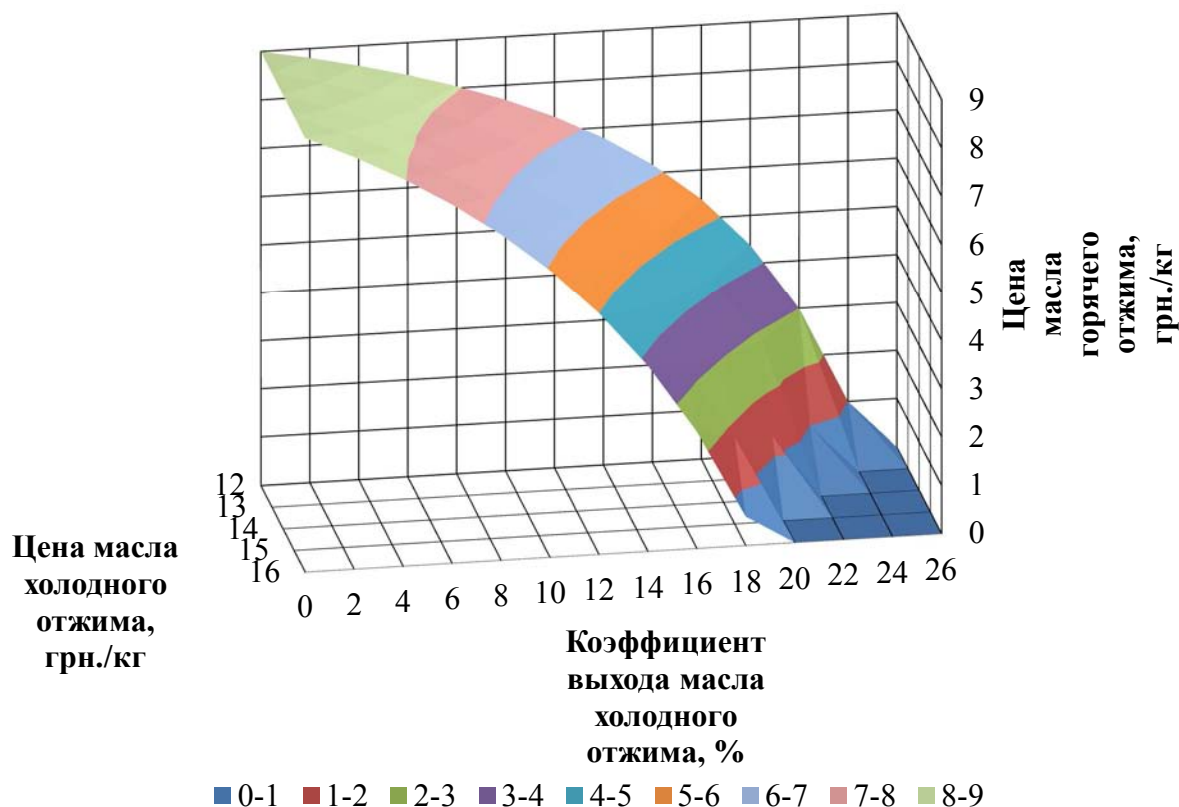


Рис. 2. Зависимость цены масла второго (горячего) отжима от цены масла первого (холодного) отжима и коэффициента выхода масла холодного отжима
Fig. 2. Dependence of the second oil price (hot) pressed from oil prices first (cold) pressed and exit rates of oil cold pressed

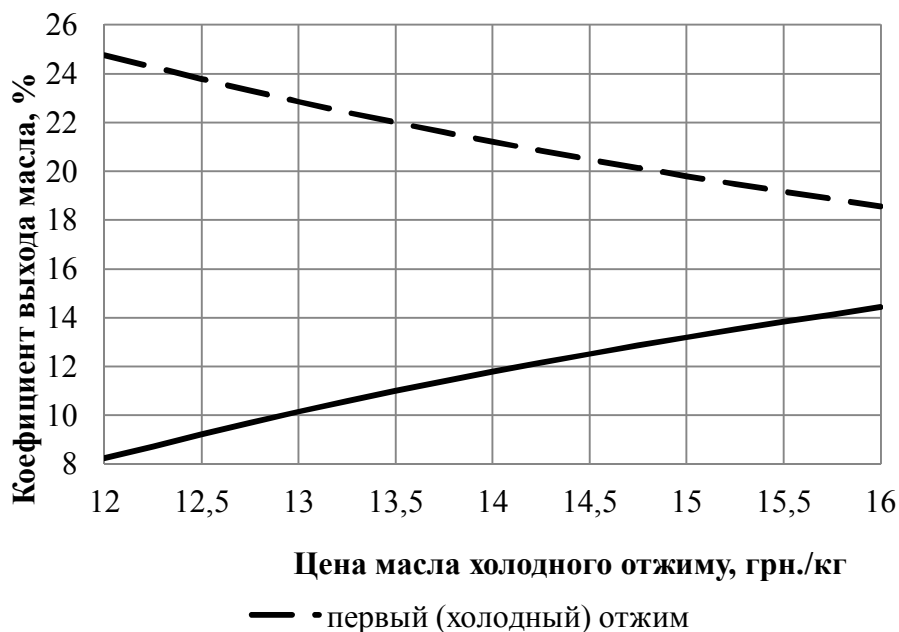


Рис. 3. Зависимость значений коэффициентов выхода масла первого (холодного) и второго (горячего) отжима от цены масла первого (холодного) отжима при нулевом значении цены масла второго (горячего) отжима
Fig. 3. Dependence of output values of coefficients of first oil (cold) and second (hot) pressed from oil prices first (cold) pressed for zero value of second oil price (hot) pressed

Установлено, что с увеличением цены масла первого (холодного) отжима, нулевая цена масла второго (горячего) отжима может быть достигнута при меньших значениях коэффициента выхода масла первого (холодного) отжима и при больших значениях коэффициента выхода масла второго (горячего) отжима.

Таким образом, при увеличении цены масла первого (холодного) отжима, нулевую цену масла второго (горячего) отжима можно будет получить при меньших значениях коэффициента выхода масла первого (холодного) отжима и больших значениях коэффициента выхода масла второго (горячего) отжима.

Так, например, при цене масла первого (холодного) отжима 12 грн./л, цена масла второго (горячего) отжима имеет нулевое значение при коэффициенте выхода масла первого (холодного) отжима 25 % и коэффициенте выхода масла второго (горячего) отжима 8 %.

При цене масла первого (холодного) отжима 16 грн./л, аналогичная ситуация будет иметь место при коэффициенте выхода масла первого (холодного) отжима 19 % и коэффициенте выхода масла второго (горячего) отжима 14,5 %.

В случае, когда коэффициенты выхода масла первого (холодного) и второго (горячего) отжима одинаковы и составляют

$$k_{OX} = k_{OG} = \frac{k_O}{2},$$

цена масла второго (горячего) отжима в зависимости от цены масла первого (холодного) отжима составит:

$$C_{OG} = 2C_O - C_{OX}. \quad (7)$$

Эта зависимость в графическом виде приведена на рис. 4.

С рисунка видно, что цена масла второго (горячего) отжима уменьшается при увеличении цены масла первого (холодного) отжима.

Так, например, при одинаковых коэффициентах выхода масла первого (холодного) и второго (горячего) отжима и при цене масла первого (холодного) отжима 12 грн./кг, цена масла второго (горячего) отжима составит 6 грн./кг, аналогично, при цене масла первого (холодного) отжима 16 грн./кг, цена масла второго (горячего) отжима составит 2 грн./кг.

ВЫВОД

Таким образом, для получения растительного масла необходимо применять двухступенчатый отжим, причем высококачественное масло первого (холодного) отжима целесообразно использовать для пищевых потребностей, а недорогое, по сравнению с маслом первого (холодного) отжима, масло второго (горячего) отжима – для нужд производства дизельного биотоплива.

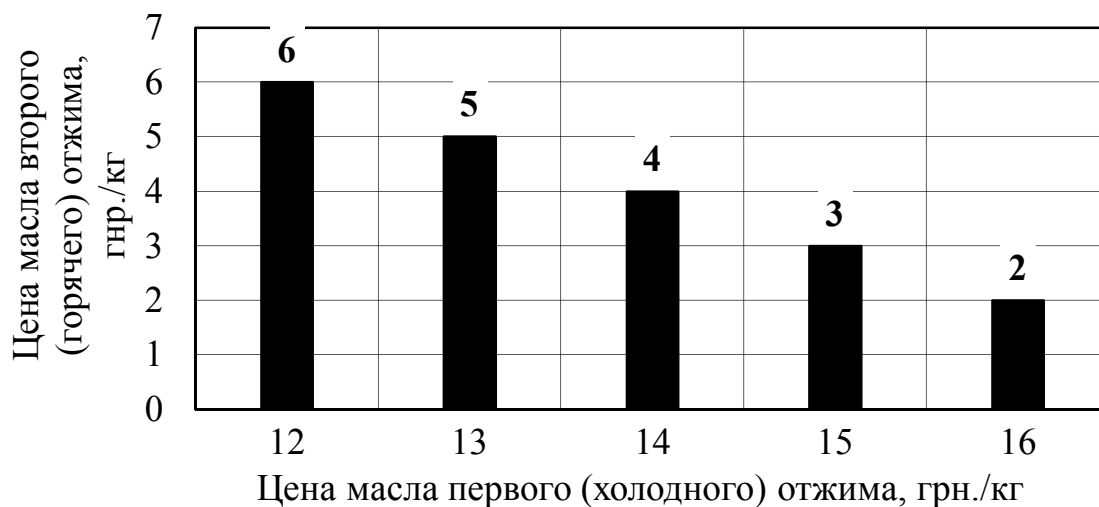


Рис. 4. Зависимость цены масла второго (горячего) отжима от цены масла первого (холодного) отжима

Fig. 4. Dependence of the second oil price (hot) pressed from oil prices first (cold) pressed

ЛИТЕРАТУРА

1. Biopaliva 2004: (tehnologii, mashini i obladnannya) / V.O. Dubrovin, M.O. Korchemniy, I.P. Maslo, O. Sheptitskiy, A. Rozhkovskiy, Z. Pastorek, A. Gzhibek, P. Yevich, T. Amon, V.V. Krivoruchko – K.: TsTI «Energetika i yelektrifikatsiya». – 256.
2. Golub G.A. 2012: Analiz tekhnologiy virobnitstva roslinnoi olii ta dizelnogo biopaliva na ii osnovi. G.A. Golub, M.Yu. Pavlenko, S.V. Lukyanets / Tekhniko-tehnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoi tekhniki i tekhnologiy dlya silskogo gospodarstva Ukraini: zbirnik nauk. pr. / DNU «Ukrainskiy nauk.-dosl. in.-t. prognozuvannya ta viprobuvannya tekhniki i tekhnologiy dlya s.-g. virobnitstva im. Leonida Pogorilogo» (UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo); Redkol.: Kravchuk V.I. (golov. red.) ta in. – Doslidnitske. – Vip. 16 (30), kn. 2. – 391 – 399.
3. Golub G.A. 2012: Napryamki udoskonalennya virobnitstva i vikoristannya dizelnogo biopaliva / G.A. Golub, V.V. Chuba, M.Yu. Pavlenko // Zbirnik naukovikh prats VNAU. Vinnitsya, – Vipusk 10 t.1 (58).
4. Golub G.A. 2011: Osoblivosti ustanovok dlya virobnitstva dizelnogo biopaliva / G.A. Golub, V.V. Chuba, M.I. Virovka // Promislova gidravlika i pnevmatika (Vseukrainskiy naukovu-tekhnichniy zhurnal). – № 2 (32). – 91–95.
5. I.P. Maslo, V.P. Zaborskiy, M.I. Virovka 2004: Virobnitstvo ta vikoristannya biopaliva na osnovi roslinnikh oliy // Materiali mizhnarodnoi naukovu-praktichnoi konferentsii "Problemi ta perspektivi rozvitku agrarnoi mekhaniki". – Dnipropetrovsk. – 49–51.
6. Obruntuvannya 2009: Obruntuvannya adaptivnogo protsesu i parametriv reaktora dlya oderzhannya metilovikh yefiriv roslinnikh oliy: avtoref. dis. ... kand. tekhnichnikh nauk: 05.05.11 – mashini i zasobi mekhanizatsii silskogospodarskogo virobnitstva / S.V. Dragnyev; Natsionalniy universitet bioresursiv i prirodozoristuvannya Ukraini (K.). – K. – 20.
7. Pavlenko M.Yu. 2013: Analiz tekhnologiy virobnitstva dizelnogo biopaliva / M.Yu. Pavlenko // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodozoristuvannya Ukraini. Seriya: tekhnika ta yenergetika APK / Redkol.: D.O. Melnichuk (vidp. red.) ta in. – K.: Vip 185, ch.1. – 161–166.
8. Polishchuk V.M. 2010: Tekhnologii virobnitstva biodizelya (oglyad) / V.M. Polishchuk, S.Ye. Tarasenko, I.D. Gumenyuk, M.M. Yastrub, O.V. Polishchuk // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodozoristuvannya. – Kiev. – 354–359.
9. Polishchuk V. 2012: Alternativnyye dizelnyye topliva / Viktor Polishchuk, Valeriy Dubrovin, Aleksey Polishchuk // MOTROL. Motoryzatsiya i energetyka rolnictva / – Lublin. T. 14C. – 20–31.
10. Mushtruk M. 2012: Intensifikatsiya protsesa preobrazovaniya zhirov v dizelnoye biotoplivo. Mikhail Mushtruk, Yuriy Sukhenko, Vladislav Sukhenko // MOTROL. Motoryzatsiya i energetyka rolnictva / – Lublin. T. 14C. – 96–103
11. Jevič P. 2012: Technical standart for rapeseed oil as fuel / Petr Jevič, Valeriy Dubrovin, Eugeniusz Krasowski // MOTROL. Motoryzatsiya i energetyka rolnictva / – Lublin. T. 14C. – 4–8.
12. Posibnik. 2010: Tekhnologii ta obladnannya dlya vikoristannya ponovlyuvanikh dzherel energii v silskogospodarskomu virobnitstvi / Za red. Kravchuka V.I., Dubrovina V.O. – Doslidnitske: UkrNDPIVT im. L. Pogorilogo. – 51–68
13. Mushtruk M.M. 2013: Tekhnologii i obladnannya dlya virobnitstva dizelnogo biopaliva z roslinnikh oliy i tvarinnikh zhiriv / M.M. Mushtruk, Yu.G. Sukhenko, V.Yu. Sukhenko // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodozoristuvannya Ukraini. Seriya: tekhnika ta yenergetika APK / Redkol.: D.O. Melnichuk (vidp. red.) ta in. – K.: Vip 185, ch.3. – 259–267.
14. Polishchuk V.M. 2008: Zastosuvannya biopaliv dlya dizelnikh dviguniv / V.M. Polishchuk, S.V. Dragnyev, I.I. Ubozhenko, M.Yu. Pavlenko, O.V. Polishchuk // Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu / Redkol.: D.O. Melnichuk (vidp. red.) ta in. – K.: Vip 125.– 315–319.
15. Alternativna energetika 2011: [navch. Posibnik dlya vishch. navch. zakl.] / M.D. Melnichuk, V.O. Dubrovin, V.G. Mironenko,

I.P. Grigoryuk, V.M. Polishchuk, G.A. Golub, V.S. Targonya, S.V. Dragnyev, I.V. Svistunova, S.M. Kukharets. – K: «Agrar Media Grup». – 612.

16. Biologichni 2010: Biologichni resursi i tekhnologii virobnitstva biopaliva: Monografiya / Ya.B. Blyum, G.G. Geletukha, I.P. Grigoryuk, K.V. Dmitruk, V.O. Dubrovin, A.I. Yemets, G.M. Zabarniy, G.M. Kaletnik, M.D. Melnichuk, V.G. Mirinenko, D.B. Rakhmetov, A.A. Sibirniy, S.P. Tsigankov. – K.: «Agrar Media Grup». – 408.

17. Bioenergiya 2009: Bioenergiya v Ukraini – Rozvitok silskikh teritoriy ta mozhlivosti dlya okremikh gromad: [naukovo-metodichni rekomendatsii shchodo vprovadzhennya peredovogo dosvidu agrarnikh pidpriyemstv Polshchi, Litvi ta Ukraini zi stvorenniya novitnikh obyektiv bioenergetiki, yefektivnogo virobnitstva i vikoristannya biopaliva] / Za redaktsiyeyu V.O. Dubrovina, Anni Gzhibek ta V.M. Lyubarskogo. – K.: «Agrar Media Grup». – 111.

18. Novitni 2010: Novitni tekhnologii bioenergokonversii: Monografiya / Ya.B. Blyum, G.G. Geletukha, I.P. Grigoryuk, V.O. Dubrovin, A.I. Yemets, G.M. Zabarniy, G.M. Kaletnik, M.D. Melnichuk, V.G. Mirinenko, D.B. Rakhmetov, S.P. Tsigankov – K.: «Agrar Media Grup» – 326.

19. Kalenska S. 2011: Dizelnoye biopalivo: sirovina, tekhnologi virobnitstva i vlastivosti: Monografiya / S. Kalenska, D. Rakhmetov, V. Kalenskiy, A. Yunik, Ye. Kachura, M. Owczuk, K. Kolodziejczyk, V. Makareviciene, E. Zaleckas – Kaunas. – 105.

20. Alternativna yenergetika 2012: [navch. posibnik dlya stud. vishch. navch. zakl.] M.D. Melnichuk, V.O. Dubrovin, V.G. Mironenko, I.P. Grigoryuk, V.M. Polishchuk, G.A. Golub, V.S. Targonya, S.V. Dragnyev, I.V. Svistunova, S.M. Kukharets. – K: «Agrar Media Grup». – 244.

21. Kompleksni 2011: Kompleksni energooshchadni sistemi virobnitstva i vikoristannya tverdikh ta ridkikh biopaliv v umovakh APK: rekomendatsii dlya agropromislovikh pidpriyemstv Ukraini / [M.D. Melnichuk, V.O. Dubrovin, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk ta in.]; NUBiP Ukraini. – K.: NUBiP Ukraini. – 66–70.

ASSESSMENT RESOURCE BASE BIODIESEL PRODUCTION WITH TWO- STEP PRESS VEGETABLE OIL

Summary. Resource base biodiesel production at the vegetable oil in two-step pressing.

Key words: vegetable oil, biodiesel, cold pressing, hot pressing.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА БАШЕННОГО КРАНА С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМОЙ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

Вячеслав Ловейкин, Александр Шевчук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Vyacheslav Loveykin, Oleksandr Shevchuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Решена вариационная задача определения оптимального режима движения совместной работы двух механизмов грузоподъемной машины. Движение механизмов описывается системой дифференциальных уравнениями второго порядка. Результаты проиллюстрированы графическими зависимостями.

Ключевые слова: башенный кран, оптимизация движения, уравнение Эйлера-Пуассона, функционал, метод коллокаций.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Башенный кран с шарнирно-сочлененной стреловой системой (рис. 1) используется для высотного строительства [1].

Стреловая система таких кранов состоит с основной – 2 и вспомогательной – 3 секций, которые шарнирно соединены между собой. Основная секция поворачивается относительно башни – 1. Вспомогательная секция сохраняет горизонтальное положение за счет присоединенного четырех звеньев механизма. Вдоль вспомогательной секции передвигается грузовая тележка – 4. Изменения вылета таких кранов выполняется как при отдельной работе механизмов передвижения стреловой системы и грузовой тележки, так и при совместной работе этих механизмов. Во время работы механизмов башенного крана, в переходных режимах движения (разгон, торможение) возникают значительные динамические нагрузки [2–9]. Они передаются на детали механизмов и на металлоконструкцию крана и влияют на безопасность эксплуатации и надежность всей системы. Кроме этого, при работе механизмов, возникают маятниковые колебания гру-

за, которые снижают продуктивность и надежность работы крана.

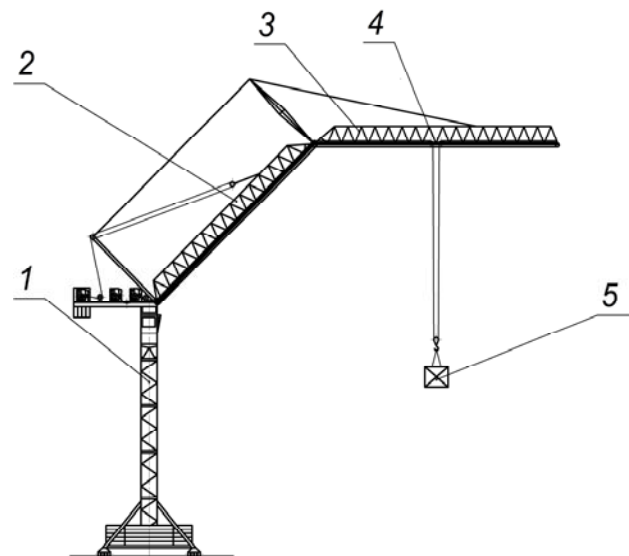


Рис. 1. Башенный кран с шарнирно-сочлененной стреловой системой: 1 – башня; 2 – основная секция стреловой системы; 3 – вспомогательная секция стреловой системы; 4 – грузовая тележка; 5 – груз

Fig. 1. Articulated jib of tower crane: 1 – tower; 2 – jib foot; 3 – jib head; 4 – trolley; 5 – payload

Для минимизации динамических нагрузок, а также устранения колебаний груза необходимо провести оптимизацию режимов движения механизмов башенного крана.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оптимизации режимов движения механизмов грузоподъемных машин посвящено много работ [10–14]. Так, например, в статье [11] определены оптимальные режимы движения механизма изменения вылета, кото-

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА БАШЕННОГО КРАНА С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМОЙ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

рые минимизируют отклонения гибкого подвеса груза от вертикали. В работе [12] приведен способ уменьшения колебаний груза на гибком подвесе при работе механизма поворота стрелового крана во время переходных процессов путем оптимизации режима пуска и торможения по динамическому критерию. В статье [13] решена вариационная задача определения оптимального режима движения механизма грузоподъемной машины с электроприводом постоянного тока. В работе [14] выполнено моделирование движения мостового крана где оптимальное приводное усилие крана реализовано способом частотного регулирования электродвигателя. Проведена оценка эффективности оптимального управления по энергетическим, электрическим, динамическим и кинетическим показателям. Установлены рациональные настройки привода для качественной реализации оптимального управления. Опираясь на ранее проведенные исследования, предложено провести оптимизацию режима изменения вылета башенного крана с шарнирно-сочлененной стреловой системой по энергетическому критерию.

ЦЕЛЬ РОБОТЫ

Цель работы заключается в определении оптимального режима изменения вылета башенного крана с шарнирно-сочлененной стреловой системой при совместной работе механизмов подъема стреловой системы и перемещений грузовой тележки, при котором будут минимизированы энергетические расходы и устранятся колебания груза.

Для достижения поставленной цели ставятся такие задачи: 1) провести математическое моделирование процесса изменения вылета; 2) решить вариационную задачу по минимизации энергетического критерия; 3) проанализировать полученные результаты и оценить эффективность практического использования оптимального закона движения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследования используем динамическую модель изменения вылета башенного крана с шарнирно-сочлененной стреловой системой (рис. 2), которая показана

на рис. 2. За обобщенные координаты приняты: α – угловая координата перемещения основной секции стреловой системы; x_1 , x – линейные координаты перемещения центров масс грузовой тележки и груза соответственно.

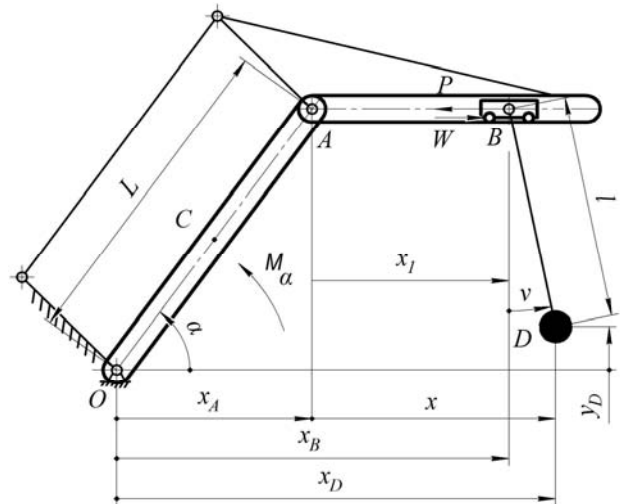


Рис. 2. Динамическая модель изменения вылета башенного крана с шарнирно-сочлененной стреловой системой

Fig. 2. Dynamic model of luffing articulated jib of tower crane

Запишем кинетическую и потенциальную энергию системы:

$$T = \frac{1}{2} [J_0 + (m_0 + m_1 + m)L^2] \dot{\alpha}^2 + \frac{1}{2} [m_1 \dot{x}_1^2 + m \dot{x}^2 - 2L(m_1 \dot{x}_1 + m \dot{x}) \dot{\alpha} \sin \alpha], \quad (1)$$

$$\Pi = \left(\frac{m_C}{2} + m_0 + m_1 + m \right) gL \sin \alpha - mgl \cos\left(\frac{x - x_1}{l}\right), \quad (2)$$

где: J_0 – момент инерции основной секции стреловой системы относительно оси вращения; m_C , m_0 , m_1 , m – массы основной и вспомогательной секций стреловой системы, грузовой тележки и груза соответственно; L – длина основной секции стреловой системы; l – длина подвеса груза; g – ускорение свободного падения.

Составим уравнения движения, используя уравнения Лагранжа второго рода, которые запишутся так:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} - \frac{\partial T}{\partial \alpha} = Q_{\alpha} - \frac{\partial \Pi}{\partial \alpha}, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} - \frac{\partial T}{\partial x_1} = Q_{x_1} - \frac{\partial \Pi}{\partial x_1}, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x - \frac{\partial \Pi}{\partial x}, \end{cases} \quad (3)$$

где: Q_{α}, Q_{x_1}, Q_x – обобщенные силы, которые соответствуют обобщенным координатам α , x_1 , x соответственно. С рис. 2 видно что $Q_{\alpha} = M_{\alpha}$; $Q_{x_1} = P - W$; $Q_x = 0$.

Определим все составляющие системы уравнений (3) и сделаем математические упрощения, после чего получим дифференциальные уравнения движения, которые соответствуют принятой динамической модели:

$$\begin{cases} [J_0 + (m_0 + m_1 + m)L^2] \ddot{\alpha} - \\ - m_1 L \ddot{x}_1 \sin \alpha - mL \ddot{x} \sin \alpha = \\ = M_{\alpha} - (\frac{m_c}{2} + m_0 + m_1 + m)gL \cos \alpha, \\ m_1 \ddot{x}_1 - m_1 L \ddot{\alpha} \sin \alpha - m_1 L \dot{\alpha}^2 \cos \alpha = \\ = P - W + mg \frac{x - x_1}{l}, \\ m \ddot{x} - mL \ddot{\alpha} \sin \alpha - mL \dot{\alpha}^2 \cos \alpha = \\ = -mg \frac{x - x_1}{l}. \end{cases} \quad (4)$$

С третьего уравнения системы (4) запишем:

$$\begin{aligned} x_1 &= x + \frac{l}{g} \ddot{x} - \frac{lL}{g} \ddot{\alpha} \sin \alpha - \frac{lL}{g} \dot{\alpha}^2 \cos \alpha; \\ \dot{x}_1 &= \dot{x} + \frac{l}{g} \ddot{x} - \frac{lL}{g} [(\ddot{\alpha} + \dot{\alpha}^3) \sin \alpha - 3\dot{\alpha} \ddot{\alpha} \cos \alpha], \\ \ddot{x}_1 &= \ddot{x} + \frac{l}{g} x^{IV} - \frac{lL}{g} [(\alpha^{IV} + 6\dot{\alpha}^2 \ddot{\alpha}) \sin \alpha + \\ &+ (\dot{\alpha}^4 - 2\dot{\alpha} \ddot{\alpha} - 3\ddot{\alpha}^2) \cos \alpha], \\ mg \frac{x - x_1}{l} &= m [L \ddot{\alpha} \sin \alpha + L \dot{\alpha}^2 \cos \alpha - \ddot{x}]. \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнения (5) описывают зависимости между перемещениями скоростями и ускорениями грузовой тележки и груза.

Подставим выражения (5) в систему (4) в результате чего получим:

$$\begin{cases} M_{\alpha} = [J_0 + (m_0 + m_1 + m)L^2] \ddot{\alpha} - \\ - \{ (m_1 + m) \ddot{x} + \frac{m_1 l}{g} [x^{IV} + \\ + (\alpha^{IV} + 6\dot{\alpha}^2 \ddot{\alpha}) L \sin \alpha + \\ + (\dot{\alpha}^4 - 2\dot{\alpha} \ddot{\alpha} - 3\ddot{\alpha}^2) \cdot \\ \cdot L \cdot \cos \alpha] \} L \sin \alpha + \\ + (\frac{m_c}{2} + m_0 + m_1 + m)gL \cos \alpha, \\ P = W + (m_1 + m)[\ddot{x} - \\ - (\ddot{\alpha} \sin \alpha + \dot{\alpha}^2 \cos \alpha)L] + \\ + \frac{m_1 l}{g} \{ x^{IV} + [(\alpha^{IV} + 6\dot{\alpha}^2 \ddot{\alpha}) \sin \alpha + \\ + (\dot{\alpha}^4 - 2\dot{\alpha} \ddot{\alpha} - 3\ddot{\alpha}^2) \cos \alpha] L \}. \end{cases} \quad (6)$$

За критерий оптимизации примем энергетические затраты на работу двух механизмов при изменении вылета:

$$I = \left[\frac{1}{T} \int_0^{t_1} (M_{\alpha} \dot{\alpha} + P \dot{x}_1)^2 dt \right]^{1/2} \rightarrow \min. \quad (7)$$

Критерий (7) представляет собой интегральный функционал, условия минимума которого – уравнение Ейлера-Пуассона, которое условно можно записать так:

$$\begin{cases} f(\alpha, \dot{\alpha}, \ddot{\alpha}, \ddot{\alpha}, \alpha^{IV}, \alpha^V, \alpha^{VI}) = 0, \\ u(\alpha, \dot{\alpha}, \ddot{\alpha}, \ddot{\alpha}, \alpha^{IV}, \alpha^V, \alpha^{VI}, \\ \ddot{x}, \ddot{x}, x^{IV}, x^V, x^{VI}) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Уравнения системы (8) представляют собой нелинейные дифференциальные уравнения шестого порядка с переменными коэффициентами.

Для решения такой системы можно использовать приближенные численно-аналитические методы (методы Рунге, Галлеркина, коллокаций и др.).

В этих методах решения находится в виде базисных функций, которые соответствуют заданным граничным условиям.

Из за невозможности интегрирования функций, входящих в систему уравнений (6) в аналитическом виде, в первых двух методах, наиболее удобным следует признать метод коллокаций [16-20].

Для составления базисных функций сначала определим граничные условия, которые устраняют колебания груза.

$$\begin{aligned} \Delta x &= x - x_1 = 0, \\ \Delta \dot{x} &= \dot{x} - \dot{x}_1 = 0, \\ \Delta \ddot{x} &= \ddot{x} - \ddot{x}_1 = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

С уравнений (5) можно записать:

$$\begin{cases} \Delta x = 0: \dot{\alpha} = 0; \ddot{\alpha} = 0; x = 0, \\ \dot{x} = 0; \ddot{x} = 0, \\ \Delta \dot{x} = 0: \dot{\alpha} = 0; \ddot{\alpha} = 0; \ddot{x} = 0, \\ \Delta \ddot{x} = 0: \alpha^{IV} = 0; x^{IV} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Таким образом, для устранения колебаний груза в начале и конце движения необходимо чтобы выдерживались по восемь краевых условий для каждой обобщенной координаты:

$$\begin{cases} t = 0: \alpha = \alpha_0; \dot{\alpha} = 0, \\ \ddot{\alpha} = 0; \ddot{\alpha} = 0; \alpha^{IV} = 0, \\ t = T: \alpha = \alpha_T; \dot{\alpha} = 0, \\ \ddot{\alpha} = 0; \ddot{\alpha} = 0; \alpha^{IV} = 0, \\ t = 0: x = x_0; \dot{x} = 0, \\ \ddot{x} = 0; \ddot{x} = 0; x^{IV} = 0, \\ t = T: x = s; \dot{x} = 0, \\ \ddot{x} = 0; \ddot{x} = 0; x^{IV} = 0, \end{cases} \quad (11)$$

где: T – период движения; $\alpha_0, x_0, \alpha_T, x_T$ – начальные и конечные значения угловой координаты перемещения основной секции стреловой системы и линейной координаты перемещения центра масс грузовой тележки.

При использовании метода коллокаций решение краевой задачи ищем в виде базисных функций α_B, x_B , которые являют собой суммы полиномов и удовлетворяют условиям (11):

$$\begin{cases} \alpha_B = f_\alpha + a_i f'_{i_\alpha} + \dots + a_n f'_{n_\alpha}, \\ x_B = f_x + b_i f'_{i_x} + \dots + b_n f'_{n_x}, \end{cases} \quad (12)$$

$$i = 1, 2, \dots, n,$$

где: a_i, b_i – коэффициенты коллокаций i -той точки; n – количество точек коллокаций; f_α, f_x – полиномы восьмой степени которые отвечают начальным и конечным условиям движения (11); f'_{i_α}, f'_{i_x} – производные по времени от полиномов степени $2(i+4)$.

Точками коллокации выбираем точки, которые соответствуют моментам времени $\frac{i}{(n+1)T}$.

Определим коэффициенты коллокации, составив систему уравнений невязок относительно $a_1, \dots, a_n; b_1, \dots, b_n$.

Для этого в уравнения (8) подставим выражения базисных функций (12):

$$\begin{cases} f_i(\alpha_B, \dot{\alpha}_B, \ddot{\alpha}_B, \ddot{\alpha}_B, \alpha_B^{IV}, \\ \alpha_B^V, \alpha_B^{VI}) = 0, \\ u_i(\alpha_B, \dot{\alpha}_B, \ddot{\alpha}_B, \ddot{\alpha}_B, \alpha_B^{IV}, \\ \alpha_B^V, \alpha_B^{VI}, \ddot{x}_B, \ddot{x}_B, x_B^{IV}, x_B^V, x_B^{VI}) = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Решим систему трансцендентных уравнений (13) численным методом для разного количества точек коллокации.

Для этого зададим численные значения всех параметров: $T = 17c$; $m_0 = 2500кг$; $m_c = 5500кг$; $m_1 = 500кг$; $m_c = 2000кг$; $L = 26м$; $l = 15м$; $g = 9.81м/с^2$; $w = 1000 Н$; $\alpha_0 = 1,27 рад$; $\alpha_T = \pi/2 рад$; $x_0 = 28м$; $x_T = 0м$; $n = 1, \dots, 7$.

В результате получим значения коэффициентов коллокации (таблица).

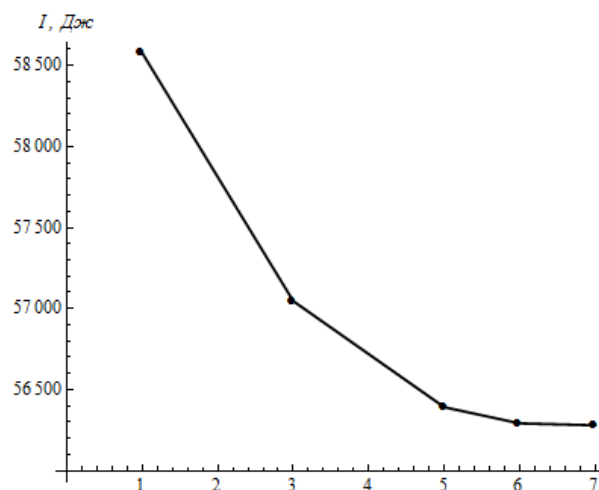


Рис. 3. Значения функционала I
Fig. 3. Values of the functional I

Определим относительную погрешность значения функционала между соседними точками Δ .

Таблица. Значения коэффициентов коллокации
Table. Values of the coefficients of the collocation

Значения коэффициентов коллокации							
количество точек коллокации	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
1	-0.52908						
3	-0.91076	-0.43201	-0.16051				
5	-0.56376	0.031622	-0.24260	-0.41948	-0.26097		
6	-0.71025	-0.20064	-0.20796	-0.24179	-0.15935	-0.047268	
7	-0.68578	-0.17240	-0.21375	-0.27147	-0.17632	-0.040665	0.016074
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
1	-0.52908						
3	-0.91076	-0.43201	-0.16050				
5	-0.80454	-0.30944	-0.18566	-0.12731	-0.098189		
6	-0.80454	-0.30944	-0.18566	-0.12741	-0.093791	-0.076497	
7	-0.80454	-0.30944	-0.18566	-0.12741	-0.093917	-0.072545	-0.057716

Определим значения функционала (7) в зависимости от количества точек коллокации после чего построим график (рис. 3):

$$\begin{aligned} \Delta_{1-3} &= \frac{I_1 - I_3}{I_1} \cdot 100 = \\ &= \frac{58576 - 57046}{58576} \cdot 100 = 2,68\%, \\ \Delta_{3-5} &= \frac{I_3 - I_5}{I_5} \cdot 100 = \\ &= \frac{57046 - 56392}{57046} \cdot 100 = 1,16\%, \\ \Delta_{5-6} &= \frac{I_5 - I_6}{I_5} \cdot 100 = \\ &= \frac{56392 - 56292}{56392} \cdot 100 = 0,18\%, \\ \Delta_{6-7} &= \frac{I_6 - I_7}{I_6} \cdot 100 = \\ &= \frac{56292 - 56280}{56292} \cdot 100 = 0,019\%. \end{aligned} \quad (14)$$

Для определения оптимального режима движения достаточно выбрать функцию с шестью коэффициентами невязок, поскольку относительная погрешность после шестой точки (рис. 3) значительно уменьшается.

Запишем оптимальные законы движения для стреловой системы и грузовой тележки:

$$\begin{aligned} \alpha_B &= \alpha_0 - \\ &- \left(\frac{70t^4 - 315t^3T + 540t^2T^2 - 420tT^3 + 126T^4}{T^9} \right) \cdot \\ &\cdot \frac{(\alpha_0 - \alpha_T)t^5}{T^9} + \\ &+ a_1 \left(\frac{2772t^5(t-T)^5(\alpha_0 - \alpha_T)}{T^{11}} \right) + \\ &+ a_2 \left(-\frac{12012t^6(t-T)^6(\alpha_0 - \alpha_T)}{T^{13}} \right) + \\ &+ a_3 \left(\frac{51480t^7(t-T)^7(\alpha_0 - \alpha_T)}{T^{15}} \right) + \\ &+ a_4 \left(-\frac{218790t^8(t-T)^8(\alpha_0 - \alpha_T)}{T^{17}} \right) + \\ &+ a_5 \left(\frac{923780t^9(t-T)^9(\alpha_0 - \alpha_T)}{T^{19}} \right) \\ &+ a_6 \left(-\frac{3879876t^{10}(t-T)^{10}(\alpha_0 - \alpha_T)}{T^{21}} \right), \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} x_B &= x_0 - \\ &\left(\frac{70t^4 - 315t^3T + 540t^2T^2 - 420tT^3 + 126T^4}{T^9} \right) \cdot \\ &\cdot \frac{(x_0 - x_T)t^5}{T^9} + \\ &+ b_1 \left(\frac{2772t^5(t-T)^5(x_0 - x_T)}{T^{11}} \right) + \\ &+ b_2 \left(-\frac{12012t^6(t-T)^6(x_0 - x_T)}{T^{13}} \right) + \\ &+ b_3 \left(\frac{51480t^7(t-T)^7(x_0 - x_T)}{T^{15}} \right) + \\ &+ b_4 \left(-\frac{218790t^8(t-T)^8(x_0 - x_T)}{T^{17}} \right) + \\ &+ b_5 \left(\frac{923780t^9(t-T)^9(x_0 - x_T)}{T^{19}} \right) + \\ &+ b_6 \left(-\frac{3879876t^{10}(t-T)^{10}(x_0 - x_T)}{T^{21}} \right). \end{aligned} \quad (16)$$

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА БАШЕННОГО КРАНА С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМОЙ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

Отообразим графически изменения основных параметров шарнирно-сочлененной стреловой системы в течении всего периода движения. Представленные графические зависимости скоростей и ускорения обобщенных координат (рис. 5 и рис. 6) показывают, что в начальное и конечное значения периода движения скорости и ускорения равны нулю, что делает возможным реализацию оптимального режима движения.

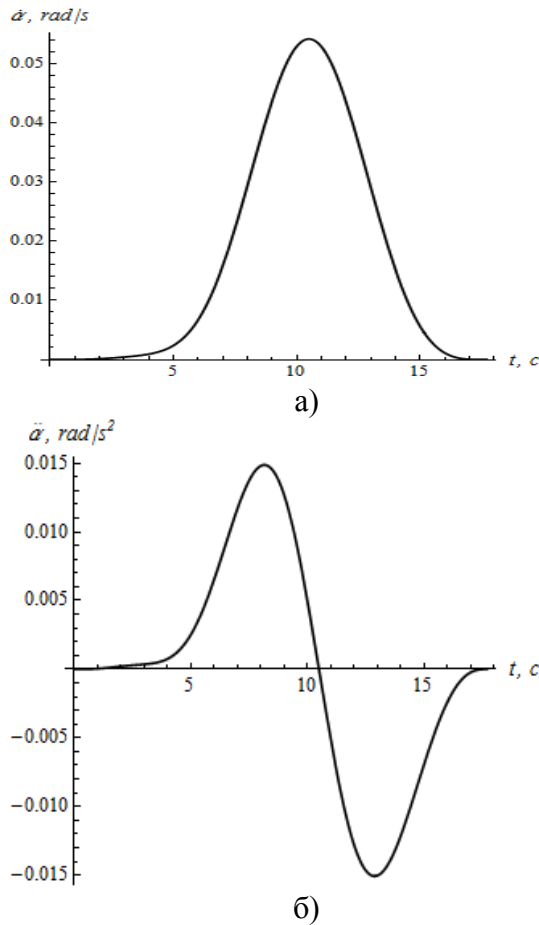


Рис. 5. Графики изменения угловых скорости (а) и ускорения (б) основной секции стреловой системы
Fig. 5. The angular velocity (a) and acceleration (б) profiles of the jib foot

На рис. 7 начальные ненулевые значения движущего момента обусловлено начальным значением момента сопротивления от сил веса стреловой системы, грузовой тележки и груза. На рис. 8 значения движущей силы в начале и в конце графика обусловлены силой статического сопротивления движению грузовой тележки.

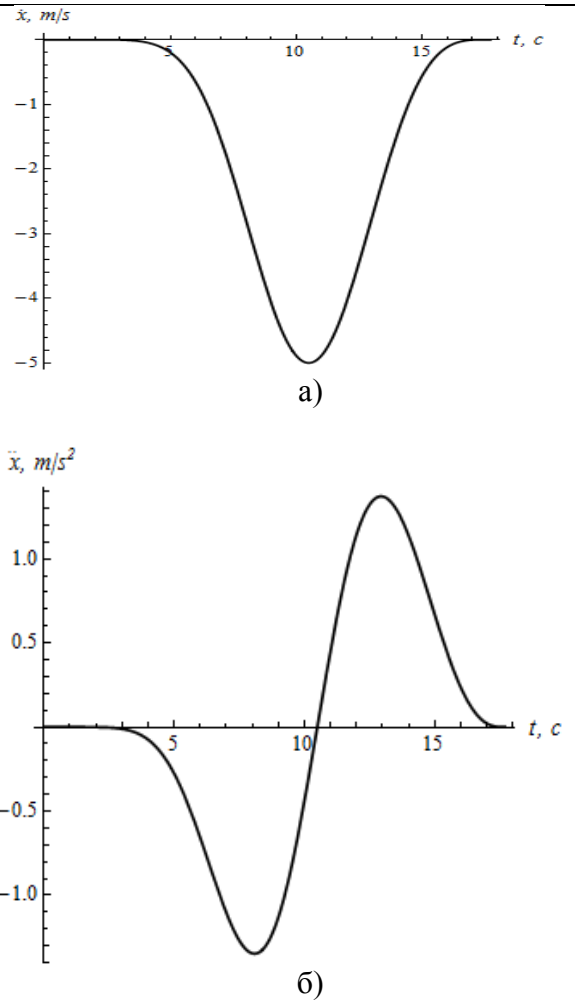


Рис. 6. Графики изменения линейных скорости (а) и ускорения (б) груза
Fig. 6. The linear velocity (a) and acceleration (б) profiles of the payload

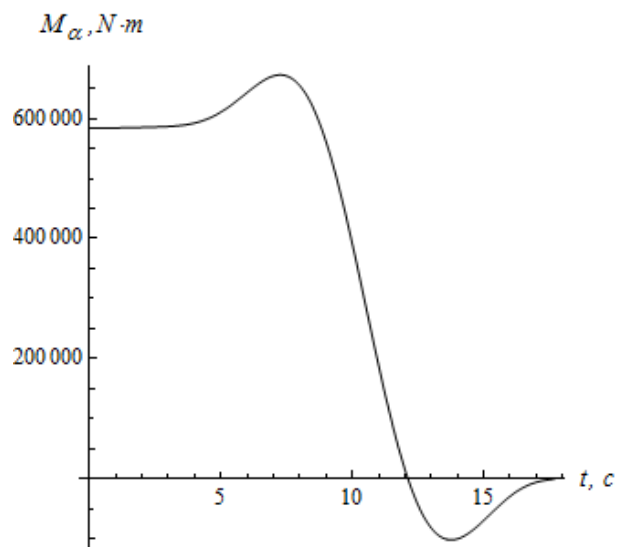


Рис. 7. График изменения движущего момента основной секции стреловой системы
Fig. 7. The curve of the jib foot driving moment

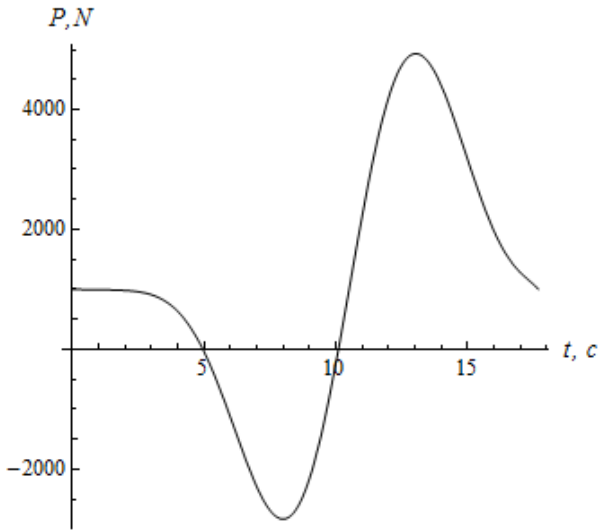


Рис. 8. График изменения движущей силы грузовой тележки
Fig. 8. The curve of the jib crab driving force

На графиках (рис. 9) видно, что значения мощностей меняют знак, что означает, что потребляемая мощность превращается в генерируемую.

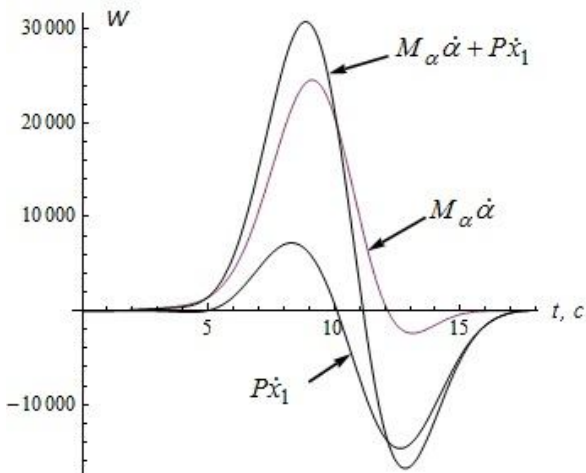


Рис. 9. Графики изменения мощностей
Fig. 9. Power curves

Из полученного фазового портрета оптимального движения груза (рис. 10) видно, что в конце периода движения колебания груза устраняются.

Таким образом, использование интегрального критерия, представленного в виде интегрального функционала который отображает среднеквадратическую сумму мощностей приводных механизмов за период движения позволяет снизить энергетические затраты и устранить колебания груза.

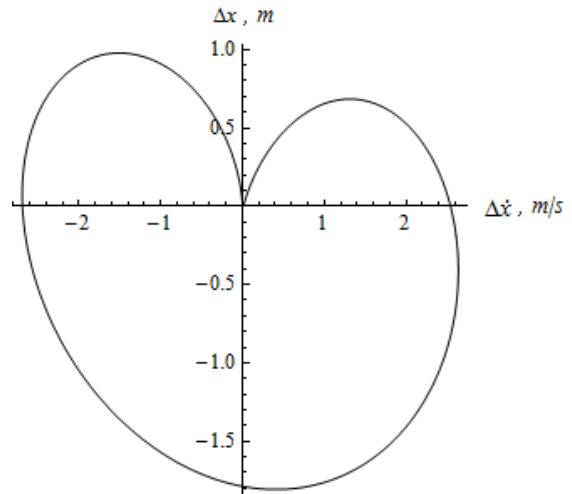


Рис. 10. Фазовый динамический портрет оптимального движения груза
Fig. 10. Phase dynamic portrait of payload movement

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований:

1. Решена оптимизационная задача уменьшения энергетических затрат в процессе изменения вылета башенного крана с шарнирно-сочлененной стреловой системой, которая позволяет снизить энергетические затраты, а также устранить колебания груза в конце периода движения;

2. Полученные результаты проанализированы с помощью графического представления оптимальных законов движения основной секции стреловой системы (15) и грузовой тележки (16), которые осуществляются совместной работой двух механизмов;

3. Для реализации оптимального закона движения, необходимо полученные результаты привести, при помощи операторов передачи движения, непосредственно к приводным электродвигателям;

4. Полученные результаты могут быть использованы при разработке системы управления приводами башенного крана с шарнирно-сочлененной стреловой системой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nevzorov L.A. 1980: Bashennye kраны / L.A. Nevzorov. – К.: Vyssh. Shkola. – 326.

2. Volkov D.P. 1958: Dinamicheskiye nagruzki v universal'nykh ekskavatorakh / D.P Volkov. – M.: Mashgiz. – 268.
3. Grigorov O.V. 2006: Dinamichni navantazhennya u vantazhopidyomnykh mashinakh / Grigorov O.V. – Kh.: NTU «KHPI». – 69.
4. Kazak S.A. 1968: Dynamyka mostovykh kranov / S.A. Kazak. – M.: Mashinostroyeniye. – 332.
5. Lobov N.A. 1987: Dinamika gruzopodyemnykh kranov. / N.A. Lobov M.: Mashinostroyeniye. – 160.
6. Kramarov M.S. 1969: Dinamika mekhanizmov i mashin / M.S. Kramarov M.: Mashinostroyeniye. – 206.
7. Sergeyeв S.T. 1968: Nadozhnost' i dolgovechnost' pod"yomnykh / S.T. Sergeyeв – K.: Tekhnika – 238.
8. Kozhevnikov S.N. 1986: Dinamika nestatsionarnykh protsessov v mashinakh / S.N. Kozhevnikov – K.: Nauk, dumka. – 288.
9. Budikov L.Y. 2003: Bahatoparmetrychnyy analiz dynamiky vantazhopidyomnykh kraniv mostovoho typu / L.Y. Budikov – Lugansk: publ EUNU. Dal, 2nd edition – 210.
10. Smekhov A.A. 1975: Optymalnoe upravlenye podemno-transportnykh mashyn / A.A. Smekhov – M.: Mashinostroyeniye – 239.
11. Romasevich Yu.A. 2011: Optimization behavior of variation boom of hoisting crane for singular kinematical criterions / Yu.A. Romasevich, G.V. Shumilov // Motrol. Vol 13b. – 167–173.
12. Loveykin V.S. 2013: Optimizatsiya dinamicheskogo rezhima povorota strelovogo kрана / V.S. Loveykin, V.A. Melnichenko // Motrol. Vol 15. – №3. – 70–75.
13. Loveykin V.S. 2013: Optimizatsiya uravneniya dvizheniya mekhanizmov gruzopod"yemnykh mashin s elektroprivodom postoyannogo toka / V.S. Loveykin, Yu.A. Romasevich // Motrol. Vol 15. – №3. – 65–69.
14. Loveykin V.S. 2012: Optimizatsiya rezhima razgona odnomassovoy dinamicheskoy sistemy s integralnymi ogranicheniyami / V.S. Loveykin, Yu.A. Romasevich // Motrol. Vol 14. – №3. – 158–163.
15. Romasevich Yu.A. 2013: Modelirovaniya dvizheniya mekhanizma peremeshcheniya gruzopodyemnoy mashiny po optimal'nomu zakonu / Yu.A. Romasevich. Motrol. Vol 15. – №3. – 76–83.
16. Vlasov E.A. 2001: Priblizhennyye metody v matematicheskoy fizike / E.A. Vlasov, V.S. Zarubin, G.N. Kuvyrkin // M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman. – 700.
17. Formalev V.F. 2004: Chislennyye metody / V.F. Formalev, D.L. Reviznikov // M.: Fizmatlit. – 400.
18. Volkov E.A. 1987: Chislennyye metody / E.A. Volkov. – M.: Nauka. – 248.
19. Horskiy B.E. 1987: Dynamicheskoe sovershenstvovaniye mekhanicheskoykh system / B.E. Horskiy – K.: Tekhnika – 200.
20. Loveykin V.S. Modelyu-vannya dynamiky mekhanizmov van-tazhopidyomnykh mashyn / V.S. Loveykin, YU.V. Chovnyuk, M.H. Dikteruk, S.I. Pastushenko. – Kiev-Mykolaiv, 2004. – 285.

OPTIMIZATION OF LUFING ARTICULATED JIB OF TOWER CRANE BY ENERGETIC CRITERIA

Summary. The optimal mode of motion has been obtained by solving the variation problem. The energetic consumption accepted as criterion of defining the optimum modes of motion. The mechanisms movements described by the third order differential equation.

Key words: tower crane, optimization of motion, euler-poisson equation, functional, collocation method.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНТОМОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА ТРИХОГРАММЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Геннадий Голуб, Олег Марус

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Gennadiy Golub, Oleg Marus

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Использование энтомологических препаратов в защите растений, в том числе трихограммы, приводит к уменьшению использования химических препаратов, что в свою очередь положительно влияет на качество и безопасность конечной продукции.

Введение в биотехнологический процесс производства трихограммы операцию разделения яиц зерновой моли позволило повысить вероятность отбора крупных яиц, а соответственно улучшить качественные показатели энтомологического препарата.

Ключевые слова: биотехнологический процесс, энтомологический препарат трихограммы, яйца зерновой моли, экономическая эффективность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Использование химических препаратов против вредителей сельскохозяйственных культур приводит к негативным последствиям для окружающей среды, а соответственно и для здоровья человека.

Одним из массовых биологических средств защиты растений, который использовался в сельском хозяйстве, является энтомологический препарат трихограмма.

Трихограмма – это мелкие насекомые длиной 0,4-0,9 мм, бурого, желтого или черного цвета. Энтомофаг является насекомым паразитом, поскольку живет за счет яиц хозяина, который уничтожает около 80 видов совок, кукурузного, стеблевого и лугового мотыльков, яблочную и сливовую плодожорку и др. Качество и эффективность трихограммы зависит от следующих факторов: своевременного проведения обновления культуры, применения операции гетерозиса, введение культуры в диапазон, прикормки препарата [1, 2, 3], а также и от

качества яиц зерновой моли (на которых она разводится).

Самки трихограммы находят яйца хозяина – вредителя, прокалывают их яйцекладом и откладывают свои яйца (рис. 1), а с непаразитированных появляются личинки вредителя (рис. 2).

Природной популяции трихограммы не хватает для борьбы с вредителями, в связи с тем, что отрождение их часто не совпадают с полетом вредителя [4, 5, 6, 7], яйцеед появляется весной за месяц до яйцекладки основных хозяев [8], и поэтому трихограмма, что возродилась ранее не находя яйца вредителя погибает так и не использовав свой естественный потенциал продолжения и размножения популяции.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из первых кто предложил идею использовать паразитические организмы в борьбе с вредными насекомыми в 1879 году был большой ученый Советского Союза И.И. Мечников [10].

Так, И.В. Васильев в 1903 году завез яйцеед вредной черепашки – телемонусов – из Туркестана в Харьковской губернии. Паразиты были выпущены на посевах, которые были заражены вредителями, и значительно способствовали уничтожению ракушки. Несколько позже А.Ф. Радецкий перевез из Астраханской губернии в Туркестан паразита яиц яблонной плодожорки – трихограмму, которую после размножения на энтомологические станции выпустили в сады Ташкента и Самарканда. В этот же период В.П. Пospelov опытами искусственного размножения трихограммы положил в России начало метода массовых выпусков энтомофагов.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНТОМОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА ТРИХОГРАММЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА



Рис. 1. Жизненный цикл трихограммы [9]
Fig. 1. The life cycle of *Trichogramma* [9]



Рис. 2. Развитие и появление личинки хозяина трихограммы [9]
Fig. 2. Development and emergence of host of *Trichogramma* larvae [9]

Этот метод получил позже широкое распространение в борьбе с некоторыми вредителями и в первую очередь с использованием именно трихограммы [11]. В IX и XII веке китайцы собирали хищных муравьев и перенесли их в цитрусовые сады с целью уничтожения вредителей [12, 13].

Началом успешного использования одних насекомых против других считают разработку мер уничтожения опасного вредителя цитрусовых - австралийского желобчатого червеца, его естественным врагом - хищным жуком - родолиєю [14], результаты борьбы этого жука с вредителем были настолько впечатляющими, что его из Америки развезли по многим другим странам, а именно: Египет, Португалию, Италию, Францию, Турцию, Японию, Индию, Россию.

Массовое применение трихограммы в борьбе с вредителями сельскохозяйственных культур в бывшем Советском Союзе начали с 1933 г. [15], а к этим годам по отношению к биологической защите растений относились с недоверием.

Опыты Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений, при разведении золотоглазки на яйцах зерновой моли в течение 1972-1974 гг показали, что личинки, которые были воспитаны на одинаковом виде корма в идентичных условиях образуют коконы разной величины, опушенности и веса. Особенно весома разница в весе полученных коконов, когда для подкормки использовали яйца зерновой моли разного качества и срока хранения, жизнеспособные и мертвые [16].

Проведение предварительных экспериментальных исследований по определению влияния крупности яиц зерновой моли на количество яиц зараженных энтомологическим препаратом трихограммы вида *Trichogramma pintoï* Voeg., показало, что при разведении на мелких яйцах зерновой моли существенный спад процента заражения приходился уже на 6-е поколение, а именно 38%, в то же время при разведении трихограммы на крупных яйцах зерновой моли, которые были отобраны из второго контейнера, наблюдалось падение

процента заражения до 58 % в 8-м поколении [17].

Анализ предыдущих исследований продемонстрировал, что крупность яиц зерновой моли положительно влияет на качественный показатель энтомологического препарата трихограммы - количество паразитированных яиц трихограммой. Но для более точного определения влияния размеров яиц зерновой моли необходимо провести исследования по определению влияния на несколько качественных показателей препарата с получением класса препарата.

Для того, чтобы выполнять отбор крупных яиц зерновой моли в биотехнологический процесс производства трихограммы был введен пневматический калибратор яиц зерновой моли, который позволяет делать распределение яиц на три фракции: конгломераты, крупные и мелкие.

Последние исследования, которые были связаны с определением экономической эффективности производства энтомологического препарата трихограммы, показали, что наибольшую часть расходов составляют амортизационные отчисления – 60 %, заработная плата – 26 %, сырье и материалы – 9 % и 5 % составляют коммунальные услуги, накладные и общепроизводственные расходы. Биотехнологический процесс производства энтомологического препарата трихограммы обеспечил возможность получения прибыли 10,95 грн. на 1 г произведенного препарата, а срок окупаемости оборудования и помещений при этом составлял 4,4 года [18].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Повышение качественных показателей энтомологического препарата трихограммы и определения экономической эффективности его производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по определению влияния размеров яиц зерновой моли на качественные показатели энтомологического препарата трихограммы проводили в Учебно-научно-производственной лаборатории биологической защиты растений Национального университе-

та биоресурсов и природопользования Украины.

Исследования проводились в трехкратной повторности, при этом измеряли размеры случайных 50-ти яиц. С помощью микроскопа стереоскопического МБС-10 проводили измерения длины и ширины яиц и подсчитывали количество конгломератов в каждом контейнере, при каждой повторности, чтобы определить состав фракции [19].

Исследования по определению влияния размеров яиц зерновой моли на качественные показатели энтомологического препарата трихограммы вида *Trichogramma evanescens* Westw. проводили на яйцах зерновой моли, очищенных очистителем яиц и откалиброванных пневматическим калибратором. После этого на второй фракции, где преимущественно были крупные яйца уже осуществляли эксперимент. Для сравнения отбирали яйца зерновой моли, полученные только после очистки. На протяжении семи поколений определяли качественные показатели трихограммы, а именно: количество паразитированных яиц зерновой моли, поисковую способность, отрождения, процент самок, половой индекс, количество деформированных особей, продолжительность жизни и плодовитость самок, с использованием этих данных определяли класс трихограммы.

Качественные показатели энтомологического препарата трихограммы определяли с помощью методики, приведенной в ГОСТ 5016:2008 (Энтомологические препараты трихограммы. Общие технические условия) [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 3 показана зависимость влияния крупности яиц зерновой моли на количество паразитированных яиц трихограммой протяжении семи поколений. Эта зависимость показывает, что до седьмого поколения фактически линии на рисунке, характеризующих фракцию до калибрования и крупных яиц, почти параллельны. При этом кривая, характеризующая трихограмму, которую разводили на крупных яйцах зерновой моли, имеет паразитированных яиц в среднем на 5 % больше.

Одним из важнейших качественных показателей энтомологического препарата, по которому определяют класс трихограммы, является поисковая способность особей.

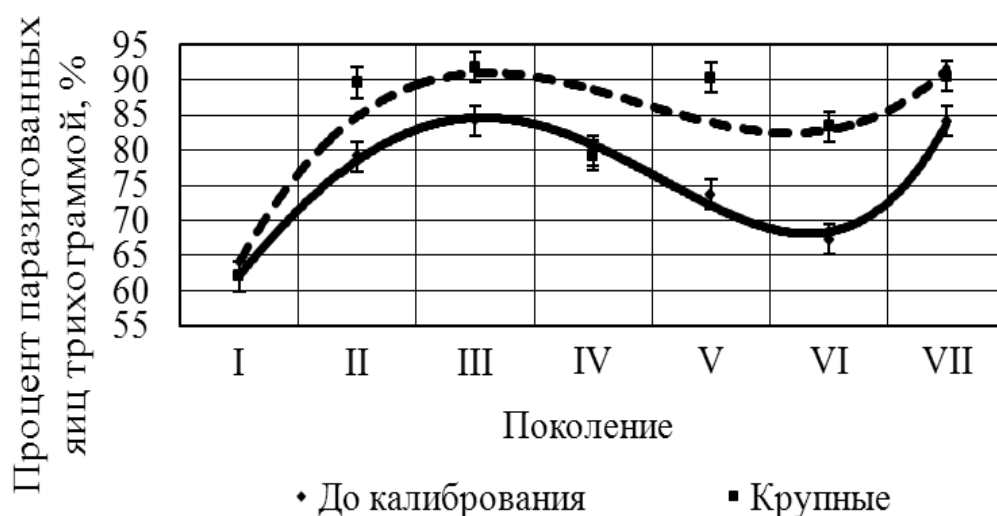


Рис. 3. Влияние калибровки на уровень паразитированных яиц трихограммой
Fig. 3. Impact on the level of calibration of parasitized eggs Trichogramma

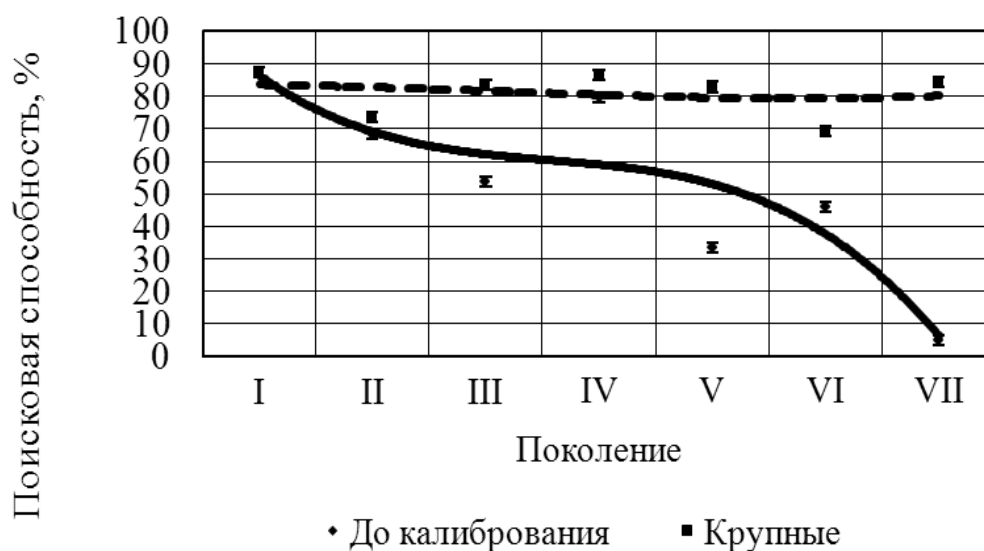


Рис. 4. Влияние калибровки на поисковую способность
Fig. 4. Influence of calibration on search ability

На рис. 4 показано влияние величины яиц зерновой моли на поисковую способность особей трихограммы.

Трихограмма, выведена на крупных яйцах имеет в течение семи поколений стабильную поисковую способность в отличие от трихограммы, выведенной на яйцах, не прошедшие калибровки. Из крупных яиц выходят сильные и активные особи, способные осуществлять поиск яиц вредителя в естественных условиях (расстояние, считается эффективной для действия трихограммы – до 3 м, такая же как и

длина лабиринта, на котором определяли поисковую способность).

Важным показателем качества, который определяет класс трихограммы, является процент возрожденных особей. На рис. 5 показано, что до седьмого поколения на количество возрожденных особей трихограммы существенно не повлияла величина яиц зерновой моли: на больших яйцах кривая приближается к 95 %, а полученных без калибровки – до 90 %. Только на третьем поколении в обоих видах фракций наблюдали значительное снижение процента. Это объясняется тем, что

между вторым и третьим поколениями при разведении трихограммы промежуток времени составлял 20 суток. Таким образом было установлено, что продолжительность хранения негативно влияет на качество энтомологического препарата трихограммы. При определении влияния величины яиц зерновой моли на количество самок в партии трихограммы, установлено, что от второго до пятого поколения результаты были близкими, а уже на шестом и седьмом поколениях из крупных яиц зерновой моли самок получалось больше, соответственно на 9 % и 8 % (рис. 6). Но для того, чтобы окончательно определить влияние величины яиц зерновой моли именно на количество самок семи поколений недостаточно.

Одним из показателей качества энтомологического препарата трихограммы является наличие деформированных особей. Зависимость влияния величины яиц зерновой моли на количество деформированных особей три-

хограммы представлена на рис. 7. Начиная с четвертого поколения, во фракции яиц до калибровки, происходит рост количества деформированных особей и в седьмом поколении она уже составляет 7,3 %, что превышает допустимые пределы (до 5 %).

В партии трихограммы, производимой на больших яйцах к пятому поколению, наблюдали определенную стабильность по количеству деформированных особей – 2 %, а до седьмого она выросла до 4 %. Итак, на количество деформированных особей влияет величина яиц, из-за того, что в мелких яйцах пищи меньше и ее не хватает для полного формирования имаго трихограммы. В большинстве случаев деформация проявляется в недостатках крыльев, а именно не в полном их разворачивании, также встречаются особи с одним крылом, или вообще без них, а это влияет на передвижение трихограммы во время поиска яиц вредителя.

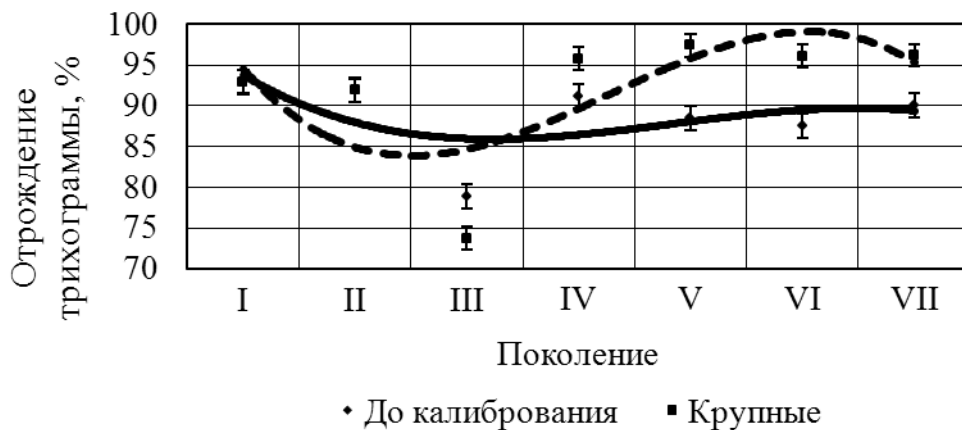


Рис. 5. Влияние калибровки на возрождение трихограммы
 Fig. 5. Influence of calibration for the revival of Trichogramma

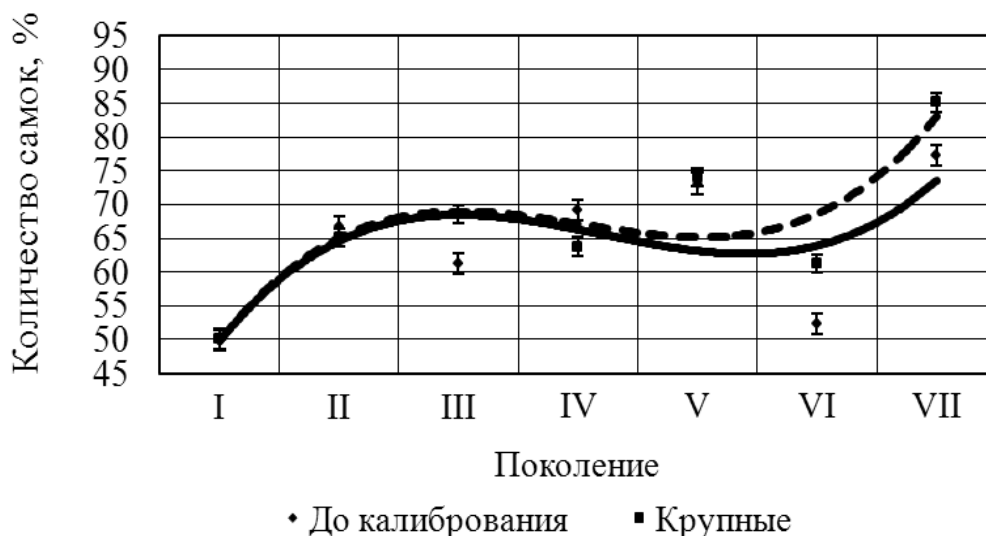


Рис. 6. Влияние калибровки на количество самок трихограммы
 Fig. 6. Influence of calibration on number of females of Trichogramma

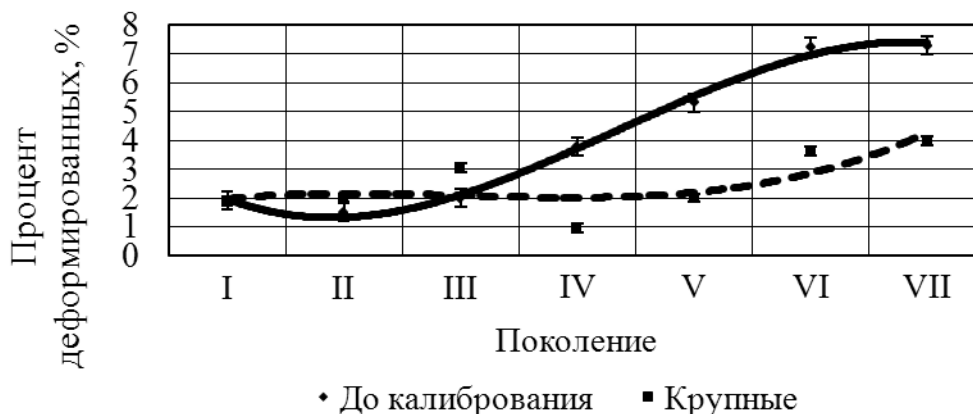


Рис. 7. Влияние калибровки на количество деформированных особей трихограммы
Fig. 7. Influence of calibration on the number of deformed individuals Trichogramma

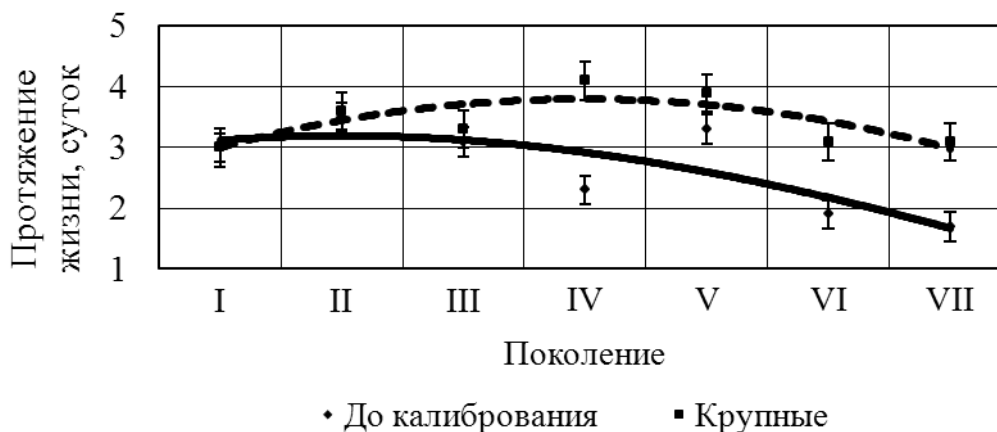


Рис. 8. Влияние калибровки на продолжительность жизни трихограммы
Fig. 8. Influence of calibration on longevity of Trichogramma

Важным показателем качества энтомологического препарата трихограммы является продолжительность жизни особей. По нашим данным продолжительность жизни особей трихограммы, производимой на крупных яйцах зерновой моли в течение семи поколений, больше (рис. 8).

Трихограмма, произведенная на крупных яйцах, на седьмом поколении имела среднее время жизни 3,1 суток, а на неоткалиброванных – 1,7 суток. Таким образом, было подтверждено, что объем питательной среды влияет на продолжительность жизни трихограммы. Так что ее особи могут уничтожить больше вредителей, что повысит эффективность самого препарата.

На класс энтомологического препарата трихограммы влияет плодовитость самок. Крупность яиц влияет на плодовитость самок трихограммы, хотя с шестого поколения она начинает уменьшаться (рис. 9). Плодовитость

произведенной трихограммы на больших яйцах в седьмом поколении составляет 29 шт. яиц на самку, а которые не подвергались калибровке – от 10 до 11 шт. Продолжительность жизни и плодовитость взаимосвязаны, хотя самка трихограммы откладывает основное количество яиц в первый день, а количество паразитированных яиц в последующие дни зависит от силы энтомофага. Количество яиц в яйцевых трубках самок не увеличивается, а их зрелость зависит от объема среды в которой она развивалась – это способствует созреванию. Благодаря этому повышается плодовитость трихограммы.

В результате исследований установлено, что величина яиц зерновой моли в течение семи поколений положительно влияет на поисковую способность трихограммы, увеличивает продолжительность его жизни и плодовитость, уменьшает количество деформированных особей.

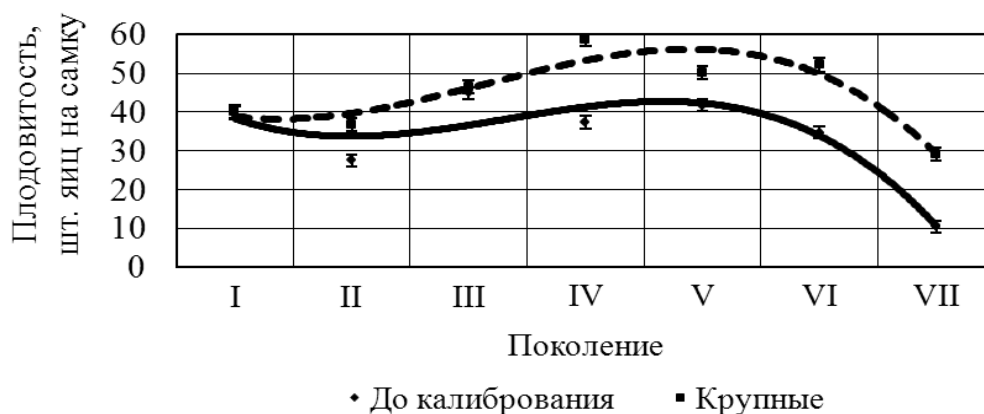


Рис. 9. Влияние калибровки на плодовитость самок трихограммы
Fig. 9. Influence of calibration on female fecundity of *Trichogramma*

Для сочетания показателей качества использовали обобщенный показатель, который определяет эффективность трихограммы в который вошли наиболее значимые показатели, а именно: отрождение трихограммы из зараженных яиц, плодовитость самок и поисковая способность. Определялся этот обобщенный коэффициент качества (y) по уравнению множественной регрессии:

$$y = -0,28 + 0,0034\alpha_1 + 0,0084\Pi + 0,0074\beta, \quad (1)$$

где: y – обобщенный коэффициент качества, %, α_1 – возрождение особей трихограммы, %, Π – плодовитость самок, яиц, β – поисковая способность трихограммы, %.

После улучшения качественных показателей энтомологического препарата трихограммы был проведен биологическая защита посевов кукурузы на зерно в обособленном подразделении Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Агрономічна дослідна станція» на площади 64 га, который выполняли энтомологический биопрепаратом трихограммы *Trichogramma evanescens* Westw., которая показала, что повреждения кукурузным мотыльком на опытном участке было на 48 % ниже по сравнению с контрольным вариантом, где не проводили биологическую защиту.

Учебно - научно - производственная лаборатория биологической защиты растений Национального университета биоресурсов и природопользования Украины оснащена средством для внесения трихограммы, а именно беспилотным летательным аппаратом, поэтому были выполнены расчеты по определению себестоимости производства и внесения препарата и окупаемости оборудования и поме-

щений, которое при этом используется (таблица). К расходам на производство энтомологического препарата трихограммы, с условием последующего его внесения сотрудниками лаборатории, добавляются расходы на топливо для автомобиля, с помощью которого осуществляются выезды в хозяйства или предприятия, проведения феромонитингу появления массового лета вредителей, оценки фитосанитарного состояния посевов. Также добавляются расходы на заработную плату сотруднику, который занимается внесением препарата. К амортизационным отчислениям добавляются расходы на автомобиль и беспилотный летательный аппарат.

Таким образом, на структуру себестоимости производства и внесения энтомологического препарата трихограммы повлияли (рис. 10): амортизационные отчисления – 57 %, заработная плата – 31%, сырье и материалы – 7 % и 5 % составляют коммунальные услуги, накладные и общепроизводственные расходы.

Следует отметить, что расчеты по объемам внесения энтомологического препарата трихограммы сотрудниками лаборатории составили 75 % от общей продукции, а другая часть пошла сразу на реализацию для мелких фермерских хозяйств.

ВЫВОД

Исследования по определению влияния крупности яиц зерновой моли показали, что энтомологический биопрепарат трихограммы вида *Trichogramma evanescens* Westw., полученный с помощью биотехнологического процесса с использованием пневматического калибратора все семь поколений имел I класс качества.

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНТОМОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА
ТРИХОГРАММЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЕГО ПРОИЗВОДСТВА**

Таблица. Расчет себестоимости производства и внесения энтомологического препарата трихограммы

Table. Calculate the cost of production and introduction of formulation Entomological Trichogama

Показатель		Тариф		Затраты на производство		
		Ед. измерения	Значение	Ед. измерения	Значение	Стоимость, грн.
Основное сырье и составляющие элементы						
Зерно ячменя		грн./т	1500,00	т	2	3000,00
Бумага		грн./пач.	31,50	пач.	1	31,50
Моющие и дезинфицирующие средства:	порошок стиральный	грн./пач.	7,00	пач.	5	35,00
	мыло хозяйственное	грн./шт.	1,98	шт.	10	19,80
	моющее	грн./шт.	6,66	шт.	8	53,28
	керосин	грн./бут.	20,00	пл.	1	20,00
Индивидуальные средства защиты:	перчатки	грн./шт.	12,00	шт.	10	120,00
	респираторы	грн./шт.	16,50	шт.	4	66,00
Марганцовка		грн./г	3,00	г	40	120,00
Банки (3 л)		грн./шт.	8,00	шт.	5	40,00
Всего, грн.						3505,58
Оплата коммунальных услуг						
Электроэнергия		грн./кВт час.	0,62	кВт	622	385,64
Вода		грн./м ³	6	м ³	40,20	241,20
Всего, грн.						626,84
Заработная плата						
Заработная плата за выполнение технологических операций		грн./чел.-час.	8,73	чел.-час.	870	7595,10
Начисления на зарплату		%	37	грн.	7595,10	2810,19
Всего расходов на оплату труда вместе с начислениями, грн.						10405,29
Вместе прямых расходов, грн.						14537,71
Накладные расходы ко всем расходам		%	5	грн.	14537,71	726,89
Всего, грн.						15264,59
Общепроизводственные расходы		%	5	грн.	15264,59	763,23
Всего расходов, грн.						16027,82
Себестоимость 1 г трихограммы, грн.						5,53
Амортизация, техническое обслуживание, ремонт и расходы на хранение						
Машины и механизмы		%	10	грн.	200000	20000,00
Строительные конструкции		%	4	грн.	100000	4000,00
Всего, грн.						24000,00
Средняя цена 1 г трихограммы, грн.						25,00
Объем производства трихограммы		г	6266	грн.	25,00	156650,00
Внесение препарата, феромониторинг, оценка фитосанитарного состояния посов		га	3760	грн.	17,00	63920,00
Всего по производству и внесению трихограммы, грн.						220570,00
Прибыль, грн.						22,63
Прибыль после налогообложения, грн.						15,84
Срок окупаемости, лет						3,0

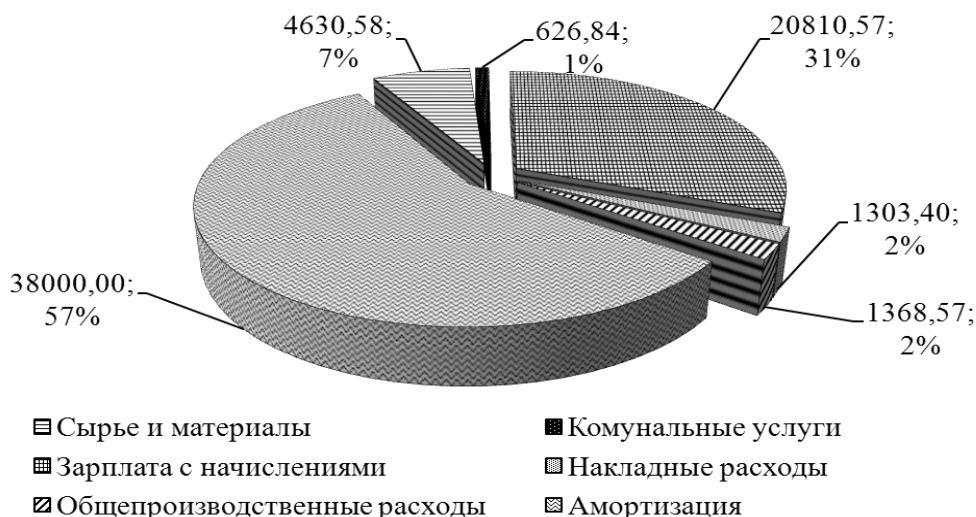


Рис. 10. Структура себестоимости производства и внесения энтомологического препарата трихограммы

Fig. 10. The cost structure of production and making Entomological drug Trichogramma

В то время, как в базовом биотехнологическом процессе без использования пневматического калибратора, энтомологический биопрепарат трихограммы имел II класс качества только до четвертого поколения. Себестоимость производства с учетом затрат на внесение энтомологического препарата трихограммы составляла 9,91 грн., а срок окупаемости оборудования и помещений при этом не превысил 3-х лет.

ЛИТЕРАТУРА

- Melnichuk M.D. 2007: Yefekt medovogo pidzhivleniya imago na zhittyezdatsnistrikhogramami / M.D. Melnichuk, N.P. Yasinska // Naukovi dopovidi NAU. – №7. – Rezhim dostupu do zhurn.: <http://www.nd.nauu.kiev.ua>.
- Grinberg Sh.M. 1986: Osnovnyye problemy pri promyshlennom proizvodstve trikhogrammy i puti ikh resheniya / Sh.M. Grinberg, A.F. Rusnak, G.F. Dyurich [i dr.] // Biologicheskaya regulyatsiya chislennosti vrednykh organizmov. – 197–213.
- Zaslavskiy V.A. 1982: Eksperimentalnoye issledovaniye nekotorykh faktorov, vliyayushchikh na plodovitost Trichogramma yevanescens Westw. Hymenoptera, Trichogrammatidae / V.A. Zaslavskiy, Fu Kvi. May // Entomol. obozreniye. — Vyp. 4. –724–737.
- Dyadechko M.P. 1990: Osnovi biologichnogo metodu zakhistu roslin / [Dyadechko M.P.,

Padiy M.M., Shelestova V.S., Degtyarov B.G.]. – K.: Urozhay. – 268.

- Meyer N.F. 1931: Biologicheskiiy metod borby s vrednymi nasekomymi / Meyer N.F. – M.: Gosudarstvennoye izdatelstvo sel'skokhozyaystvennoy i kolkhozno-kooperativnoy literatury. – 120.
- Shumakov Ye.M. 1970: Nasekomye zashchishchayut rasteniya / Ye.M. Shumakov, V.A. Shchepetilnikova. – M.: Znaniye. – 46.
- Shchepetilnikova V.A. 1974: Primeneniye trikhogrammy v SSSR / V.A. Shchepetilnikova // Biologicheskkiye sredstva zashchity rasteniy. M.: Kolos. – 138–158.
- Tryapitsyn V.A. 1982: Parazity i khishchniki vreditel'ey sel'skokhozyaystvennykh kultur / V.A. Tryapitsyn, V.A. Shapiro, V.A. Shchepetilnikova. – L.: Kolos. – 254.
- Knutson A. The Trichogramma Manual / A. Knutson // A Guide to the Use of Trichogramma for Biological Control with Special Reference to Augmentative Releases for Control of Bollworm and Budworm in Cotton. – Texas A&M University System, College Station, 1998. – 42.
- Shumakov Ye.M. 1970: Nasekomye zashchishchayut rasteniya / Ye.M. Shumakov, V.A. Shchepetilnikova. – M.: Znaniye. – 46.
- Khimicheskaya 1971: Khimicheskaya i biologicheskaya zashchita rasteniy / [Khizhnyak P.A., Beglyarov G.A., Stativkin V.G., Nikiforov A.M.]. – Moskva: «Kolos». – 122.

12. Telenga N.A. 1955: Biologicheskiiy metod borby s vrednymi nasekomyymi selskokhozyaystvennykh i lesnykh kultur / Telenga N.A. – K.: Izdatelstvo Akademii nauk Ukrainskoy SSR. – 87.
13. Sweetman H. 1958: The principles of biological control. Interrelation of hosts and pests and utilization in regulation of animal and plant population / H. Sweetman. – Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown company publishers. – 575.
14. U biologichnomu 1988: U biologichnomu protiborstvi / [M.D. Zerova, A.G. Kotenko, V.G. Tolkanits ta in.]. – K.: Urozhay. – 191.
15. Telenga N.A. 1949: Rukovodstvo po razmnozheniyu i primeneniyu trikhogrammy dlya borby s vreditelyami selskokhozyaystvennykh kultur / N.A. Telenga, V.A. Shchepetilnikova. – K.: Izdatelstvo Akademii nauk Ukrainskoy SSR. – 99.
16. Makarenko G.N. 1975: Vliyaniye kachestva yaits zernovoy moli na razvedeniye zlatoglazki obyknovnoy // Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zashchity rasteniy «Biologicheskiiy metod zashchity rasteniy». – Leningrad,. – Vyp. 4. – 163.
17. Marus O.A. 2011: Obruntuvannya biotekhnologichnogo protsesu virobnitstva trikhogrami z pnevmatichnim kalibruvanniam yaets zernovoï moli / O.A. Marus // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. Seriya «Biologiya, biotekhnologiya, yekologiya». – K.: Vidavnicхий tseñtr NUBiP Ukraini,. – Vip. 158. – 66–74.
18. Golub G.A. 2013: Tekhniko-ekonomicheskaya yefektivnost biotekhnologicheskogo protsesa proizvodstva entomologicheskogo preparata trikhogrammy / G.A. Golub, O.A. Marus // Motrol. – Lublin. – Tom 15, № 3. – 362–369.
19. Dubrovin V. 2012: Proizvodstvo entomologicheskogo preparata trikhogrammy / V. Dubrovin, G. Golub, O. Marus // Motrol. – Lublin. – Vol. 14, № 3. – 9–19.
20. Yentomologichni. 2009: Yentomologichni preparati trikhogrami. Zagalni tekhnichni umovi: DSTU 5016:2008. – K.: Derzhpozhyvstandart Ukraini. – 10.

**QUALITY INDEXES OF DRUG
ENTOMOLOGICAL TRICHOGRAMMA
ECONOMIC AND DEFINITIONS
EFFECTIVENESS OF ITS PRODUCTION**

Summary. Using entomologists – cal agents in plant protection , including Trichogramma leads to reduction of use of chemicals, which in turn positively influences the quality and safety of the final product.

Introduction to biotechnological production process operation Trichogramma separation of the grain moth eggs allowed to increase the probability of selection of large eggs, and thus improve the quality parameters of the Entomological drug.

Key words: biotechnology process, entomological prepared of trihograma, the grain moth eggs, economic efficiency.

МЕХАНИЗМ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И СКЛЕИВАНИЯ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЯ

Сергей Карабинеш, Ярослав Марченко

*Національний університет біоресурсів і природопольовання України
Україна, г. Київ, ул. Героїв Оборони, 15*

Sergey Karabinesh, Yaroslav Marchenko

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В статье представлены результаты исследования механизма совместного влияния на прочностные характеристики клеесварного соединения – электроконтактной точечной сварки и склеивания. Определена оптимальная схема размещения сварочных точек при использовании клеесварного соединения в деле восстановления (устранении трещин) чугуновых корпусных деталей.

Ключевые слова: корпус, деталь, трещина, прочность, коэффициент, запас, прочность, сварная точка, клеевый шар, клеесварное соединение.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Корпусные или базовые детали шасси тракторов обеспечивают заданное конструкцией машины взаимное размещение механизмов и деталей, соответствующую координату посадочных и привалочных поверхностей. Они воспринимают большинство внутренних и внешних нагрузок, действующих на трактор в процессе эксплуатации. Большинство этих деталей изготавливают тонкостенными и с большой разнотолщиной. Материалом для их изготовления служат чугуны: СЧ-15; СЧ-18; СЧ-21 и СЧ-24 среднего и повышенного качества. При изготовлении корпусных деталей сложной конструкции, как правило, в них возникают высокие внутренние остаточные напряжения, действующие независимо от внешних. Для предотвращения деформации, коробления стенок, и как результата, возникновения в них трещин, проводят искусственное и естественное старение, которое значительно снижает уровень остаточных напряжений. Происходит процесс их релаксации. Внутренние напряжения базовых деталей, кото-

рые были в эксплуатации, имеют значительно низший уровень. Установлено [6], что при устранении трещин в чугуновых корпусных деталях эффективно использовать комплексные соединения, например клеесварные.

Анализу взаимного влияния сварочных точек и клеевой прослойки на работоспособность клеесварных соединений из легких сплавов посвящено значительное количество научно-исследовательских работ. Клеевая прослойка существенно повышает прочность соединений выполненных электроконтактным способом [5, 6]. Она (прослойка) разгружает сварочные точки, воспринимая значительную часть нагрузки, прилагаемую к деталям. В свою очередь, сварочные точки улучшают работоспособность клеевой прослойки в условиях неравномерного отрыва [4].

Изучение литературных источников показало, что на современном этапе развития науки в основном определен характер распределения напряжений в условиях соединения деталей равной толщины и изготовленных с относительно пластичных материалов – алюминиевых и магниевых сплавов. При формировании клеесварного соединения „сталь-чугун”, которое применяют при устранении трещин в чугуновых корпусных деталях, применяют элементы неравной толщины, которые резко отличаются по химическому составу и характеру деформирования.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ специальной литературы [1, 2, 3], а также непосредственные наблюдения за ремфондом позволили установить, что наиболее распространенными дефектами

МЕХАНИЗМ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И СКЛЕИВАНИЯ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЯ

базовых деталей являются трещины и изнашивание посадочных поверхностей. По данным ГОСНИТИ [1, 2, 3, 4], 15–22% корпусов коробок перемены передач и 8–11% раздаточных коробок тракторов имеют трещины, а также соответственно: 10–16% и 9–14% изношенных к предельному состоянию посадочных поверхностей. Возникновения этих дефектов связывают с совокупным действием остаточных внутренних напряжений и внешних циклических нагрузок. Это связано с особенностями материала и конструкции деталей, характера, величины и направления действия внутренних и внешних нагрузок [3, 4, 5], действующих на корпусные детали. Возникновение этих дефектов приводит к изменению геометрических размеров деталей, нарушению соосности между отверстиями, искривлению поверхности привалочных плоскостей и так далее [3, 4, 5]. Следует заметить, что 8–10% этих деталей выбраковываются из-за наличия в них приведенных выше дефектов.

Выявление повреждений, особенно, трещин и внутренних несовершенств структуры материала детали имеет значительные сложности технического характера. Внешний осмотр, а также ряд существующих методов дефектования не дает эффективного результата. В то же время, установлено, что комплексный подход совместимой реализации классической и компьютерной голографии позволяет предотвратить попадание к потребителю неисправных деталей. Величину износа, овальность, конусность и др. посадочных поверхностей контролировали нутромерами, а также калибрами и с помощью универсальных дефектовочных установок.

Восстановление (ремонт) работоспособности корпусных базовых чугунных деталей сопряжено со значительными трудностями. Это, в первую очередь, связано с особенностями материала-чугуна, а также со сложностью конструкции, массивностью, значительными габаритными размерами этих деталей. Восстановление исходных параметров только тогда будет эффективным, когда созданы такие технологические условия, при которых в деталях не будут наведены дополнительные напряжения и соответственно не будут возникать существенные деформации и коробления. Разработано около 30 разно-

образных способов устранения дефектов чугунных корпусных деталей. Анализ литературных источников [3, 4, 5, 6] показал, что только незначительное их количество может быть эффективно применено.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данного исследования было установление объективной картины распределения напряжений при нагрузке клеесварного соединения с разными схемами размещения сварочных точек при установлении механизма совместимого влияния сварки и склеивания на работоспособность восстанавливаемых деталей. Разработать технологию восстановления корпусных деталей клеесварным способом.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения сравнительных объективных результатов, проводили испытание сварного и клеесварного соединений с одновременным определением рациональной схемы размещения сварочных точек на поверхности детали. Анализ литературных источников [3, 5, 6] показал, что для изучения напряженного поверхностного поля, при сравнительно малых зонах концентрации напряжений (зона термического влияния от действия сварочного импульса тока) эффективным есть применение тонких хрупких покрытий [6, 14, 18]. Картины размещения трещин в покрытии, которые возникают под действием на соединение растягивающего усилия, позволяют визуально установить траектории главных напряжений (деформаций). Форма трещин, их размещение характеризует механизм распределения напряжений на поверхности исследуемого объекта.

Исследования проводили при одноосном растяжении специально изготовленных образцов, которые состояли из двух элементов: чугунной пластины (СЧ 18) с размерами 100x60x10 мм и стальной накладки (Сталь 20) с размерами 100x60x0,8 мм. На поверхность накладки наносили хрупкое покрытие, которое формировали применяя клеевой компаунд специального состава. Нагрузки увеличивали ступенчато плавно, регулируя при этом их скорость. Максимум

нагружения составлял $-0,7[\sigma_{рч}]$. При этом, фиксировалось зарождение и развитие первых трещин в покрытии, которое позволяло установить зоны с наибольшей концентрацией напряжений. Тарированием на балках, которые изготовлены из того же материала, что и исследуемая модель, определяли среднее значение постоянной покрытия по напряжениям – равная $\sigma_0 = 60$ МПа. Коэффициент концентрации напряжений определяли для зоны зарождения первой трещины по формуле [13, 17, 19]:

$$K = \sigma_0 / \sigma, \quad (1)$$

где: σ – максимальное растягивающее напряжение в зоне, по отношению к которой определяли коэффициент концентрации напряжений.

Эксперименты проводили при одно-, дво- и шахматном размещении сварочных точек, с использованием одно- и двусторонних накладок, сварного и клеесварного соединений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что в каждом из рассмотренных случаев, механизм распределения напряжений носит разнообразный характер. Наибольшая концентрация напряжений визуально была определена в однорядном сварном соединении с односторонней накладкой. Приложение нагрузки, вызывает напряжения, которые концентрируются вокруг сварной точки, о чем свидетельствует образование и форма первых трещин в покрытии. Коэффициент концентрации напряжений составлял $K_{1св} = 3,74$. Использование двусторонней накладки снижает концентрацию напряжений в опасных областях (зона термического влияния). Возникновение трещин в покрытии проходит в радиальном направлении вокруг сварочных точек. Трещины имели меньшую длину в направлении действия нагрузки, а величина коэффициента концентрации напряжений составляла $K_{2св} = 3,56$, что указывает на более равномерное распределение нагрузки, чем в первом случае.

В клеесварном однорядном соединении с односторонней накладкой нагрузки на сварочную точку меньше в сравнении с одно-

типным сварным, на что указывает форма и размещение трещин в покрытии. Они огибают области, которые близко лежат к зоне термического влияния и размещаются под углом, который приближается к прямому по отношению к оси приложения нагрузки. Это указывает на тот факт, что клеевая прослойка, принимая на себя часть нагрузки, разгружают сварочную точку. Изокванты носят плавный характер, а максимум напряжения направлен к стыку соединения.

Применение двусторонней накладки смещает концентрацию напряжений в крайние зоны нахлеста. Напряжения распределяются более равномерно на поверхности накладки, чем в описанных выше случаях. Коэффициенты концентрации напряжений в первом и во втором случаях для клеесварного соединения составляют: $K_{1кк} = 3,42$; $K_{2кк} = 3,30$, а это свидетельствует о значительном уменьшении концентрации напряжений в опасных зонах соединения при использовании клеевой прослойки. Однако, величина концентрации является достаточно значительной, а схема размещения сварочных точек не удовлетворяет выставленным требованиям к прочностным характеристикам соединения.

Использование двухрядной схемы размещения сварочных точек резко изменяет характер распределения напряжений от описанного выше. Первые трещины в нанесенном покрытии возникают в пристыковых областях. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к образованию новых трещин в зонах термического влияния. Это связано с тем, что нагрузку воспринимают два ряда сварочных точек, которые размещены один позади другого. Однако, нагрузка обоими рядами воспринимается неравномерно, особенно в случае сварного соединения. Пристыковый ряд несет приблизительно 0,77–0,85% нагрузки. Зоны концентрированного размещения трещин в нанесенном покрытии смещаются от второго ряда точек к области стыка. При этом величина коэффициента концентрации напряжений является меньшей, чем в аналогичного (сварного) однорядного и равная $K_{2св} = 3,52$.

Формирование соединения с двусторонней накладкой снижает величину напряжений в соединении. Трещины в покрытии за-

МЕХАНИЗМ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И СКЛЕИВАНИЯ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЯ

рождаются в областях близких к стыку и при увеличении нагрузки перераспределяются к первому ряду сварочных точек. Такое перераспределение указывает на снижение концентрации напряжений в зоне термического влияния и распределение нагрузки на большую часть накладки, а $K_{22cb} = 3,35$.

Нагрузка клеесварного двухрядного соединения вызывает возникновение трещин в зоне стыка и междурядье сварных точек. Они носят прямолинейный характер с небольшой концентрацией в краевых зонах. Напряжения распределяются на большие площади нахлеста, что снижает их концентрацию вокруг сварочных точек. Второй ряд сварочных точек значительно улучшает условия работы клеевой прослойки в краевых зонах нахлеста, о чем свидетельствует отсутствие концентрации напряжений в областях расположенных позади сварочных точек. При этом, почти полностью устраняется вредное влияние неравномерного отрыва на работоспособность клеевой прослойки. Характер распределения напряжений в клеесварном соединении с двусторонней накладкой подобный распределению с односторонней накладкой. Однако, в этом случае, наблюдалось снижение нагрузки, который несет один ряд сварочных точек и более равномерное распределение напряжений по всей поверхности накладки, о свидетельствуют величины коэффициентов концентрации напряжений $K_{21kc} = 3,18$; $K_{22kc} = 3,08$.

Таким образом, применение двухрядной схемы размещения сварочных точек позволяет значительно уменьшить концентрацию напряжений в опасных зонах соединения в результате более равномерного распределения напряжений на его поверхности. Следовательно, двухрядная схема размещения сварочных точек является более рациональной, чем односторонняя.

Результаты многочисленных экспериментальных исследований и анализ литературных источников [6, 7, 9, 12] дали возможность утверждать, что использование простой двухрядной схемы размещения сварочных точек при формировании клеесварного соединения „сталь-чугун” не дает оптимального решения. Выбранная двухрядная схема имеет целый ряд недостатков, среди которых следует отметить: низкую производитель-

ность труда (необходимость в постановке двух полноценных рядов сварочных точек, что сопровождается увеличением затрат на их формирование); проходит значительное уменьшение прочности клеевого шва в следствие большего выгорания клеевой прослойки; размещение сварочных точек на одной оси в поперечном сечении шва вызывает неравномерное восприятие нагрузки в результате больших зон не перекрытия сварочными точками. В связи с этим, было принято решение продолжить поиск оптимальной схемы размещения сварочных точек при формировании клеесварного соединения „сталь-чугун”.

Из литературных источников [6, 8, 9, 11] известно, что наилучшей компоновкой владеют конструкции, в которых элементы соединены с использованием шахматной схемы. Однако, в литературе не найдено данных о распределении нагрузки и напряжений в соединении, особенно, элементов с неравномерной толщиной и изготовленных из разнородных по своим физико-механическим свойствам.

Результаты экспериментальных исследований позволили установить, что при шахматном размещении сварочных точек и формировании клеесварного соединения „сталь-чугун” распределение напряжений происходит практически по всей поверхности соединенных элементов. Трещины в хрупком покрытии начинают зарождаться и распространяться практически по всей поверхности накладки без выраженных зон концентрации. Только в сварном соединении с односторонней накладкой замечалась незначительная концентрация напряжений в зоне опасного секущего. Одновременно с тем, концентрация напряжений имеет меньшее значение, чем во всех описанных выше случаях: $K_{31cb} = 2,97$. Это указывает на тот факт, что шахматное размещение сварочных точек благоприятно влияют на распределение напряжений по всей поверхности накладки, увеличивая работоспособность соединения. При использовании двусторонней накладки выравниваются линии прохождения трещин в хрупком покрытии. В работу, при нагрузке, вступают равноценно оба ряда сварочных точек, а величина коэффициента концентрации напряжений составляет $K_{32cb} = 2,84$, что

свидетельствует о выравнивании напряжений на поверхности накладки.

В клеесварном соединении при шахматном размещении сварочных точек наблюдали смещение зон концентрации опасных зон в область стыка. Выразительной концентрации напряжений в опасных зонах не замечено, а в работе практически принимает участие вся поверхность накладки, которая указывает на совместимое действие клеевого шва и сварочных точек. Распределение трещин в хрупком покрытии свидетельствует о равномерности распределения напряжений при приложении нагрузки. Коэффициент концентрации напряжений в исследуемых областях имеет значение $K_{31кк} = 2,56$.

Снижение концентрации напряжений вызвано совместной работой клеевого шва и сварочных точек. Равномерному распределению напряжений при шахматном размещении сварочных точек способствует также и то, что жесткие элементы в клеевом шве размещены не один за другим, а с разбросом. Это позволяет сварочным точкам влиять на большие площади под нахлестом. При этом, полностью сохраняются прочностные характеристики, а выгорание клеевой прослойки при сварке – гораздо меньше. Двусторонняя накладка, в данном случае, изменяет незначительно картину распределения напряжений, а устранение условий неравномерного растяжения, снижает концентрацию напряжений в соединении – $K_{32кк} = 2,47$.

Следует заметить, что в современном машиностроении, а также сельскохозяйственном производстве, значение неразрушающего контроля, как метода повышения надежности техники, все более возрастает. В то же время, образец испытания или разрушенная деталь только они могут дать адресную оценку выявленному явлению, его природе, характеристикам и недооценивать их роль в деле контроля нельзя. Комплексное сочетание разрушающего и неразрушающего контроля позволяет эффективно оценить состояние изделий, выучить возможные причины наступления предельных значения параметров надёжности и так далее.

Трещины в корпусных деталях определяют способами неразрушающего контроля (одним из перспективных есть применение голографирования) или с помощью лупы

8–10 кратного увеличения. Определяют пределы распространения трещины и на ее концах сверлят отверстия диаметром 2,5–3,0 мм для предотвращения дальнейшего распространения. По всей длине трещины снимают фаску под углом 60–70° на глубину 1,0–3,0 мм. Поверхность детали с трещиной зачищают к металлического блеска с таким расчетом, чтобы зачищенная поверхность перекрывала трещину на 40–50 мм по обе стороны от ее оси. Обезжиривают подготовленную поверхность с помощью тампона, смоченного в растворителе (ацетоне).

Деталь устанавливают таким образом, чтобы трещина находилась в горизонтальном положении и наносят шпателем клеевой состав на основе, например: эпоксидной смолы, на поверхность детали с трещиной по всей ширине подготовленного участка. Для укрепления клеевого покрытия, на его слой дополнительно устанавливают металлическую накладку, изготовленную за контуром трещины из листовой стали (Сталь 20) толщиной 0,8–1,0 мм. Накладка или пластина должна перекрывать трещину из двух сторон на 40–50 мм и на 10–15 мм от концов дефекта.

Клеевое покрытие должно быть толщиной не больше 0,2–0,4 мм и равномерно покрывать поверхность детали с трещиной. Накладку приваривают к детали отдельными, равностоящими одна от другой сварочными точками, которые сформированы электроконтактным способом с помощью сварочных клещей. Сварку проводят используя такие параметры режима: сварочный ток – 10,5–11,0 кА; усилие прижимания электродов – 1,3–1,8 кН; длительность сваривающего импульса – 0,25–0,30 с; длительность прижатия электродов 0,70–0,76 с; ток отжига – 8,5–9,0 кА; длительность отжигающего импульса – 0,45–0,48 с. Прочность соединения на разрыв составляет 176–184 МПа, прочность при циклической нагрузке – 79–80 МПа, что отвечает прочностным характеристикам основного металла детали чугуна СЧ 18 (корпус коробки передач трактора Т-150К с трещиной длиной 87 мм и размахом отклонения от оси 12 мм выявленной в боковой стенке). Оптимальными конструктивными элементами соединения являются: диаметр электродов – 5–6 мм; шаг между сва-

МЕХАНИЗМ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И СКЛЕИВАНИЯ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЯ

рочными точками – 25–30 мм; расстояние между рядами сварочных точек 20–25 мм; количество их рядов – не больше трех с обеих сторон от оси трещины, а величина свободного конца накладки 6–8 мм.

Приваривание стальной накладки проводят по сырому клею, выдавливая его прослойку из зоны контакта. При этом поверхность детали локально нагревается до температуры $80 - 100 \pm 2^\circ\text{C}$, что убыстряет время полимеризации клеевой прослойки без применения дополнительного нагревания всей детали и составляет – 4,5 часа.

Применение электроконтактной сварки у замен использования механических средств позволяет повысить производительность труда в 2,5 – 2,8 раза, нагревание же поверхности детали дает возможность сократить время пребывания деталей в ремонте в 3 раза и избежать применения громоздкого нагревательного оборудования.

ВЫВОДЫ

1. Клеевая прослойка, принимая часть нагрузки, разгружает сварочные точки.

2. Сварочные точки способствуют увеличению прочности клеевого шва в краевых зонах нахлестки, снижая негативное влияние условий неравномерного отрыва.

3. Совместное использование электроконтактной сварки и склеивания при формировании соединения улучшает их рабочие характеристики путем равномерного распределения напряжений на поверхности накладки и дает возможность применить его для восстановления корпусных деталей с трещинами.

4. Рациональной схемой размещения сварочных точек является шахматная, использование которой способствует более равномерному распределению напряжений и снижению концентрации их в опасных зонах соединения.

5. Использование двусторонних накладок более рационально, чем односторонних так, как они позволяют равномерно воспринимать прилагаемую нагрузку и снижают негативное влияние условий неравномерного отрыва, которые возникают в результате изгиба нагруженных элементов соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Repair of machines. 1992: Under prof. N.F. Telnov. - M.: In Agropromizdat.– 550.
2. Tchernoivanov V.A., Andreev P.I. 1983: Renewal of details of agricultural machines / of V.A. Tchernoivanov, P.I. Andreev / – M.: Kolos.– 238.
3. Kakuevitskiy V.M. 1983: the Rational methods of welding of details from cast-iron / V.M. Kakuevitskiy // Motor transport – №7. – 43–45.
4. Karabinosh S.S. 1985: Renewal of cabinet-type details by the gluweldsng method / S.S. Karabinosh // Motor transport. – №7.– 38–39.
5. Volovik E.A., Golubtsova D.S. 1980: Technology of renewal of beds of the native bearing of crankcase of engine of SMD–14 by a additive in the magnetic field / of E.A. Volovik, D.S. Golubtsova. – M.: GOSNITI. – 6–7.
6. Tchuloshnikov P.L. 1974: the Point and roller electric welding of alloyed and alloys / P.L. Tchuloshnikov – M.: Engineer. – 232.
7. Technology and equipment of the pin welding. 1975: / Under prof. Orlov B.D. – M.: Engineer. – 536.
8. Guliyv A.I. 1978: Technology of the point and relief welding of сталей / A.I. Guliyv. – M.: Engineer. – 647.
9. Zolotarev B.B. 1966: Tensions on-loading in flat connections on lining. / B.B. Zolotarev // Automatic welding – № 9.– 35– 39.
10. Karabinosh S.S. 2012: Structurally – technological methods providing of reliability of agricultural technique by computer holography / S.S. Karabinosh – Motrol, T. 14. – №3. – 112–119.
11. Shavirin V.V., Ryzantsev V.A. 1988: Glutwelding constructions/ V.V. Shavirin, V.A. Ryzantsev – M.: Engineer. – 231.
12. Karabinosh S.S. 2013: Diagnostics of the technical state and prognostication of remaining resource / Karabinosh S.S. – M.: Control. Diagnostics, – №3. – 74–78.
13. Karabinosh S.S. 2013: Holography and structural method of providing of reliability of agricultural technique / S.S. Karabinosh.– Motrol.– No 3. – 183–189.
14. Karabinosh S.S. 2001: Non – distracted control glue - weed joining by computer

- holography / S.S. Karabinosh. – Motrol. – Vol. 4. – 144–147.
15. Barnet L., Vitsel V., Duks U / and other. 1977: Destruction: Guidance. In 7 т. / Trudged. with an eng. Т. 4. / L. Barnet, V. Vitsel, U. Duks of and other / – М.: Engineer. – 400.
16. Birger A.A., Shor B.F., Iosilevich B.I. 1993: Calculation on durability of details of machines. Reference book. 4th publ. / A.A. Birger, B.F. Shor, B.I. Iosilevich / – М.: Engineer. – 639.
17. Boyko A.I., Karabinosh S.S. 2001: Do pitannya about determination energy os distraction body at there border state / A.I. Boyko, S.S. Karabinosh // Zb. naukovikh prats KDTU. – Kirovograd. – 45–47.
18. Dobrovolskiy S.B. 2000: Methods of estimation of influence of structural concentration on малоцикловую durability / Dobrovolskiy S.B. // Motor industry. – № 6. – 19–23.
19. Ivanov M.N. 2000: Detail of machines: a 6th publ. / M.N. Ivanov – М.: Higher school. – 383.
20. Karabiniosh S.S., Novitskiy A.V. 2005: Reliability of agricultural technique and control of her capacity / S.S. Karabiniosh, A.V Novitskiy. – К.: NAU. – V.80.– 183–186.

THE MECHANISM COMMON OF ACTION DOT WELDING FOR WORKING CHARACTERISTICS OF CONNECTION

Summary. There is submitted results of research of the mechanism common of action on strength of the characteristic of glue and welding connection electrocontactwelding and gluing in article. There is determined the circuit of accommodation of welding points is optimum at elimination of cracks in cast iron details.

Key words: corps, part, crack, durability, coefficient, supply, durability, weld-fabricated point, glue ball, gluwelding connection.

СПОСОБ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Виктор Несвидомин, Тарас Пилипака, Татьяна Кремец

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Viktor Nesvidomin, Taras Pylypaka, Tatyana Kremetz

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Плоские изображения геометрической и художественной формы описываются аналитически в декартовой системе координат. Внутренние уравнения отдельных линий изображения, отнесенного к декартовой изометрической сети, подставляются в параметрические уравнения других изометрических сетей. Преобразование осуществляется за счет конформного отображения на различные плоские и пространственные изометрические сети.

Ключевые слова: изометрические сети, конформное преобразование, плоское изображение, внутреннее уравнение.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Ортогональная сеть координатных линий на поверхности, в частности, на плоскости, которая разбивает ее на бесконечно малые квадраты, называется изометрической. Частным случаем такой сети является сеть декартовой системы координат, образованная пересечением двух семейств координатных прямых линий. Второй пример – прямоугольная сеть полярной системы координат, приведенная к изометрическому виду. Некоторые поверхности вращения тоже можно отнести к изометрической сети координатных линий. При установлении математического соответствия между ячейками разных изометрических сетей как плоских, так и пространственных, можно конформно отображать на них исходное плоское изображение.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перенесение плоских рисунков на криволинейную поверхность является практической задачей, которая решается разными способами

[1, 2]. Наиболее близким способом к предлагаемому в работе является способ отображения плоских изображений на поверхность на основании топологического соответствия ячеек координатных сетей [3], причем эти ячейки как на плоскости, так и на поверхности являются прямоугольными. В частности, в работе [4] выполнено такое отображение на поверхность шара. В данной работе рассматривается способ конформного отображения плоских рисунков на пространственные изометрические сети, у которых бесконечно малая ячейка (элемент сети) является квадратом. Плоские изометрические сети можно получить на основе преобразования функции комплексной переменной [5]. Иногда удается преобразовать ортогональную сеть в изометрическую. В работе [6] показан переход от прямоугольной сети полярной системы координат к соответствующей изометрической сети. Отображение прямых и кривых линий на такую изометрическую сеть и конструирование узоров рассмотрено в работе [7]. Конформное отображение геометрических элементов из пространственной изометрической сети на плоскую показано в работе [8]. Отображение надписей на изометрические сети конуса и шара выполнено в работе [9].

Кривые линии, из которых создается рисунок, и которые в данной работе используются для образования узоров на поверхностях, могут нести как эстетические, так и другие полезные для практики свойства. В работе [10] рассмотрены механические свойства кривых, описанных в полярной системе координат. Для построения изображений или узоров могут использоваться кривые, полученные естественным путем, например, траектории движения материальных частиц. Их нахождение рассмотрено в работах [11–16]. Разнообразные кривые с описанием их свойств приведены в трудах [17, 18].

СПОСОБ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является разработка способа аналитического отображения плоских изображений на криволинейные поверхности с минимальным искажением.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сначала рассмотрим отображение рисунка с плоской декартовой изометрической сети на другую плоскую криволинейную изометрическую сеть.

Изометрическая сеть характеризуется тем, что ее первая квадратичная форма имеет вид $dS^2 = Q(du^2 + dv^2)$, где: Q – выражение, зависящее от переменной u или v или же от их двоих. Например, запишем уравнение сети плоской декартовой системы:

$$\begin{aligned} X &= u, \\ Y &= v, \end{aligned} \quad (1)$$

где: u, v – независимые переменные.

Частные производные и коэффициенты первой квадратичной формы для уравнений (1) запишутся:

$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial u} &= 1; \quad \frac{\partial Y}{\partial u} = 0; \quad \frac{\partial X}{\partial v} = 0; \quad \frac{\partial Y}{\partial v} = 1, \\ E &= \left(\frac{\partial X}{\partial u}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial u}\right)^2 = 1, \\ F &= \frac{\partial X}{\partial u} \cdot \frac{\partial X}{\partial v} + \frac{\partial Y}{\partial u} \cdot \frac{\partial Y}{\partial v} = 0, \\ G &= \left(\frac{\partial X}{\partial v}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial v}\right)^2 = 1, \end{aligned} \quad (2)$$

Найдем первую квадратичную форму сети (1):

$$dS^2 = Edu^2 + 2Fdudv + Gdv^2 = du^2 + dv^2. \quad (3)$$

Таким образом, плоская декартова система представляет собой изометрическую сеть, у которой выражение Q равно единице.

Рассмотрим вторую прямоугольную сеть, образованную координатными линиями полярной системы координат. Она имеет вид:

$$\begin{aligned} X &= w \cos v, \\ Y &= w \sin v. \end{aligned} \quad (4)$$

Частные производные и первая квадратичная форма сети (4) имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial w} &= \cos v, \quad \frac{\partial Y}{\partial w} = \sin v, \\ \frac{\partial X}{\partial v} &= -w \sin v, \quad \frac{\partial Y}{\partial v} = w \cos v, \end{aligned} \quad (5)$$

$$dS^2 = dw^2 + w^2 dv^2.$$

Отсутствие среднего члена в полученной квадратичной форме свидетельствует о том, что она прямоугольная [19], однако не является изометрической. Квадратичную форму (5) преобразуем следующим образом:

$$dS^2 = dw^2 + w^2 dv^2 = w^2 \left[\left(\frac{dw}{w}\right)^2 + dv^2 \right]. \quad (6)$$

Введем новую переменную u так, чтобы $\frac{dw}{w} = du$ и после интегрирования получим:

$$u = \int \frac{dw}{w} = \ln w, \quad \text{откуда } w = e^u. \quad (7)$$

Перейдем в уравнениях (4) от переменной w к переменной u в соответствии с (7):

$$\begin{aligned} X &= e^u \cos v, \\ Y &= e^u \sin v. \end{aligned} \quad (8)$$

Если теперь найдем первую квадратичную форму сети (8), то увидим, что она соответствует изометрической:

$$dS^2 = e^{2u}(du^2 + dv^2). \quad (9)$$

Для сети (8) выражение $Q = e^{2u}$. Построив сети по уравнениям (4) и (8), можно визуально оценить отличие изометрической сети от обыкновенной прямоугольной (рис. 1).

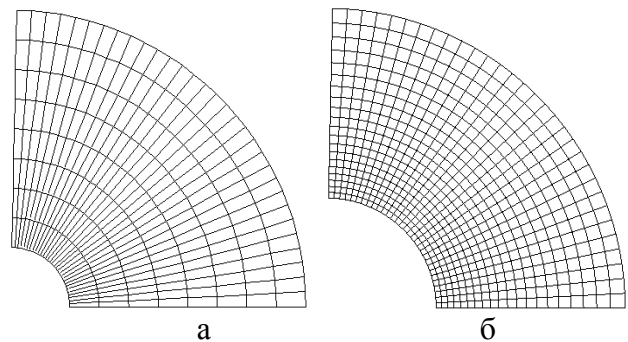


Рис. 1. Прямоугольная сеть полярной системы координат: а) не изометрическая; б) изометрическая

Fig. 1. Rectangular web of polar frame

Если независимые переменные u и v связать между собой определенной зависимостью в виде $u=u(v)$ либо $v=v(u)$, то в плоскости изо-

метрической сети будет описана соответствующая линия. Чтобы получить уравнение этой линии, необходимо заданную зависимость подставить в уравнение сети. Зависимость может быть задана посредством третьего параметра t в виде $u=u(t)$, $v=v(t)$. Возьмем, например, линейную зависимость:

$$v=au, \tag{10}$$

где: a – постоянная.

Подстановка зависимости (10) в уравнения (1) даст прямую линию, а в уравнения (8) – кривую (рис. 2).

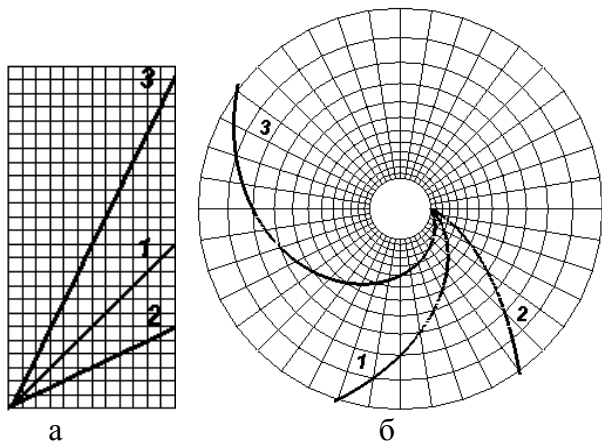


Рис. 2. Линии, построенные в изометрических сетях при линейной зависимости $v=au$ и различных значениях постоянной a (1, 2, 3): а) декартовая система координат; б) полярная система координат

Fig. 2. The lines constructed in isometric webs at linear dependence $v=au$ and at various values of constant a (1, 2, 3)

При $a=1$ линии, которые обозначены цифрой 1, на обеих системах проходят по диагоналям клеток и пересекают координатные линии под постоянным углом (в данном случае под углом 45^0). То же самое касается и других линий при $a=0,5$ (обозначено цифрой 2) и $a=2$ (обозначено цифрой 3). При построении линий в разных изометрических системах по одной и той же зависимости углы между ними и координатными линиями сети не изменяются. Отображение с сохранением углов указывает на его комфортность. Зависимость, связывающая две переменные u и v , по которой может быть построена линия в любой изометрической системе, называется внутренним уравнением этой линии. Например, внутреннее уравнение в виде линейной зависимости $v=au$ описывает прямую линию в декартовой изометрической системе (рис. 2,а) и кривую (логарифмическую

спираль) в полярной изометрической системе (рис. 2,б).

Рассмотрим построение окружности в этих двух системах, причем под окружностью будем понимать ее отображение на декартовую изометрическую сеть. Внутреннее уравнение окружности получим, связав переменные u и v посредством третьей переменной t :

$$\begin{aligned} u &= R \cos t + u_c, \\ v &= R \sin t + v_c, \end{aligned} \tag{11}$$

где: R – радиус окружности, v_c , u_c – координаты его центра.

Если переменная t изменяется в пределах $0...2\pi$, то внутренние уравнения (11) опишут замкнутую кривую (окружность). Если нужна определенная дуга кривой, то необходимо найти соответствующие пределы изменения параметра t .

При подстановке внутренних уравнений (11) у параметрические уравнения (1) изометрической декартовой системы мы получим окружность, а при подстановке в уравнения (8) изометрической полярной системы будет описана соответствующая замкнутая кривая. Изменяя координаты центра v_o , u_o можно строить кривую в разных местах изометрических сетей. На рис. 3 построены три окружности в декартовой системе, а на рис. 4 три соответствующие кривые в полярной изометрической системе. При этом окружности вписаны таким образом, что они касаются координатных линий изометрической сети. Две одинаковых окружности расположены таким образом, что они касаются друг друга и занимают одинаковое число ячеек. Соответствующим образом расположены кривые в полярной изометрической системе (рис. 4).

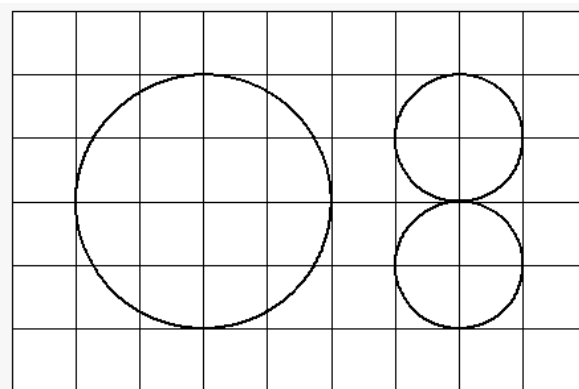


Рис. 3. Окружности в декартовой изометрической системе координат

Fig. 3. Circles in Cartesian isometric system

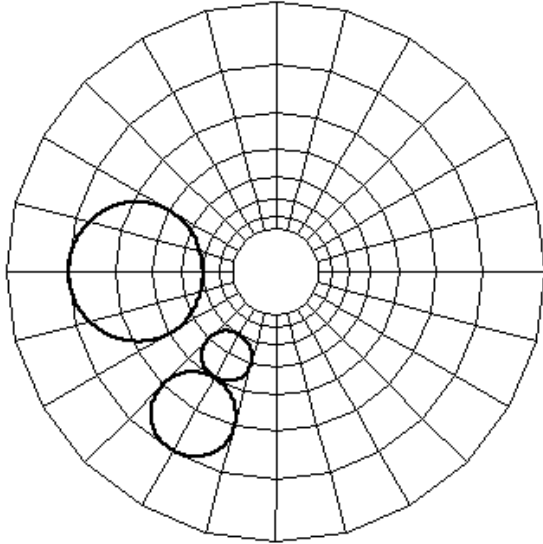


Рис. 4. Кривые в полярной изометрической системе

Fig. 4. Curves in polar isometric system

Рассмотрим отображение плоских изображений на пространственную изометрическую сеть, то есть на поверхность. Следует заметить, что отыскание пространственных изометрических сетей является отдельной задачей, причем достаточно сложной. Если взять поверхности вращения, то не на каждой поверхности такую сеть можно найти. Мы рассмотрим некоторые поверхности, для которой эта задача решается. Возьмем, например, конус. Его параметрические уравнения имеют вид [20]:

$$\begin{aligned} X &= w \cos v, \\ Y &= w \sin v, \\ Z &= w \operatorname{tg} \beta, \end{aligned} \quad (12)$$

где: w, v – независимые переменные; β – угол наклона прямолинейных образующих конуса к горизонтальной плоскости – постоянная величина.

Разыщем на поверхности изометрическую сеть. Находим частные производные:

$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial w} &= \cos v, & \frac{\partial Y}{\partial w} &= \sin v, & \frac{\partial Z}{\partial w} &= \operatorname{tg} \beta, \\ \frac{\partial X}{\partial v} &= -w \sin v, & \frac{\partial Y}{\partial v} &= w \cos v, & \frac{\partial Z}{\partial v} &= 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Коэффициенты и первая квадратичная форма согласно (3) принимают вид:

$$\begin{aligned} E &= \left(\frac{\partial X}{\partial w} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial w} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial w} \right)^2 = \frac{1}{\cos^2 \beta}, \\ F &= \frac{\partial X}{\partial w} \cdot \frac{\partial X}{\partial v} + \frac{\partial Y}{\partial w} \cdot \frac{\partial Y}{\partial v} + \frac{\partial Z}{\partial w} \cdot \frac{\partial Z}{\partial v} = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

$$G = \left(\frac{\partial X}{\partial v} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial v} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial v} \right)^2 = w^2,$$

$$dS^2 = \frac{dw^2}{\cos^2 \beta} + w^2 dv^2. \quad (15)$$

Преобразуем следующим образом квадратичную форму (15):

$$dS^2 = w^2 \left(\frac{dw^2}{w^2 \cos^2 \beta} + dv^2 \right). \quad (16)$$

Левое выражение в скобках приравняем к новой переменной $du = \frac{dw}{w \cos \beta}$. Интегрированием находим:

$$u = \int \frac{dw}{w \cos \beta} = \frac{\ln w}{\cos \beta}. \quad (17)$$

Решая (17) относительно w , находим:

$$w = e^{u \cos \beta}. \quad (18)$$

Подстановка (18) в (12) дает параметрические уравнения конуса, отнесенного к изометрической сети:

$$\begin{aligned} X &= e^{u \cos \beta} \cos v, \\ Y &= e^{u \cos \beta} \sin v, \\ Z &= e^{u \cos \beta} \operatorname{tg} \beta. \end{aligned} \quad (19)$$

Если в уравнения (19) подставить уравнения окружности (11) с теми же постоянными (радиусом r и координатами центра v_c, u_c), что и для предыдущих изометрических сетей, то мы получим отображение окружностей на конус (рис. 5).

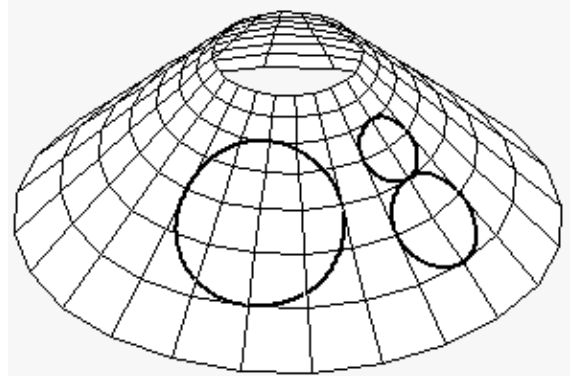


Рис. 5. Отображение окружностей на поверхность конуса

Fig. 5. Map of circles to cone surface

Показанная возможность отображения окружностей на поверхность, отнесенную к изометрической сети, может быть использована для нанесения на нее различных узоров, состоящих из окружностей.

На рис. 6 изображен плоский рисунок, состоящий из дуг окружностей.

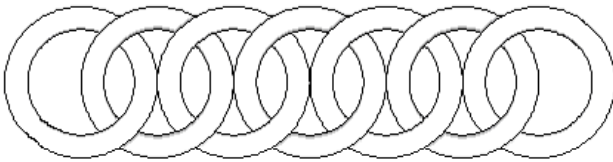


Рис. 6. Узор, состоящий из дуг окружностей
Fig. 6. Pattern consisting of arcs of circles

Используя предложенное аналитическое отображение, можно нанести этот узор на поверхность конуса. При необходимости изображение можно увеличить или уменьшить, применив масштабный коэффициент k . Для этого умножим на него уравнения (11) каждой отдельной дуги:

$$\begin{aligned} u &= k(R \cos t + u_c), \\ v &= k(R \sin t + v_c). \end{aligned} \quad (20)$$

Применяя уравнения (2) и меняя координаты центра окружностей, рисунок узора (рис. 6) можно сдвигать по поверхности конуса (рис. 7).

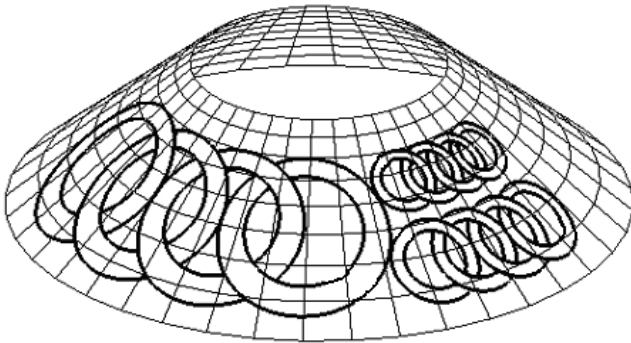


Рис. 7. Отображение узора на поверхность конуса
Fig. 7. Map of pattern to cone surface

Дугами окружностей можно описать плоские изображения художественной формы. Нами было взято силуэт рыбки (рис. 8) и описано дугами окружностей. При этом было использовано возможности современных программных продуктов. Сосканированную копию рыбки мы экспортировали в программную среду *AutoCad*, в которой автоматизировано определяли все необходимые данные для построения каждой дуги. Например, дугу AB (рис. 8) строили, указав курсором три точки: A , B и третью приблизительно посередине дуги. С помощью команды «Свойства» определяли все необходимые данные для построения дуги: координаты центра x_c, y_c , радиус R , углы α_A и α_B , в пределах которых изменяется параметр t : $t = \alpha_A \dots \alpha_B$. Данные для всех 11 дуг (рис. 9)

заносили в память компьютера. Построение силуэта рыбки производилось в цикле повторением одной и той же команды построения дуги с разными исходными данными.

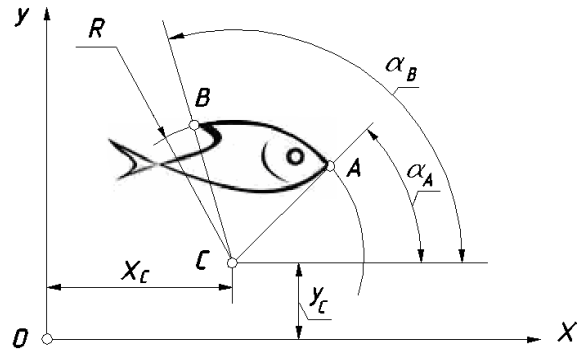


Рис. 8. Описание отдельной дуги силуэта рыбки
Fig. 8. Exposition of a separate arc of silhouette of fish

Fig. 8. Exposition of a separate arc of silhouette of fish

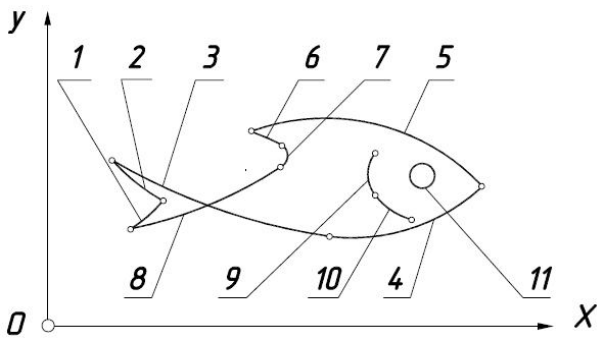


Рис. 9. Силуэт рыбки аппроксимированной 11 дугами окружностей
Fig. 9. Silhouette of a fish it is approximated by 11 arcs of circles

Fig. 9. Silhouette of a fish it is approximated by 11 arcs of circles

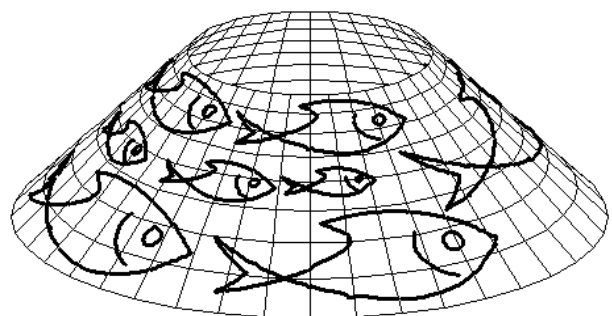


Рис. 10. Изображение рыбок на поверхности конуса
Fig. 10. Image of fishes on cone surface

Fig. 10. Image of fishes on cone surface

Если уравнение каждой дуги последовательно подставлять в уравнения конуса (19), то мы получим изображение рыбки на его поверхности. На рис. 10 построены изображения рыбок на поверхности конуса с разным масштабным коэффициентом.

СПОСОБ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрим отображение плоских рисунков на не развёртывающиеся поверхности вращения. В общем случае параметрические уравнения поверхности вращения имеют вид:

$$\begin{aligned} X &= \varphi \cos v, \\ Y &= \varphi \sin v, \\ Z &= \psi, \end{aligned} \quad (21)$$

где: $\varphi = \varphi(t)$; $\psi = \psi(t)$ – параметрические уравнения плоской кривой – меридиана поверхности.

Частные производные уравнений (21) записываются:

$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial t} &= \varphi'_t \cos v, & \frac{\partial Y}{\partial t} &= \varphi'_t \sin v, & \frac{\partial Z}{\partial t} &= \psi'_t, \\ \frac{\partial X}{\partial v} &= -\varphi \sin v, & \frac{\partial Y}{\partial v} &= \varphi \cos v, & \frac{\partial Z}{\partial v} &= 0. \end{aligned} \quad (22)$$

Коэффициенты первой квадратичной формы принимают вид:

$$\begin{aligned} E &= \left(\frac{\partial X}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial t}\right)^2 = \varphi_t'^2 + \psi_t'^2, \\ F &= \frac{\partial X}{\partial w} \cdot \frac{\partial X}{\partial v} + \frac{\partial Y}{\partial w} \cdot \frac{\partial Y}{\partial v} + \frac{\partial Z}{\partial w} \cdot \frac{\partial Z}{\partial v} = 0, \\ G &= \left(\frac{\partial X}{\partial v}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial v}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial v}\right)^2 = \varphi^2. \end{aligned} \quad (23)$$

Первая квадратичная форма поверхности вращения (21) запишется:

$$dS^2 = (\varphi_t'^2 + \psi_t'^2) dt^2 + \varphi^2 dv^2. \quad (24)$$

Преобразуем квадратичную форму (24) к виду:

$$dS^2 = \varphi^2 \left[\left(\frac{\varphi_t'^2 + \psi_t'^2}{\varphi^2} \right) dt^2 + dv^2 \right]. \quad (25)$$

Введем новую переменную u так, чтобы:

$$\frac{\sqrt{\varphi_t'^2 + \psi_t'^2}}{\varphi} dt = du. \quad (26)$$

Интегрированием выражения (26) получим зависимость $u = u(t)$:

$$u = \int \frac{\sqrt{\varphi_t'^2 + \psi_t'^2}}{\varphi} dt. \quad (27)$$

Пусть меридианом будет окружность радиуса r (поверхностью вращения будет сфера):

$$\begin{aligned} \varphi &= r \cos t, \\ \psi &= r \sin t. \end{aligned} \quad (28)$$

Взяв производные выражений (28) и подставив у (27), получим:

$$u = \int \frac{dt}{\cos t} = \ln \frac{\cos \frac{t}{2} + \sin \frac{t}{2}}{\cos \frac{t}{2} - \sin \frac{t}{2}}. \quad (29)$$

Разрешив уравнение (29) относительно t , получим:

$$t = 2 \operatorname{Arccos} \sqrt{\frac{1 + \cosh u}{2 \cosh u}}. \quad (30)$$

Подставив выражение t из (30) у (28), после преобразований получим уравнение меридиана (окружности) у функции новой переменной u :

$$\begin{aligned} \varphi &= r \operatorname{sech} u, \\ \psi &= r \tanh u. \end{aligned} \quad (31)$$

После подстановки (31) в уравнения (21) получим параметрические уравнения сферы, отнесенной к изометрической сети:

$$\begin{aligned} X &= \operatorname{sech} u \cos v, \\ Y &= \operatorname{sech} u \sin v, \\ Z &= \tanh u; \end{aligned} \quad (32)$$

На рис. 11 построены рыбки на поверхности сферы за разработанным способом.

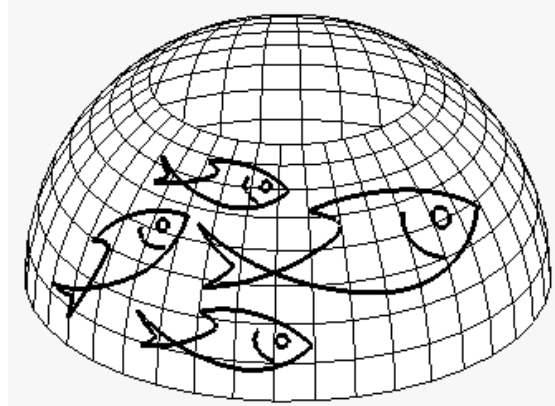


Рис. 11. Изображение рыбок на поверхности сферы

Fig. 11. Image of fishes on full-sphere surface

Можно плоское изображение (то есть все дуги) повернуть на определенный угол по известным формулам в декартовой системе координат. Соответственно будет повернуто изображение на поверхности, что продемонстрировано на примере рыбки на сфере (рис. 11, крайняя слева).

Не на всех поверхностях вращения можно разыскать изометрическую сеть. Например, на эллипсоиде, параболоиде, гиперболоиде вращения ее найти не удастся. Это обусловлено необходимостью интегрирования выражения (27) и дальнейшего нахождения зависимости $t = t(u)$. Для некоторых поверхностей вращения уже первый этап интегрирования не может быть выполнен, для других (например, пара-

болоида) не удается найти зависимость $t=t(u)$. Поэтому можно поставить задачу следующим образом: не только разыскивать изометрическую сеть на известных поверхностях вращения, но и искать новые поверхности вращения, которые могут быть отнесены к изометрической сети. Для этого необходимо у выражении (27) задавать выражение $\varphi=\varphi(t)$, а второе выражение $\psi=\psi(t)$ подбирать таким образом, чтобы полученный интеграл (27) мог быть проинтегрирован и полученная вследствие интегрирования зависимость $u=u(t)$ была такой, чтобы можно было из нее найти выражение $t=t(u)$. Перепишем выражение (27) следующим образом:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\sqrt{\varphi_t'^2 + \psi_t'^2}}{\varphi}. \quad (33)$$

Пусть $u=t$. Тогда выражение (33) запишется у функции новой переменной:

$$1 = \frac{\sqrt{\varphi_u'^2 + \psi_u'^2}}{\varphi}. \quad (34)$$

Решая (34) относительно $\psi=\psi(u)$, получим:

$$\psi = \int \sqrt{\varphi_u'^2 - \varphi_u'^2} du. \quad (35)$$

Если будет найдена такая функция $\varphi=\varphi(u)$, чтобы выражение (35) можно было проинтегрировать, то этого достаточно, чтобы построить поверхность вращения, отнесенную к изометрической сети. Из выражения (35) мы можем получить известные поверхности вращения, допускающие отнесение к координатным линиям, образующих изометрическую сеть. Например, при $\varphi=\cosh u$ согласно (35) получим: $\psi=u$. В этом случае меридианом является график гиперболического косинуса, а сама поверхность вращения – катеноид. При $\varphi=r - const$ получим цилиндр. Однако подобрать такую функцию $\varphi=\varphi(u)$, допускающую интегрирование выражения (35) не так просто. Нами была найдена функция вида $\varphi=u^n$, позволяющая интегрирование выражения (35) при произвольном отрицательном или положительном целом n . В частности, при $n=-1$ получаем известную поверхность вращения – псевдосферу, при $n=-3$ меридианом поверхности является астроида.

ВЫВОД

Использование изометрических сетей на поверхностях дает возможность комфортно

отображать на них плоские изображения, выполненные в декартовой изометрической системе. Математическое описание каждого изображения осуществляется во внутренних координатах плоской изометрической сети дугами окружностей или кусками других линий. Внутренние уравнения этих линий подставляются в параметрические уравнения изометрической сети на поверхности и представляют собой математическое описание изображения на этой поверхности. Эти изображения можно строить в любом месте поверхности и масштабировать (увеличивать или уменьшать). В работе предложен способ разыскания изометрических сетей на известных поверхностях вращения либо же конструирования новых поверхностей вращения, которые можно отнести к изометрической сети координатных линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Askarov Yu.A. 1981: Postroenie liniy arhitekturnykh ornamentov na kriviykh poverhnostyakh / Yu.A. Askarov // Prikl. geometriya i inzh. grafika. – K.: Budivelnik1. – Vip. 32. – 94 – 96.
2. Yaschenko A.A. 1990: Otobrazhenie ploskikh risunkov na proizvolnuyu poverhnost / A.A. Yaschenko, S.N. Kamalov // Prikl. geometriya i inzh. grafika. – K.: Budivelnik. – Vip. 50. – 92 – 94.
3. Shepelev V.V. 2005: Vidobrazhennya ploschini na poverhnyu na osnovi topologichnoyi vidpovidnosti komirok koordinatnih sitok / V.V. Shepelev // Geometrichne ta komp'yuterne modelyuvannya – Harkiv: Harkivskiy derzhavniy universitet harchuvannya ta tovgivli. – Vip. 9. – 66 – 72.
4. Shepelev V.V. 2005: Vidobrazhennya ploschini na poverhnyu na osnovi topologichnoyi vidpovidnosti komirok koordinatnih sitok / V.V. Shepelev // Geometrichne ta kompyuterne modelyuvannya – Harkiv: Harkivskiy derzhavniy universitet harchuvannya ta tovgivli. – Vip. 9. – 66 – 72.
5. Pilipaka S.F. 2005: Konstruyuvannya ortogonalnih sitok na osnovi peretvoren funktsiyi kompleksnoyi zminnoyi / S.F. Pilipaka, V.V. Dzyuba, E.O. Chernishova // Agrotehnicniy naukovometodichniy zbirnik: zbirnik naukovih prats Nizhinskogo

СПОСОБ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

- agrotehnichnogo Institutu. – Nizhin: NATI. – 69 – 72.
6. Nesvidomin V.M. 2010: Vidobrazhennya napisiv na ploski izotermichni sitki / V.M. Nesvidomin, T.S. Kremets // Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika: pratsi Tavriyskogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu. – Vip. 4, t. 48. – Melitopol: TDATU. – 15 – 21.
7. Nesvidomin V.M. 2011: Vidobrazhennya pryamih i krivih liniy na plosku izometrichnu sitku polyarnoyi sistemi koordinat ta konstruyuvannya iz nih vizerunkiv / V.M. Nesvidomin, T.S. Kremets // Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika. – K.: KNUBA. – Vip. 87. – 285 – 290.
8. Pilipaka S.F. 2006: Konformne vidobrazhennya geometrichnih elementiv poverhni, vidnesenoyi do izoterichnih koordinat / S.F. Pilipaka, V.V. Dzyuba, E.O. Chernishova // Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu. – K.: NAU. – Vip. 101. – 194 – 199.
9. Kremets T.S. 2011: Konformne vidobrazhennya napisiv na izometrichni sitki konusa ta kuli / T.S. Kremets // Tehnichna estetika i dizayn. – K.: Vipol. – Vip. 9. – 112 – 117.
10. Pilipaka S.F. 2013: Forma osi gibkoy neshhimaemoy polosy pri ee tolkanii po naklonnoy sherohovatoy ploskosti s postoyannoy skorostyu / S.F. Pilipaka, V.N. Babka, T.N. Zaharova. – Motrol, 15. – № 4. – 198 – 205.
11. Adamchuk V.V. 2003: Teoretichne doslidgennya rozgonu mineralnih dobriv rozsiyuvanim organom / V.A. Adamchuk // Mehanizaciya i energetika silskogo gospodarstva: IV Mignarodna naukovotehnichna konferenciya MOTROL-2003. – K.: NAU. – Tom 6. – 113 – 126.
12. Bulgakov V.M. 2010: Teoriya dvigeniya chastici v centrobegnom visevayushem aparate / V.M. Bulgakov, S.F. Pilipaka, V. Pristupa. – Motrol, 12. – 122 – 131.
13. Vojtyuk D.G. 2003: Znahodgennya traektorii ruhu materialnoi tochki po gravitacijnij rozgortnij poverhni na prikladi rozgortnogo gelikoida / D.G. Vojtyuk, S.F. Pilipaka // Mehanizaciya i energetika silskogo gospodarstva: IV Mignarodna naukovotehnichna konferenciya MOTROL-2003. – K.: NAU. – Tom 6. – 113–126.
14. Pilipaka S.F. 2010: Doslidgennia ruhu chastinki po vnutrishnij poverhni pohilogo cilindra, sho obertaetsya navkolo vlasnoyi osi / S.F. Pilipaka, I.Y. Grishenko, T.S. Pilipaka. – Motrol. – Tom 12B. – 115 – 120.
15. Pilipaka S.F. 2010: Teoretichne viznachennya krivoyi pererizu tsilindrichnoyi vidbivayuchoyi poverhni deki luschnoyi mashini / S.F. Pilipaka, V.M. Babka. – Motrol. – Tom 12B. – 102 – 108.
16. Pylypaka S.F. 2002: Motion of a mass point on a helical ruled surface / S.F. Pylypaka // Proceedings of the 10th international conference on geometry and graphics. – Kyiv. – Volume 1. – 53 – 55.
17. Savelov A.A. 1960: Ploskie krivyie. Sistematika, svoystva, primneniya / A.A. Savelov. – M.: FIZMATGIZ. – 292.
18. Shikin E.V. 1997: Krivyie na ploskosti i v prostranstve. Spravochnik s prilozheniem disketyi «Ploskie krivyie» / E.V. Shikin, M.M. Frank-Kamenetskiy. – M.: FAZIS. – 336.
19. Milinskiy V.I. 1934: Differentsialnaya geometriya / V.I. Milinskiy. – L.: Kubuch. – 332.
20. Pilipaka S.F. 1993: Proektirovanie transportiruyuschih organov selhozmashin / S.F. Pilipaka // Povyishenie effektivnosti ispolzovaniya i nadezhnosti s.h. tehniki. – K.: USHA. – 10–15.

MODE OF ANALYTICAL MAP OF FLAT IMAGES ON CURVILINEAR SURFACES

Summary. Flat images of the geometrical and art form are presented analytically in Cartesian co-ordinate system. The interior equations of separate lines of the image referred to the Cartesian isometric web, are substituted in parametric equations of other isometric webs. Transformation is carried out at the expense of conformal mapping on various flat and space isometric webs.

Key words: isometric webs, conformal transformation, the flat image, the interior equation.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ МТА НА ДИЗЕЛЬНОМ БИОТОПЛИВЕ

Геннадий Голуб, Вячеслав Чуба

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Gennady Golub, Vyacheslav Chuba

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Приведены результаты моделирования зависимости эксплуатационных параметров работы МТА при применении дизельного биотоплива на основе метиловых эфиров жирных кислот.

Ключевые слова: динамика, тракторный агрегат, дизельное биотопливо.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Возможность реализации мощности трактора в составе машинно-тракторного агрегата (МТА) в тех или иных эксплуатационных условиях при применении соответствующих сельскохозяйственных машин и типа топлива остается главным эксплуатационным вопросом.

Энергетические показатели МТА при взаимодействии с рабочей средой изменяются в довольно широких пределах, что в свою очередь отражается на технико-экономических показателях, в первую очередь, расходе топлива и времени выполнения технологических операций. Решение вопроса взаимосвязи между параметрами МТА при выполнении технологических операций позволяет выполнить моделирование изменения основных показателей и получить данные для оптимизации его работы.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На необходимость определения правильного соотношения между мощностью, массой и рабочей скоростью сельскохозяйственных машин указывал еще В.П. Горячкин [1].

В работах [2, 3] МТА рассматривается как система твердых тел связанных между собой, как жесткими, так и упругими эле-

ментами, при работе которых вся система тел совершает поступательное движение, при этом силы и моменты представлены исходя из баланса мощности и вращательных моментов инерции масс. Уравнения движения агрегата и баланс его моментов в работе [4] представлены исходя из того, что приращение кинетической энергии равно работе всех сил действующих в точках приложения. Исследованию работы автотракторных двигателей большой вклад внес В.Н. Болтинский, который в работе [5] приводит уравнение, которое позволяет учесть неравномерность изменения динамических характеристик двигателя и моментов сопротивления агрегата на основе уравнения моментов инерции.

Особый интерес вызывает применение математической модели для прогнозирования изменения эксплуатационных показателей работы МТА при его переходе от использования дизельного топлива на дизельное биотопливо. В настоящее время проведен ряд теоретических исследований, которые направлены на моделирование процесса смесеобразования и сгорания дизельного биотоплива [6, 7, 8], разработана структурная схема адаптации МТА для использования альтернативного топлива [9]. В работе [10] получена зависимость тяговой силы МТА от типа топлива и его подачи, которая позволяет, исходя из геометрических параметров подачи топлива и его типа, определять силу тяги и крутящий момент на ведущих колесах трактора.

При применении дизельного биотоплива на основе метиловых эфиров жирных кислот, в сравнении с дизельным топливом при одинаковой нагрузке, наблюдается увеличение часового расхода топлива [11, 12, 13, 14], что связано с различиями физико-химических

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ МТА НА ДИЗЕЛЬНОМ БИОТОПЛИВЕ

свойств топлива. В большинстве случаев низшую теплоту сгорания дизельного биотоплива принимают на уровне 37,5 мДж/кг а дизельного топлива – 42,5 мДж/кг [15, 16, 17, 18]. Теплотворная способность дизельного биотоплива, так и дизельного топлива, может отличаться в ту или иную сторону, что необходимо учитывать при проведении исследований. В работах [19, 20] для оценки эффективности использования топлива предложено использовать комплексный критерий в расчет которого входит низшая теплота сгорания и расход топлива, однако не учитывается изменение эффективного коэффициента полезного действия двигателя.

Проведенный анализ литературных источников указывает на необходимость уточнения уравнения динамики МТА и приведения его к форме пригодной к практическому применению.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получить теоретическую зависимость эксплуатационных характеристик МТА при

изменении нагрузки и использовании различных типов топлив.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения поставленной задачи выполнен силовой анализ МТА (рис. 1.) и согласно второму закону Ньютона сформировано уравнение динамики его движения в зависимости от нагрузки:

$$m_{МТА} \frac{dV}{dt} = F_T - F_{OK} - F_{OP} - F_G, \quad (1)$$

где: $m_{МТА}$ – масса МТА в составе трактора и рабочей машины, кг; $\frac{dV}{dt}$ – линейное ускорение МТА, м/с²; dV – изменение скорости МТА, м/с; dt – изменение времени движения МТА, с; F_T – сила тяги трактора, Н; F_{OK} – сила на преодоление сопротивления качения при перемещении трактора, Н; F_{OP} – сила сопротивления воздуха при перемещении трактора, Н; F_G – сила тягового сопротивления рабочей машины, Н.

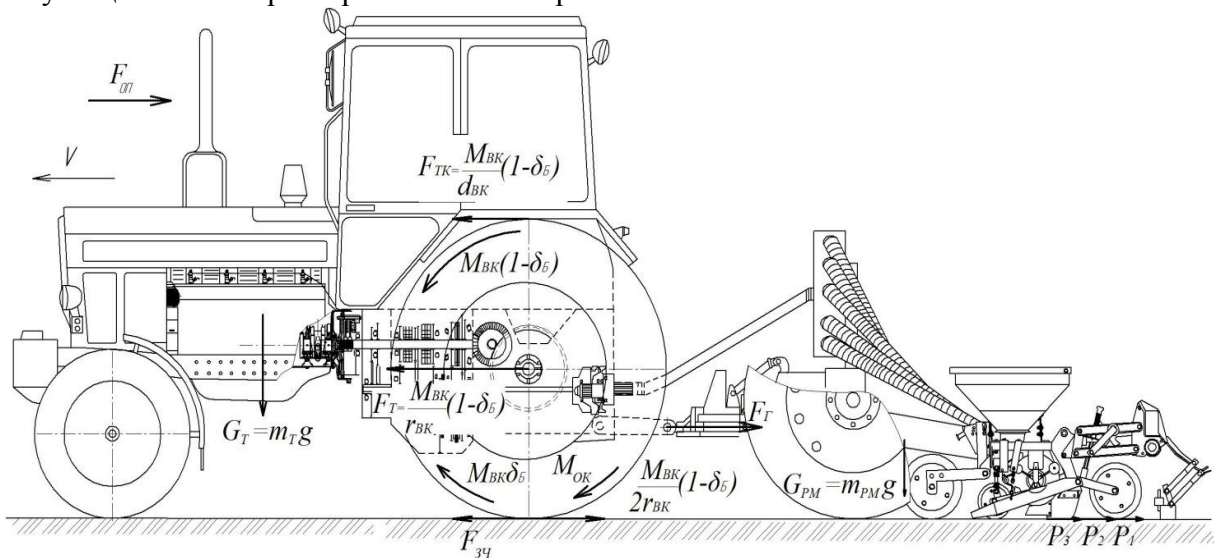


Рис. 1. Схема действующих моментов и сил на МТА: M_{BK} – крутящий момент ведущих колес, M_{OK} – момент на преодоления сопротивления качения, F_{TK} – сила тяги трактора от крутящего момента на колесе, F_T – сила тяги трактора, приведенная к оси колеса, F_{3q} – сила сцепления колес с поверхностью, F_G – сила тягового сопротивления рабочей машины, F_{OP} – сила сопротивления воздуха, G_T – вес трактора, G_{PM} – вес рабочей машины, β – коэффициент буксования ведущих колес.

Fig. 1. Diagram of forces acting on MTA: M_{OK} – torsion moments wheels, M_{OK} – moment to overcome the rolling resistance, F_{TK} – tractor of traction torque on the wheel, F_T – traction tractor, refer to the axis of the wheel, F_{3q} – strength of adhesion of the wheels with the surface, F_G – power of traction resistance of the working machine F_{OP} – the force of air resistance efficiency, G_T – weight of the tractor, G_{PM} – weight of the working machine, β – skip wheels coefficient.

Крутящий момент двигателя расходуется на обеспечение вращения привода рабочей машины через вал отбора мощности, формирование силы тяги, при этом некоторая его часть расходуется на потери, вызванные буксованием ведущих колес. С учетом этого можно записать:

$$M_{ДВ} = \frac{M_{ВВП}}{i_{ТРВВП} \eta_{ТРВВП}} + \frac{M_{ВК}(1 - \delta_B) + M_{ВК} \delta_B}{i_{ТРВК} \eta_{ТРВК}}, \quad (2)$$

где: $M_{ДВ}$ – крутящий момент двигателя, Н м; $M_{ВВП}$ – крутящий момент вала отбора мощности, Н м; $M_{ВК}(1 - \delta_B)$ – крутящий момент который тратится на формирование тяговой силы, Н м; $M_{ВК} \delta_B$ – крутящий момент, потерянный на буксование, Н м; δ_B – коэффициент потери мощности на буксование ведущих колес, от. ед.; $i_{ТРВК}$ – передаточное число трансмиссии от двигателя к ведущим колесам, од.; $\eta_{ТРВК}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии привода ведущих колес; $i_{ТРВВП}$ – передаточное число трансмиссии от двигателя к валу отбора мощности, од.; $\eta_{ТРВВП}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии вала отбора мощности, от. ед.

Сила тяги, приведенная к оси вращения колеса та остова трактора:

$$F_T = \frac{M_{ВК}(1 - \delta_B)}{r_{ВК}}, \quad (3)$$

где: $r_{ВК}$ – радиус ведущего колеса, м.

Величину крутящего момента, который расходуется на формирование силы тяги ведущих колес с учетом значений крутящего момента буксования, крутящего момента двигателя и крутящего момента на валу отбора мощности можно определить следующим образом:

$$M_{ВК}(1 - \delta_B) = \left(M_{ДВ} - \frac{M_{ВВП}}{i_{ТРВВП} \eta_{ТРВВП}} \right) \times (1 - \delta_B) i_{ТРВК} \eta_{ТРВК}. \quad (4)$$

Откуда сила тяги с учетом крутящего момента двигателя и крутящего момента рабочей машины на ВВП равна:

$$F_T = \frac{1}{r_{ВК}} \left(M_{ДВ} - \frac{M_{ВВП}}{i_{ТРВВП} \eta_{ТРВВП}} \right) (1 - \delta_B) i_{ТРВК} \eta_{ТРВК}. \quad (5)$$

Выразим крутящий момент двигателя в соответствии с общеизвестным выражением через эффективную мощность и угловую скорость коленчатого вала двигателя:

$$M_{ДВ} = \frac{N_E}{\omega}, \quad (6)$$

где: N_E – эффективная мощность двигателя, Вт.

Эффективная мощность двигателя, которую он развивает, может быть выражена через количество топлива, которое используется при его работе за единицу времени:

$$N_E = G Q_H \eta_E, \quad (7)$$

где: G – расход топлива, кг/с; Q_H – нижняя теплотворная способность топлива, Дж/кг; η_E – эффективный коэффициент полезного действия на дизельном топливе, от. ед.

Выразим расход топлива через цикловую подачу топливного насоса:

$$G = \frac{g_{ЦК} \omega i}{2\pi}, \quad (8)$$

где: $g_{ЦК}$ – подача топлива за один впрыск, кг; i – количество впрысков топлива за один оборот двигателя, об⁻¹,

Цикловая подача топливного насоса за один впрыск, исходя из геометрических параметров элементов топливного насоса, составляет:

$$g_{ЦК} = S_{ПЛ} l_{ПЛ} \rho_{П} k_{ПЛ}, \quad (9)$$

где: $S_{ПЛ}$ – площадь плунжерной пары, м²; $l_{ПЛ}$ – активный ход плунжера, м; $\rho_{П}$ – плотность топлива, кг/м³; $k_{ПЛ}$ – коэффициент подачи топлива плунжером топливного насоса, от. ед.

Крутящий момент двигателя с учетом характеристик топлива и топливоподачи:

$$M_{ДВ} = \frac{S_{ПЛ} l_{ПЛ} \rho_{П} k_{ПЛ} i Q_H \eta_E}{2\pi}. \quad (10)$$

Для обеспечения одинаковой тяговой силы при выполнении МТА технологических операций на заданной передаче, при одинаковых оборотах двигателя, как на дизельном так и на дизельном биотопливе, возможно при соблюдении следующего равенства:

$$S_{ПЛ} l_{ПЛДП} \rho_{ПДП} k_{ПЛДП} i Q_{НДП} \eta_{ЕДП} = S_{ПЛ} l_{ПЛДБП} \rho_{ПДБП} k_{ПЛДБП} i Q_{НДБП} \eta_{ЕДБП}, \quad (11)$$

где: $l_{ПЛДП}$ – активный ход плунжера на дизельном топливе, м; $l_{ПЛДБП}$ – активный ход плунжера на дизельном биотопливе, м; $\rho_{ПДП}$ – плотность дизельного топлива, кг/м³; $\rho_{ПДБП}$ – плотность дизельного биотоплива, кг/м³; $k_{ПЛДП}$ – коэффициент подачи дизельного топлива плунжером топливного насоса, от. ед.; $k_{ПЛДБП}$ – коэффициент подачи дизельного

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ МТА НА ДИЗЕЛЬНОМ БИОТОПЛИВЕ

биотоплива плунжером топливного насоса, от. ед.; $Q_{НДП}$ – нижняя теплотворная способность дизельного топлива, Дж/кг; $Q_{НДБП}$ – нижняя теплотворная способность дизельного биотоплива, Дж/кг; $\eta_{ЕДП}$ – эффективный коэффициент полезного действия двигателя на дизельном топливе, от. ед.; $\eta_{ЕДБП}$ – эффективный коэффициент полезного действия двигателя на дизельном биотопливе, от. ед.

Перейдя в равенстве (11) от геометрических параметров топливоподачи к часовому расходу топлива, получим значение фактического коэффициента эффективности использования дизельного биотоплива:

$$k_{ДБП} = \frac{G_{ДП}}{G_{ДБП}} = \frac{Q_{НДБП} \eta_{ЕДБП}}{Q_{НДП} \eta_{ЕДП}}, \quad (12)$$

где: $k_{ДБП}$ – фактический коэффициент эффективности использования дизельного биотоплива, от. ед.; $G_{ДП}$ – часовой расход дизельного топлива, кг/час; $G_{ДБП}$ – часовой расход дизельного биотоплива, кг/час.

В идеальном случае максимальное значение коэффициента эффективности использования дизельного биотоплива будет определяться фактическим соотношением низших теплотворных способностей дизельного биотоплива и дизельного топлива:

$$k_{ДБП}^{\max} = \frac{Q_{НДБП}}{Q_{НДП}}, \quad (13)$$

где: $k_{ДБП}^{\max}$ – максимальный коэффициент эффективности использования дизельного биотоплива, от. ед.

Коэффициент уменьшения эффективности использования дизельного биотоплива по сравнению с дизельным топливом определяется из выражения:

$$k_{ЗМДБП} = \frac{k_{ДБП}}{k_{ДБП}^{\max}} = \frac{\eta_{ЕДБП}}{\eta_{ЕДП}}, \quad (14)$$

откуда:

$$\eta_{ЕДБП} = \eta_{ЕДП} k_{ЗМДБП}, \quad (15)$$

где: $k_{ЗМДБП}$ – коэффициент уменьшения эффективности использования дизельного биотоплива по сравнению с дизельным топливом, от. ед.

Следует учитывать также, что эффективный коэффициент полезного действия двигателя на дизельном топливе меняется в зависимости от режима работы двигателя в достаточно широких пределах, поэтому для

получения достоверных данных, в уравнение динамики, необходимо ввести зависимость изменения коэффициента полезного действия двигателя от угловой скорости вращения коленчатого вала. Для двигателя Д-245.7Е2 она аппроксимирована зависимостью:

$$\eta_{ЕДП} = \alpha \omega^2 + \beta \omega + \gamma, \quad (16)$$

где: α , β , γ – коэффициенты аппроксимации ($\alpha = -0,00000617$, $\beta = 0,001781$, $\gamma = 0,271482$).

Уравнение (1) с учетом типа топлива, геометрических параметров топливоподачи и эксплуатационных параметров агрегата, передаточного отношения трансмиссии, изменения эффективного коэффициент полезного действия двигателя в зависимости от режима работы двигателя и параметров, характеризующих агротехнологическую среду, приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} & \frac{(m_T + m_{PM}) r_{BK} (1 - \delta_B) d\omega}{i_{ТРВК} dt} = \\ & = \left(\frac{S_{ПД} l_{ПД} \rho_{ПД} k_{ПД} i Q_H (\epsilon \omega^2 + \beta \omega + \gamma) k_{ЗМДБП}}{2\pi} - \right. \\ & - \left. \frac{H_{PM} Q_{PM}}{\eta_{PM} \omega_{PM} i_{ТРВВП} \eta_{ТРВВП}} \right) r_{BK}^{-1} (1 - \delta_B) \eta_{ТРВК} i_{ТРВК} - \\ & - f m_T g - \frac{k_{ОБТ} S_{ЛОБ} \omega^2 r_{BK}^2 (1 - \delta_B)^2}{i_{ТРВК}^2} - \\ & - f' m_{PM} g - kab - \\ & - \theta ab \left[\frac{\omega}{i_{ТРВК}} r_{BK} (1 - \delta_B) \right]^2, \quad (17) \end{aligned}$$

где: H_{PM} – давление создающееся вентилятором рабочей машины, Па; Q_{PM} – объемный расход воздуха вентилятора рабочей машины, м³/с; η_{PM} – коэффициент полезного действия вентилятора рабочей машины; от. ед.; ω_{PM} – угловая скорость вращения вала рабочей машины рад/с; f – коэффициент сопротивления качению колес, от. ед.; g – ускорение свободного падения, м/с²; $k_{ОП}$ – коэффициент сопротивления воздуха, Н с²/м⁴; $S_{ЛОБ}$ – площадь лобового сопротивления МТА, м²; f' – суммарный коэффициент трения, который включает трение орудия о почву и трение качения опорного колеса рабочей машины, от. ед.; k – удельное сопротивление деформации грунта, Н/м²; a – ширина обрабатываемого пласта, м; b – глубина обрабатываемого пласта, м; θ – коэффициент который

учитывает соотношение скорости откидывания пласта и скорости, $\text{Нс}^2/\text{м}^4$.

Решение полученного уравнения динамики движения МТА, приведенное к угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя, имеет следующий вид:

$$\omega = \frac{1}{2P} \left[J \left(\frac{2P\omega_{\Pi} + L + J \frac{(1-e^{-J})}{(1+e^{-J})}}{(2P\omega_{\Pi} + L) \frac{(1-e^{-J})}{(1+e^{-J})} + J} \right) - L \right], \quad (18)$$

где: ω_{Π} – начальная частота вращения коленчатого вала двигателя, рад/с; ω – конечная частота вращения коленчатого вала двигателя, рад/с

Полученное уравнение описывает динамику изменения угловой скорости коленчатого вала двигателя при изменении внешних параметров, которые характеризуют работу МТА при выполнении технологических операций и характеристик топлива. Данное выражение содержит постоянные величины дифференциального уравнения, которые зависят только от топливоподачи и вида топлива – L (с^{-1}), а также от топливоподачи, вида топлива и нагрузки МТА – P (от. ед.) и J (с^{-1}).

На базе полученной математической модели динамики движения МТА и ее решения выполнены расчеты изменения эксплуатационных параметров МТА на базе трактора Кий-14102 с двигателем Д-245, на выполнении технологической операции пахоты. Получены зависимости изменения угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя, скорости движения МТА (рис. 2) и расхода топлива в зависимости от типа топлива, изменения нагрузки и параметров топливоподачи (рис. 3).

Проведенные теоретические исследования показали, что при одинаковой нагрузке и ее изменениях, для разных типов топлива, изменение скоростных характеристик двигателя и МТА происходят по одинаковому закону, при этом следует отметить различие в расходе топлива. Эти отличия при работе на дизельном топливе и дизельном биотопливе в первую очередь связаны с различиями их низших теплотворных способностей и плотности, а также коэффициента полноты сгорания, который для дизельного биотоплива также зависит от температуры топлива перед впрыском в цилиндр двигателя.

На рис. 2 с первой по пятую секунду изображены начальные прямолинейные участки угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя и движения МТА, отвечающие равномерному движению агрегата по полю при установившейся нагрузке. Расход топлива на данных скоростных режимах для различных типов топлива показан на рис. 3.

Далее, смоделировано увеличение удельного сопротивления деформации почвы и усилия на отбрасывание пласта при неизменной подаче топлива. На практике это соответствует внезапному изменению плотности, влажности и типа почвы, и приводит к внезапному увеличению тягового сопротивления рабочей машины. Повышение тягового сопротивления агрегата приводит к снижению оборотов двигателя из-за его перегрузки, соответственно происходит уменьшение часового расхода топлива на фоне уменьшения скорости движения агрегата, что в свою очередь приводит к уменьшению его тягового сопротивления. Повышение тягового сопротивления агрегата приводит к снижению оборотов двигателя из-за его перегрузки, соответственно происходит уменьшение часового расхода топлива на фоне уменьшения скорости движения агрегата, что в свою очередь приводит к уменьшению его тягового сопротивления.

Как следствие такая система пытается найти свое новое равновесное состояние, если оно наступит при параметрах, которые находятся в рабочем диапазоне двигателя внутреннего сгорания, то МТА стабилизирует движение при меньшей скорости перемещения и частоте вращения двигателя, а также меньшем часовом расходе топлива. Ход этого процесса наблюдается на графиках рис. 2 и рис. 3 с 5 по 23 секунду. Увеличение тягового сопротивления агрегата приводит к уменьшению рабочей скорости МТА, что в свою очередь отражается на производительности работы агрегата за единицу времени и может привести к снижению качества выполнения агротехнических требований к технологической операции, например неполному обороту пласта почвы или недостаточному ее разрушению. Повышения скорости движения МТА при неизменной подаче топлива, можно достичь уменьшением тягового

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ МТА
НА ДИЗЕЛЬНОМ БИОТОПЛИВЕ

сопротивление агрегата за счет уменьшения глубины обработки или ширины захвата. Первое недопустимо по агротехническим

требованиям, второе приведет к уменьшению производительности.

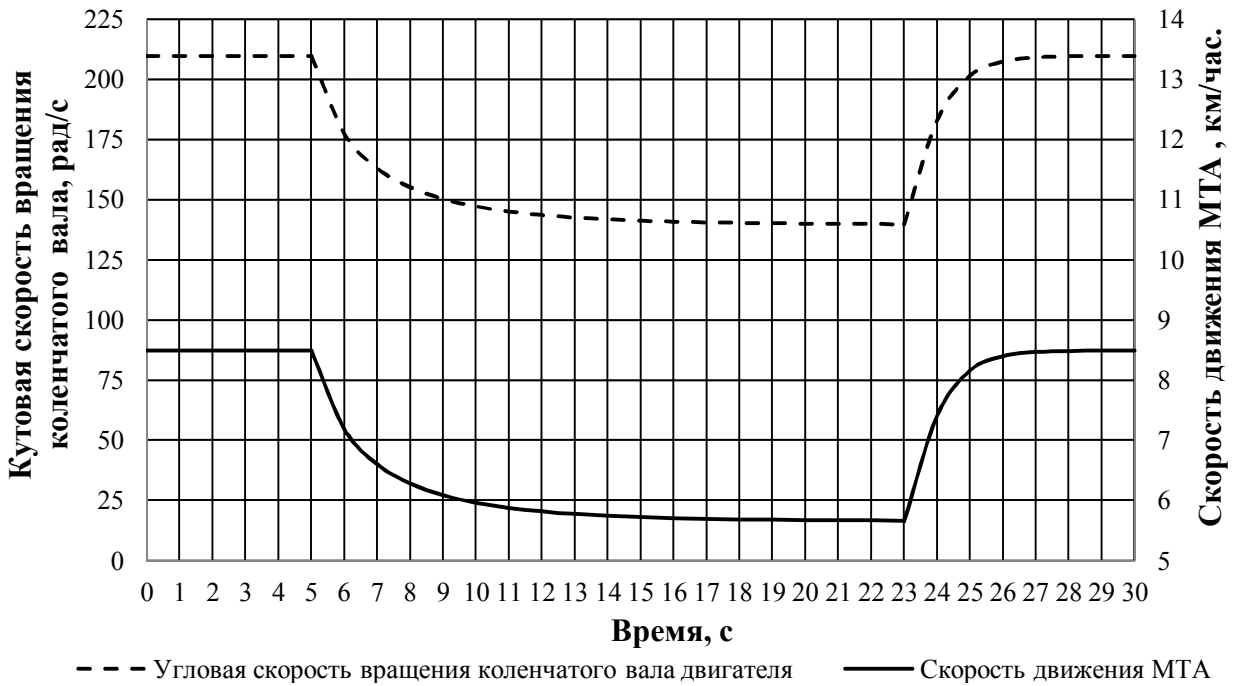


Рис. 2. Динамика изменения скоростных характеристик двигателя та МТА в зависимости от изменения нагрузки та подачи топлива

Fig. 2. Dynamics of change of rate characteristics of the engine and MTA depending on load change and fuel supply

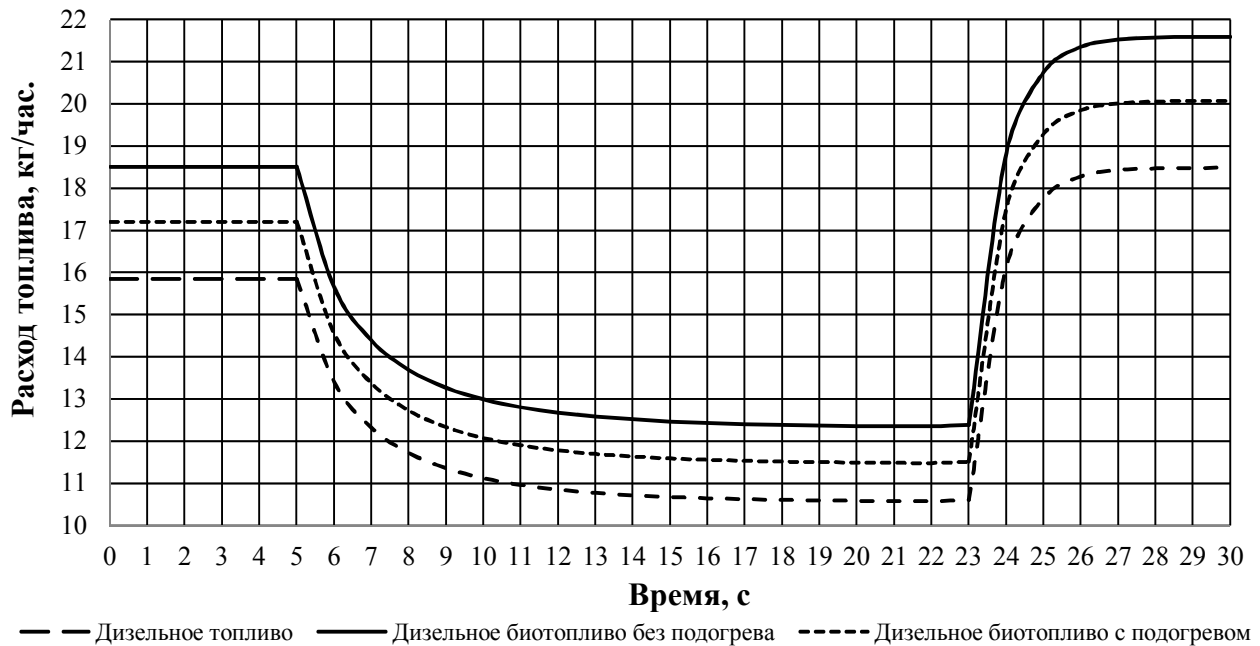


Рис. 3. Динамика изменения расхода топлива при изменении загрузки на различных типах топлива

Fig. 3. Dynamics of change in fuel consumption by changing load on different types of fuel

Поэтому для достижения соответствующей производительности и обеспечения выполнения агротехнических требований увеличение рабочей скорости движения МТА может быть достигнуто только путем увеличением подачи топлива. Увеличение подачи топлива приведет к увеличению угловой частоты вращения двигателя и мощности, которую развивает двигатель. Как следствие произойдет увеличение скорости и соответственно увеличение тягового сопротивления агрегата. Следует отметить, что динамические характеристики, приведенные на рис. 2 и рис. 3, соответствуют режимам работы МТА при использовании топливного насоса высокого давления с жесткой фиксацией рейки топливного насоса или с двух режимным регулятором, который работает при пуске и частоте вращения двигателя выше максимально допустимой. Сегодня большинство насосов высокого давления отечественной сельскохозяйственной техники оборудованы всережимными центробежными регуляторами, которые при снижении угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя автоматически увеличивают цикловую подачу топлива и наоборот. Однако, при их использование не удовлетворяются соблюдение экологических требований к работе двигателя на переходных режимах, ведь с уменьшением оборотов двигателя происходит уменьшение наполнения воздухом цилиндров, за счет уменьшения скорости движения поршня и соответственно скорости впускного заряда, с одновременным увеличением количества топлива, которое впрыскивается в цилиндр, что приводит к резкому ухудшению экологических показателей работы двигателя. Характеристика изменения цикловой подачи в топливных насосах высокого давления с центробежными регуляторами механического действия достаточно сложная и зависит от многих конструктивных параметров и поэтому ее введение в данную математическую модель (17) является достаточно сложной математической задачей. Также следует заметить, что всережимные регуляторы современных систем топливоподачи двигателей внутреннего сгорания базируются на компьютерном управлении впрыском топлива. При этом, необходимая доза топлива при впрыске вы-

числяется исходя из данных о количестве воздуха, которое поступило в цилиндр двигателя, согласно соответствующего закона и может с легкостью быть интегрировано в существующую математическую модель для расчета эксплуатационных параметров работы МТА.

ВЫВОД

Получена математическая модель зависимости динамики движения МТА от изменения параметров агротехнологической среды и типа топлива, позволила установить, что динамика движения МТА не зависит от типа топлива. Переходной процесс при изменении нагрузки составил 18 секунд, при разгоне до начального скоростного режима – 7 секунд. Установлено также, что во время переходного процесса, вызванного увеличением нагрузки на агрегат, скорость МТА уменьшается с 8,5 до 5,67 км/час. При этом, происходит уменьшение расхода топлива на 33,27 %. Для дизельного топлива расход уменьшается с 15,85 до 10,57 кг/час, для дизельного биотоплива без подогрева – с 18,51 до 12,35 кг/час, для дизельного биотоплива при применении подогрева – с 17,21 до 11,48 кг/час. Для выхода агрегата на начальную скорость движения (8,5 км/час) необходимо увеличить подачу топлива на 16,65 % относительно начального расхода топлива или на 74,88 % относительно величины подачи топлива при скорости 5,67 км/час.

ЛИТЕРАТУРА

1. Goryachkin V.P. 1968: Sobraniye sochineniy v 3 tomakh / V.P. Goryachkin. [Pod red. N.D. Luchinskogo]. – 2-e izdaniye – M.: Kolos.
2. Traktory 1985: Traktory i avtomobili / Pod redaktsiyey V.A. Skotnikova. – M.: Agropromizdat, 1985. – 440.
3. Osnovy 1962: Osnovy teorii traktora i avtomobilya / D.A. Chudakov. – M.: Selkhozizdat. – 312.
4. Svirshchevskiy B.S. 1958: Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka / B.S. Svirshchevskiy // Uchebnyk dlya intov i fak. mekhanizatsii i elektrifikatsii s.kh. – M.: Selkhozgiz. – 660.
5. Boltinskiy V.N. 1949: Rabota traktornogo dvigatelya pri neustanovivsheysya nagruzke / V.N. Boltinskiy. – M.: Selkhozgiz. – 216.

6. Anisimov V.G. 2012: Teoretichne doslidzhennya parametriv sumishoutvorenniya v dizeli pri roboti na biopalivi metodom malikh vidkhilen parametriv / V.G. Anisimov, V.G. Semenov, V.B. Ryaboshapka // Zbirnik Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu: Tekhnichni nauki. – Vip. № 10, T. 1 (58). – 6–10.
7. Chernenko S.M. 2007: Yekonomichni ta yenergetichni pokazniki roboti dizelnogo dviguna pri vikoristanni biopaliva z ripaku. / Chernenko S.M., Atamas A.I. // Visnik Kremen. derzh. polit. universitetu im. M. Ostrogradskogo. Naukovi pratsi KDPU im. M. Ostrogradskogo. – Kremenchuk: KDPU im. M. Ostrogradskogo. – Vip. 2/2007(43) Chastina 2. – 85 – 89.
8. Khomenko I.M. 2012: Osoblivosti teplovogo rozrakhunku dizelya, priznachenogo dlya roboti na biologichnomu palivi / I.M. Khomenko, A.K. Kobrinets // Visnik ChDTU. Seriya "Tekhnichni nauki": naukoviy zbirnik. – № 4 (61). – 92–100.
9. Selivanov N.I. 2008: Struktura sistemy adaptatsii ekspluatatsionnykh parametrov mashinno-traktornogo agregata k ispolzovaniyu alternativnogo topliva / N.I. Selivanov, D.A. Sannikov // Vestnik KrasGAU. – Krasnoyarsk: [KrasGAU]. – Vyp. 1. – 183 – 188.
10. Golub G.A. 2013: Vznachennya tyagovoi sili yenergozasobiv pri roboti na dizelnomu biopalivi / G.A. Golub, V.V. Chuba // Mizhvid. temat. nauk. zb. NNTs "IMESG" NAAN "Mekhanizatsiya ta elektrifikatsiya silskogo gospodarstva". – Glevakha: NNTs «IMESG». – Vip. 98, t.2. – 135–144.
11. Chernenko S.M. 2007: Ekonomichni ga energetichni pokazniki roboti dizelnogo dviguna pri vikoristanni biopaliva z ripaku / S.M. Chernenko, A.G. Atamas // Visnik Kremenchuc'kogo derzhavnogo politehnichnogo universitetu im. M. Ostrogradskogo. – Kremenchuk. – Vip. 2, ch. 2. – 85–89.
12. Parsadanov I.V. 2005: Rezultaty issledovaniy pokazately topivnoy ekonomichnosti i toksichnosti otrabotavshikh gazov dizelya pri rabote na rapsovometilovom efire // Vestnik nauki i tekhniki. – KhNTU (KhPI). – Vyp.1. – 21–26.
13. Voytov V.A. 2009: Tekhniko-ekspluatatsiyni ta yekologichni pokazniki dizelnikh dviguniv pri zastosuvanni biodizelya / Voytov V.A., Karnaukh M.V., Datsenko M.S. // Tekhnika i tekhnologii APK. – № 1. – 13–18.
14. Popov D.V. 2011: Pokrashchennya ekologichnikh pokaznikiv dizelnikh dviguniv / Popov D.V., Linnik I.I. // Visnik Donetskoj akademii avtomobilnogo transportu. – №4. – 79–82.
15. Semenov V.G., Chernenko S.M., Atamas A.I. 2010: Vznachennya nizhchoi teploti zgoryannya biodizelnogo paliva za khromotografichnimi danimi // Visnik Kremen. derzh. universitetu im. M. Ostrogradskogo. Naukovi pratsi KDU im. M. Ostrogradskogo. – Kremenchuk: KDU im. M. Ostrogradskogo, – Vip. 2/2010 (61) Chastina 1. – 87 – 91.
16. Vasilyev I.P., Khayling A., Kayzer M., Dinkelyaker F. Vliyaniye svoystv biotopliv na kharakteristiki vpryskivaniya v kameru s postoyannym davleniyam // Dvigateli vnutrenego zgoraniya. – 2011. – №2. – 37–41.
17. V. Polishchuk, V. Dubrovin, A. Polishchuk 2012: Alternativnyye dizelnyye topliva // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – T. 14. – 20–31.
18. Viktor Zakharchuk, Valentina Tkachuk 2010: Biodizelnoye toplivo na osnove izopropilovykh efirov rapsovogo masla // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin. T. 12. – 188–193.
19. Pilipenko O.M. 2010: Kompleksniy kriteriy otsinki yefektivnosti biopaliv u dizelyakh / Pilipenko O.M., Shlonchak I.A., Ogiy Yu.V. // Visnik VNTU. – №2. – 86–88.
20. Selivanov N.I. 2008: Effektivnost proizvodstva i ispolzovaniya biotopлива na osnove rapsovogo masla v traktornykh dizelyakh / N.I. Selivanov, A.A. Dorzheyev // Vestnik KrasGAU. – Krasnoyarsk : [KrasGAU]. – Vyp. 4. – 236 – 241.

**MATHEMATICAL MODELLING
OF WORK PERFORMANCE
INDICATORS FOR MACHINE-TRACTOR
UNITS WITH USING BIODIESEL**

Summary. The mathematical modeling is given and theoretical curves obtained changing the operating parameters of the machine-tractor units when the load changes and the use of biodiesel on the basis of fatty acid methyl esters of vegetable oil.

Key words: dynamics, machine-tractor units, biodiesel.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Александр Дзюб¹, Владислав Сухенко², Валерий Мануилов³, Юрий Сухенко²

¹Национальный университет пищевых технологий

Украина, г. Киев, ул. Владимирская, 68

²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

³Керченский государственный морской технологический университет

Украина, АР Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82

Aleksandr Dzub¹, Vladyslav Sukhenko², Valeriy Manuilov³, Yuriy Sukhenko²

¹National University of Food Technologies

Str. Vladimirskaia, 15, Kiev, Ukraine

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

³Kerch State Maritime Technological University

Str. Ordzhonikidze, 82, Kerch, Ukraine

Аннотация. Методика исследования коррозионно-механического изнашивания металлических конструкционных материалов в агрессивных технологических средах – электролитах пищевых производств и возможность управления процессами разрушения металлов.

Ключевые слова: пищевые среды, электролиты, трение, износ, поляризация, потенциал, методика, износостойкость, коррозия.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Определить роль электродного потенциала в процессах трения и изнашивания материалов и показана возможность управления процессами деформирования и разрушения металлов при помощи поляризации фрикционных систем.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Многие трущиеся детали оборудования пищевой и перерабатывающей промышленности находятся в непосредственном контакте с технологическими средами – электролитами, к которым относятся различные кислые и щелочные среды, солевые нейтральные растворы, воды с различным химическим составом, пищевые продукты и полупродукты [1, 2].

При трении металлов в растворах электролитов двухфазная (металл-раствор) или трехфазная (металл 1 – раствор – металл 2) системы должны рассматриваться как специфические электрохимические, к которым применимы соответствующие электрохимические законы и методы исследования. Поэтому методика исследования коррозионно-механического изнашивания должна учитывать электрохимический механизм процесса, что может быть основой для разработки методов повышения работоспособности трибосопряжений оборудования отрасли.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Теоретически обосновать и экспериментально проверить методику исследования изнашивания металлических материалов в коррозионно-активных технологических средах пищевых и перерабатывающих производств.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Особенность трения металлов в жидких электропроводных пищевых средах заключается в том, что этот процесс зависит от электродных потенциалов φ их поверхностей, измеренных по отношению к некоторому электроду сравнения, – фундаменталь-

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО
ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ
ПРОИЗВОДСТВ

ной характеристики электрохимических систем [3, 4].

Известно, что химические свойства большинства кристаллических материалов определяются поведением дислокаций. Следовательно, влияние среды на механические свойства твердых тел может быть связано с ее взаимодействием с дислокациями на поверхности [5, 6]. Особенности условий, создающихся на границе твердого тела, определяются наличием свободной поверхностной энергии. В настоящее время представление о прочности твердых тел как о величине, пропорциональной их поверхностной энергии, общепринято. Именно понижение поверхностной энергии лежит в основе известного эффекта Ребиндера. Влияние среды на процесс деформации металлов обычно начинается с уменьшения поверхностной энергии при физической адсорбции, что является первичным актом [3, 6, 7]. В дальнейшем на этот процесс накладываются вторичные явления – химические, электрохимические, физические и др. Пластическая деформация твердых тел способствует проявлению механохимического эффекта [8, 9], заключающегося в облегчении химических реакций между внешней средой и металлом. Когда эти процессы протекают в средах – электролитах, большую роль играют электрохимические явления в системе металл-раствор электролита. Металлический электрод, погруженный в электролит, электрически заряжается относительно раствора, что приводит к возникновению разности потенциалов. Согласно уравнению Гиббса-Липпмана, σ может быть определена из выражения [10]:

$$d\sigma = -\epsilon d\varphi - \sum \Gamma_i d\mu_i, \quad (1)$$

где: σ – свободная энергия поверхности электрода;

ϵ – электрический заряд единицы поверхности электрода;

Γ_i – адсорбция i -го компонента раствора;

μ_i – химический потенциал раствора.

При $\varphi = \text{const}$ приведенное уравнение переходит в адсорбционную формулу Гиббса:

$$\sigma = -\sum \Gamma_i d\mu_i, \quad (2)$$

на основе которой и объясняется снижение свободной энергии поверхности, приводящее к проявлению эффекта Ребиндера. При по-

стоянном составе раствора получаем уравнение Липпмана:

$$d\sigma = -\epsilon d\varphi, \quad (3)$$

которое описывает форму электрокапиллярных кривых и устанавливает связь между поверхностной энергией, потенциалом и зарядом. Из уравнения (3) видно, что изменения σ можно добиться изменением φ независимо от присутствия поверхностно активных веществ (ПАВ) в растворе. В соответствии с уравнением (3) в чистом растворе поверхностная энергия максимальна при нулевом заряде поверхности электрода ($d\sigma/d\varphi = 0$). φ_0 называется потенциалом нулевого заряда и играет большую роль в процессах адсорбции. В работах [10, 11] показано, что адсорбция органических соединений на электроде может происходить только вблизи φ_0 . При смещении потенциала электрода от φ_0 или при адсорбции ПАВ твердость металла снижается.

Величины φ при трении могут значительно отличаться от φ , измеренных в статических условиях. Во-первых, это связано с механическим удалением поверхностных пленок (процесс зачистки) [8, 12], во-вторых, при трении образуются вторичные структуры, также сдвигающие φ в положительную или отрицательную область [13]. И наконец, большое влияние на сдвиг φ может оказать пластическая деформация. Разность в величине φ на дислоцированных атомах и атомах совершенной кристаллической решетки составила 0,11-0,22 В [14].

Для успешного изучения электрохимических процессов при коррозионно-механическом изнашивании необходимо измерять φ , токи поляризации, токи саморазтворения и другие важнейшие электрохимические характеристики. В настоящее время разработан ряд методов для исследования электрохимических явлений при трении, базирующихся на достижениях современной электрохимии. Влияние φ на трение металлов может успешно изучаться с помощью потенциостатов – приборов, автоматически поддерживающих φ на заданном уровне или изменяющих его по определенной программе. Потенциостатические исследования трения металлов в средах электролитов позволяют изучать влияние φ на механические

характеристики трения (износ, коэффициент трения и др.), снимать поляризационные кривые, позволяющие получать существенную информацию о кинетике электрохимических процессов при трении. На рис. 1 представлена одна из возможных схем, используемых при потенциостатическом методе исследования. В данном случае применена схема торцевого трения, когда образец 1 вращается относительно прижатого к нему с нагрузкой P неподвижного цилиндрического образца 2.

Поляризация системы и электрохимические измерения производятся с помощью электрохимической ячейки, представляющей собой трехэлектродную систему. Она состоит из исследуемого электрода (ИЭ) – образца 2 (или 1), электрода сравнения (ЭС) (например, хлорсеребряного), по отношению к которому измеряется ϕ , и вспомогательного платинового электрода 3 (ВЭ), образующего с ИЭ цепь поляризации. Измеряются ϕ и снимаются поляризационные кривые с помощью потенциостата 6 (например, марки П-5827М) и потенциометра 7 (КСП-4). Система снабжена динамометром для измерения момента трения (на рисунке не показан). С методической точки зрения в таких исследованиях очень важен правильный подвод ЭС. Как показатели проведенные нами исследования, наиболее достоверные результаты могут быть получены при подводе ЭС непосредственно к поверхности трения через сквозное отверстие в исследуемом образце, что и было сделано с помощью пластмассовой трубки 4. Для получения сопоставимых результатов при использовании метода необходимо обязательно поддерживать постоянную величину развертки потенциала.

Если вместо верхнего металлического образца поставить шлифовальный круг или абразивную шкурку, то будет реализован широко известный метод зачистки поверхности металла под раствором [8, 9]. С его помощью измеряется потенциал зачистки ϕ_z , т.е. ϕ ювенильной поверхности металла, освобожденной от пленок. Сопоставление ϕ_z и потенциала трения $\phi_{тр}$ характеризует поведение пленок, образующихся на трущихся поверхностях. Если $\phi_{тр}$ приближается к ϕ_z , то это свидетельствует об удалении пленок под воздействием трения, что может

привести к схватыванию поверхностей. Наоборот, увеличение разности между $\phi_{тр}$ и ϕ_z указывает на наличие защитных пленок, предотвращающих схватывание, и влечет за собой снижение интенсивности изнашивания. На основе этого можно утверждать, что при подборе пар трения разность ($\phi_z - \phi_{тр}$) должна быть максимальной. Потенциалы зачистки и трения изучались в различных условиях [13] и было показано, что при трении металлов в электролитах они являются такой же важной характеристикой, как твердость или предел прочности при оценке механических свойств металлов.

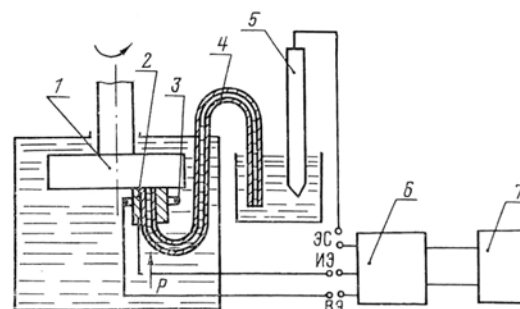


Рис. 1. Схема установки для исследования процесса трения металлов в электропроводных пищевых средах потенциостатическим методом

Fig. 1. Apparatus for studying the process of friction of metals in conductive of food environments potentiostatic method

Существенную информацию о кинетике электродных процессов при трении металлов можно получить с помощью поляризационных кривых. Такие кривые при трении снимались в ряде работ [2, 8, 13]. Как известно [10], любой электродный процесс состоит из ряда последовательных стадий, а его скорость определяется скоростью наиболее медленной из них, с которой и связано возникновение электродной поляризации. Установление природы поляризационных кривых замедленной стадии (транспортировка участников реакции, их разряд или др.) является одной из главных задач электрохимической кинетики при трении металлов. Для ее решения с успехом может быть использован метод сопоставления поляризационных кривых, снятых при зачистке и без зачистки поверхности, что позволяет получить полезную информацию о ее состоянии и о характере тормозящих стадий электродного процесса [4, 15]. Обновление поверхности обычно

устраняет его торможение, вызванное образованием адсорбционных и фазовых пленок, и не оказывает существенного влияния на электродную стадию передачи заряда. Применительно к проблемам изнашивания данный метод должен быть дополнен изучением механических характеристик трущихся металлов, что позволит установить связь между электрохимическими и механическими параметрами трения. На рис. 2 приведены анодные поляризационные кривые, снятые при шлифовании с разной скоростью стали 45 в среде 1 н. Na_2SO_4 (пищевая добавка Е 514 и моющее средство) с микроподачей шлифовального круга $s=5\text{мкм/мин}$.

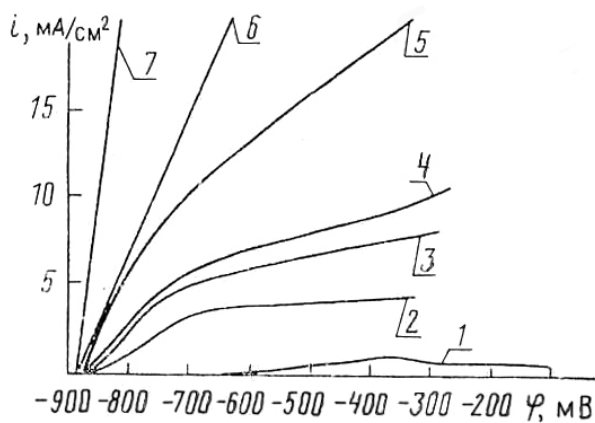


Рис. 2. Влияние скорости зачистки поверхности на характер анодных поляризационных кривых: 1 – без зачистки; 2 – $v = 0,4$ м/с; 3 – 0,8; 4 – 3,2; 5 – 4,8; 6 – 6,4; 7 – 11 и 12

Fig. 2. Effect of the stripping surface nature of the anode polarization curve

Эти опыты позволили установить критическую скорость ($v = 11$ м/с), превышение которой уже не приводит к дальнейшему сдвигу поляризационных кривых. При $v < 11$ м/с кинетика электродных процессов во многом определяется скоростью образования пленок, что особенно заметно в зоне скоростей 0,4 – 3 м/с. При увеличении частоты вращения шлифовального круга скорость обновления поверхности постепенно начинает превосходить скорость образования пленок, и кинетика электродных процессов, по-видимому, определяется стадией передачи заряда. Аналогичным путем можно определить критическую нагрузку при разных ее сочетаниях со скоростью процесса. Так как трение всегда сопровождается перемешива-

нием жидкости, не обходимо снимать поляризационные кривые и при перемешивании, что позволит выявить его вклад в характер электродных процессов на фрикционном контакте. Для правильного выбора износостойких материалов, работающих в условиях коррозионно-механического изнашивания, а также для изучения природы этого процесса большое значение имеет определение действительной скорости коррозии при трении. Первая попытка оценить коррозионные потери при трении была сделана в работе [16] с помощью поляризационных кривых. Более точным является метод линейной экстраполяции реальных поляризационных кривых [17, 18], снятых при трении. Сущность метода сводится к тому, что катодные и анодные поляризационные кривые снимают непосредственно на образце, коррозия которого изучается. Затем их строят в полулогарифмических координатах и экстраполируют линейные (тафелевские) участки до точки пересечения (точки А, В, С на рис. 3), абсциссой которой будет стационарный потенциал, а ординатой – логарифм плотности тока электрохимического саморастворения металлов (ток коррозии). Хорошие результаты получены нами в условиях трения (рис. 3). Видно, что скорость коррозии, по сравнению со скоростью коррозии в статических условиях, возросла при перемешивании примерно в 19, а при трении – в 30 раз. Недостатком метода является трудность нахождения линейных участков, что определяет точность экстраполяции. При трении металлов, вследствие непрерывного изнашивания контактных поверхностей скорость электрохимической коррозии может изменяться во времени. Поэтому возникает необходимость измерения не средней, а мгновенной скорости коррозии. Наиболее удачным для этого является широко известный в электрохимии метод поляризационного сопротивления [10], в основе которого лежит наблюдающаяся обратная пропорциональность между скоростью коррозии i_k и тангенсом угла наклона касательной к поляризационной кривой $\varphi - i$ вблизи стационарного φ :

$$\left(\frac{d\varphi}{di}\right)_{\varphi=\varphi_{\text{ст}}} = k_1 \cdot \frac{1}{i_k}, \quad (4)$$

где: $d\phi/di$ – тангенс угла наклона касательной к поляризационной кривой;
 $\phi_{ст}$ – стационарный потенциал;
 i_k – скорость коррозии;
 k_1 – коэффициент пропорциональности.
 Величина $(d\phi/di)_{\phi=\phi_{ст}} = R_{П}$, отсюда

$$i_k = k_1 \cdot \frac{1}{R_{П}}$$

где: $R_{П}$ – поляризационное сопротивление.

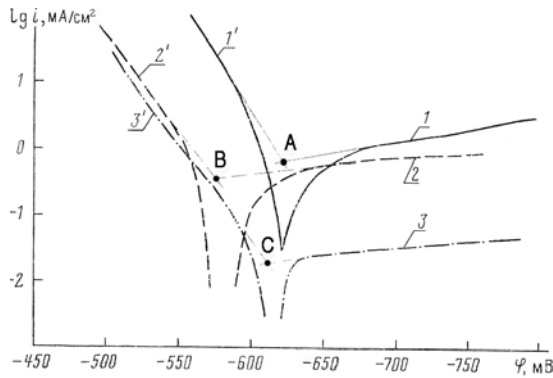


Рис. 3. Определение скорости коррозии экстраполяции линейных участков анодных (1', 2', 3') и катодных (1, 2, 3) поляризационных кривых для пары трения сталь Р18 – сталь 45 в 0,5 н. Na₂SO₄: 1,1' – трение ($\sigma=0,2$ МПа, $v=0,8$ м/с); 2,2' – перемешивание ($p=0,8$ м/с); 3,3' – статика (образцы в контакте под давлением $p=0,2$ МПа)

Fig. 3. Determination of the linear extrapolation of rate of corrosion of anode portions (1', 2', 3') and the cathode (1, 2, 3) of polarization curves for the friction pair P18 steel – steel 45 in 0,5N. Na₂SO₄

Таким образом, для определения скорости коррозии необходимо знать $R_{П}$ и k_1 . Наиболее распространенный метод определения $R_{П}$ следующий. На два одинаковых образца из исследуемого металла, помещенных в данную среду, накладывают разность потенциалов $\Delta\phi$ и измеряют протекающий при этом ток Δi . На этом принципе созданы измерители скорости коррозии Р5030, ИСК - 101. При сохранении основной идеи двух-электродного коррозионного датчика были сконструированы специальные образцы-электроды, позволявшие применить этот метод при трении [19]. На рис. 4,а представлены такие образцы для пары торцевого трения. Это своеобразные кольцевые “сэндвичи”, рабочие поверхности которых являются

элементами одной поверхности трения, разделенные электроизоляционным слоем. Каждый из кольцевых образцов склеен из двух колец, торцевые поверхности которых должны иметь одинаковую площадь. Рабочие участки электродов (1 и 2, 3 и 4), являющиеся элементами одной поверхности трения, разделены электроизоляционным слоем 5. Среда заливалась в пластмассовый бак 6. Наружные 1, 3 и внутренние 2, 4 кольца, имеющие одинаковую площадь торцевых поверхностей, являлись рабочими электродами. Нерабочие поверхности датчика изолировались эпоксидным клеем. Величина тока I , пропорциональная скорости коррозии, определялась при подключении прибора ИСК-101 к наружному 4 и внутреннему 3 кольцам нижнего неподвижного образца.

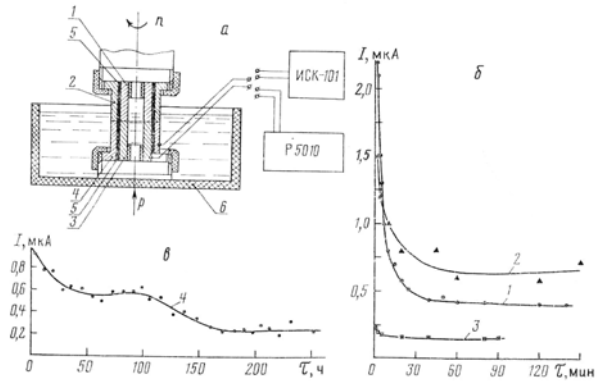


Рис. 4. Конструктивная схема установки для измерения скорости коррозии при трении по методу поляризационного сопротивления (а) и результаты исследования на ней коррозионных процессов в статических условиях (б) и при трении (в):

1 – статика нижнего образца, зачищенного мелкой шкуркой; 2 – статика нижнего образца после испытания на трение; 3 – статика нижнего и верхнего образцов, находящихся в контакте при рабочей нагрузке; 4 – трение с частотой вращения верхнего образца 200 об/мин и нагрузкой 80Н

Fig. 4. Structural diagram of the apparatus for measuring the rate of corrosion in friction method polarization resistance (a) and the results of research on it corrosion processes under static conditions (b) and friction (v)

Омическое сопротивление электролита измерялось мостом переменного тока Р5010. Конструкция такого датчика позволяет определять мгновенную скорость коррозии в раз-

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

личных условиях трения. В качестве примера на рис. 4, б, в приведены результаты опытов при трении образцов из бронзы Бр ОЦС-5-5-5 в воде. По оси ординат отложены величины отсчитываемого по прибору тока I , пропорционального мгновенному значению скорости коррозии. Пересчет токов в скорость коррозии следует производить по данным [19], но нужно учитывать, что коэффициенты пропорциональности при трении могут меняться и их нужно определять другими методами (например, по поляризационным кривым). Представленные графики отражают кинетику скорости коррозии. Из сравнения кривых, полученных в статике (рис.4, б), видно, что трение активирует поверхность, приводя к увеличению скорости коррозии (кривая 2), а контакт образцов под нагрузкой, с чем мы сталкиваемся при трении, ее уменьшает (кривая 3), что может быть объяснено затруднением доступа среды. При приработке образцов скорость коррозии уменьшается (рис. 4,в).

Являясь фундаментальной энергетической характеристикой двойного слоя [10,11], ϕ может оказать значительное влияние на трение и изнашивание металлов в электролитах. В большинстве известных нам работ, в которых изучались электрохимические явления при трении, поляризационные кривые снимались с единственной целью – получить информацию о поверхностных процессах на контакте и, к сожалению, мало кто фиксировал происходящие при поляризации изменения механических параметров.

На рис. 5 показано влияние поляризации на износ, микротвердость и момент трения при абразивном изнашивании бронзы БрОЦС-6-6-3 электрокорундовым кругом в 1 н. Na_2SO_4 . Видно, что смещение от стационарного ϕ (-500 мВ) как в положительную, так и в отрицательную сторону влечет за собой увеличение момента трения. При катодной поляризации микротвердость поверхности возрастала, а износ снижался. В анодной области износ снижался до минимума ($\phi \approx 0$), после чего снова увеличивался. В данном случае влияние ϕ на механические свойства трудно объяснить с позиции электрокапиллярного эффекта, так как в области нулевого заряда меди ($\phi_{н.з.} = -0,28 \pm 0,48$ В [8,

10]) вместо ожидаемого падения износа и увеличения момента трения наблюдается обратная картина. В катодной области характер установленных зависимостей можно объяснить увеличением микротвердости вследствие наводораживания поверхности. Значительный сдвиг поляризационных кривых при трении, по сравнению с поляризационными кривыми в статике, свидетельствует о большой роли торможения электродных процессов адсорбированными или фазовыми пленками. Аналогичные поляризационные эффекты были обнаружены при трении ряда металлов в различных электролитах.

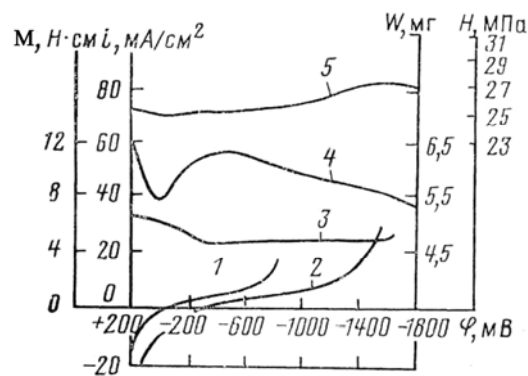


Рис. 5. Зависимость момента трения M , износа W , микротвердости H и плотности тока i от потенциала при абразивном изнашивании бронзы Бр.ОЦС-6-6-3 в 1н. Na_2SO_4 со скоростью $v = 1,6$ м/с:

1, 2 – поляризационные кривые, соответственно, без зачистки и с зачисткой поверхности; 3 – момент трения при $p = 0,8$ МПа; 4 – износ при $p = 0,2$ МПа; 5 – микротвердость при $p = 0,2$ МПа

Fig. 5. Dependence of the friction torque M , wear W , microhardness H and the current density i on the potential at the abrasive wear bronze Br.OTsS-6-6-3 into 1. Na_2SO_4 with velocity $v = 1,6$ m/s

Зависимость $f=f(\phi)$ следует рассматривать с позиции трибологии с целью ее использования для управления трением и изнашиванием в технологических средах – электролитах. Известно [9, 10], что в кинетике электродных процессов определяющую роль играет потенциал ϕ . В то же время во многих работах, посвященных электрохимическим явлениям при трении, в качестве

электрической переменной выбирали ток I , а не потенциал ϕ , что нельзя считать обоснованным с электрохимической точки зрения.

При абразивном изнашивании хромистой стали 40X13 в водной среде с 1% NaNO_3 + 0.5% Na_2SO_4 с анодной поляризацией (рис. 6) была получена типичная поляризационная кривая с пассивной областью, что говорит о возможности образования пленок даже в условиях их интенсивной зачистки. Видно, что можно подобрать такие значения ϕ , которым отвечают одинаковые величины плотности тока (штриховые линии), но различные значения момента трения. Из этого вытекает вывод об определяющем влиянии ϕ на механические параметры трения.

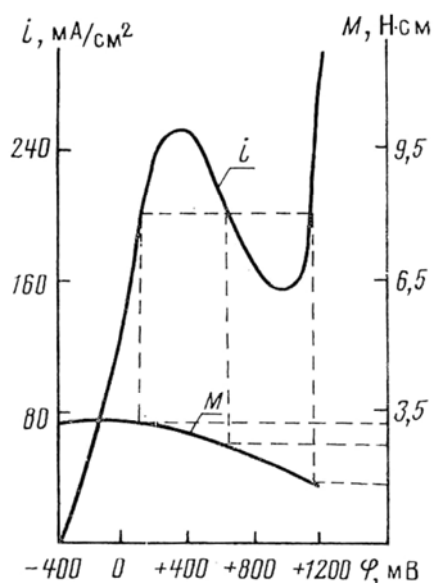


Рис.6. Зависимость момента трения M и плотности тока i от потенциала при зачистке стали 40X13 абразивным кругом со скоростью $v = 0,45 \text{ м/с}$ и при давлении на контакте $p = 0,2 \text{ МПа}$

Fig. 6. Dependence of the friction torque M and the current density i on the potential sweep at 40X13 steel abrasive wheel with a speed $v = 0,45 \text{ m/s}$ and at a pressure at the contact $p = 0,2 \text{ MPa}$

В работе [20] изучалось влияние ϕ на дислокационную структуру поверхности трения в слабокислой среде. Катодная поляризация способствовала уменьшению силы трения и увеличению ширины деформированной зоны. Хотя средняя плотность дислокаций при этом несколько уменьшилась, размеры дислокационных колоний и плотность дислокаций в них увеличились, что свидетельствует о неоднородности деформации. В щелочной среде также было установ-

лено влияние поляризации на пластическую деформацию. Поляризация, влияя на процессы эволюции дислокационной структуры, вызывает изменение реологического сопротивления фрикционного контакта и его жесткости, что является причиной изменения соотношения между упругой и пластической составляющими деформации, а также амплитудночастотного спектра авто-колебаний и энергосиловых характеристик процессов изнашивания. Хотя приведенные объяснения поляризационных эффектов требуют проверки, не вызывает сомнения, что мы имеем прямое доказательство влияния ϕ на процессы пластической деформации при трении скольжения в электролитах, какими являются множество сред пищевых и перерабатывающих производств.

ВЫВОДЫ

1. Коррозионно-механическое изнашивание металлических материалов в технологических средах-электролитах пищевых производств имеет электрохимическую природу и должно изучаться с использованием потенциостатического метода и метода поляризационного сопротивления.

2. При подборе пар трения для работы в технологических средах-электролитах пищевых и перерабатывающих производств необходимо чтобы разность потенциалов зачистки и трения была максимальной.

3. Для правильного выбора износостойких материалов для оборудования пищевой и перерабатывающей промышленности, работающих в условиях коррозионно-механического изнашивания, определять скорость коррозии при трении нужно с использованием метода экстраполяции реальных поляризационных кривых, снятых непосредственно на образцах, помещенных в реальные или модельные технологические пищевые среды.

4. Электродные потенциалы поверхностей трения – фундаментальные характеристики электрохимических систем, которые определяют интенсивность коррозионно-механического изнашивания пищевого и перерабатывающего оборудования.

5. Поляризация фрикционного контакта влияет на процессы эволюции дислокационной структуры поверхностей трения и может использоваться для управления энергосило-

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО
ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ
ПРОИЗВОДСТВ

выми характеристиками процессов изнашивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Suhenko J.G. 2010: Nadijnist i dovgovichnist' ustatkuvannja harchovih i pererobnih virobniectv: Pidruchnik. / J.G. Suhenko, O.A. Litvinenko, V.J. Suhenko; pid red. profesora J.G. Suhenka - Kiev: NUHT. – 547.
2. Suhenko J.G. 1993: Tehnologichni metody zabezpechennja dovgovichnosti obladdannja harchovoi' promyslovosti: Monografija. / J.G. Suhenko, O.I. Nekoz, M.S. Stechyshyn. – Kiev: Eleron. – 108.
3. Karpenko G.V. 1976: Vlijanie sredy na prochnost' i dolgovechnost metallov: Monografija. – Kiev: Naukova dumka. –126.
4. Suhenko V.J. 2013: Znosostijkist' evtekychnyh pokryttiv pid vplyvom soljanogo rozchynu / V.J. Suhenko, J.G. Suhenko, J.I. Bojko, V.V. Manuilov // Prodovolcha industrija APK: nauk.-prakt. zhurnal. – Kiev. – № 1 – 6–9.
5. Hirt Dzh. 1972: Teorija dislokacij / Dzh. Hirt, I. Lote – perevod s angl. pod. red. J.M. Nadgornogo i J.A. Osip'jana. – M.: Atomizdat. – 600.
6. Suhenko V.J. 2012: Obgruntuvannja osnov zabezpechennja znosostijkosti mjasorizal'nih instrumentiv. Problemi tertja ta znoshuvannja: nauk.-tehn. zb. – Kiev: NAU. – Vip. 57. – 76–92.
7. Golubec V. 2008: Zahisni vlastivosti i znosostijkist' vakuumnih jonno-plazmovih pokryttiv / V. Golubec', O. Gasij, J. Shhujko. – Lviv: Logos. – 104.
8. Prejs G.A. 1980: Elektrohimiicheskie javlenija pri trenii metallov. / G.A. Prejs, A.G. Dzub. Trenie i iznos, T.1, №2. – 217–235.
9. Lazarev G.E. 1984: Issledovanie processa korrozionno-mehaničeskogo iznashivanija / G.E. Lazarev, N.N. Afanas'ev, N.I. Gamazov // Trenie i znos. – Minsk: Nauka i tehnika. – Tom V. – № 5 – 889–895.
10. Antropov L.I. 1969: Teoreticheskaia elektro-himija. / L.I. Antropov – M.: – Vysshaja shkola. – 509.
11. Antropov L.I. 1981: Ingibitory korrozii metallov: Monografija / L.I. Antropov, E.M. Makushin, V.F. Panasenko. – K.: Tehnika. – 183.
12. Suhenko J.G. 2007: Doslidzhennja elektro-himichnih procesiv pid chas korozijno-mehani-

- chnogo znoshennja ionno-plazmovih pokryttiv / J.G. Suhenko, O.G. Dzub, V.M. Golubec', O.B. Gasij // Problemi tertja ta znoshuvannja: nauk.-tehn. zb. – K.: NAU. – Vol. 47. – 67–74.
13. Kosteckij B.I. 1972: Mehanohimiicheskie processy pri granichnom trenii / B.I. Kosteckij, M.J. Natanson, L.I. Bershadskij – M.: Nauka / – 170.
 14. Gerasimov V.V. 1976: Korrozionnoe rastreskivanie austenitnyh nerzhavejshih stalej. / V.V. Gerasimov, V.V. Gerasimova – M.: Metallurgija. – 176.
 15. Butakov B. 2012: Development of technologies of volume and superficial hardening of metals and alloys / Butakov B. Motrol: Lublin. – Vol. 14, No 2. – 5–12.
 16. Butakov B. 2011: Research durability friction pair steel shaft and bronze liner at various modes obkattyvaniya rollers Motrol: Lublin. –Vol. 13A. – 117–130.
 17. Zhuk N.P. 1976: Kurs teorii korrozii i zashhity metallov. / N.P. Zhuk – M.: Metallurgija. – 472.
 18. Stechishin M.S. 2009: Kinetika zmin potencialu kompozicijnih elektrolitichnih pokryttiv tribo tehničnogo priznachennja / M.S. Stechishin, J.M. Bilik, J.I. Parajko, N.M. Stebelec'ka // Problemi tertja ta znoshuvannja: nauk.-tehn. zb. – K.: NAU. – Vol. 51. 63–71.
 19. Dzub A.G. 1980: Issledovanie skorosti korrozii pri trenii / A.G. Dzub, V.A. Kuznecov, G.A. Prejs. Problemy trenija i iznashivanija. Vol. 17. 20–23.
 20. Suhenko V.J. 2013: Prognozuvannja vplyvu terminu avtolizu m'jasa na znosostijkist' detalej podribnjuval'nih mashin / V.J. Suhenko Problemi tertja ta znoshuvannja: nauk.-tehn. zb. – K.: NAU.– Vol. 59 –70–85.

**METHODS OF RESEARCH PROCESS
FRETTING EQUIPMENT AND FOOD
PROCESSING INDUSTRIES**

Summary. Technique to study the fretting of metallic structural materials in corrosive process media-electrolytes food production and the ability to control the processes of metal fracture.

Key words: food environment, electrolytes, friction, wear, polarization potential, technique, wear resistance, corrosion.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Сергей Топчий

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Sergey Topchiy

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Приведены результаты испытаний двигателя 4Ч7,9/6,6, оборудованного регулируемым гидравлическим приводом клапанов газораспределительного механизма при работе двигателя в режимах частичных нагрузок.

Ключевые слова: Турбулентность, дросселирование, топливная экономичность, гидравлика, механизм клапанов, испытания, диаграмма, мощность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Изменение мощности в ДВС с искровым зажиганием при любом постоянном скоростном режиме осуществляется количественным регулированием, то есть изменением количества топливно-воздушного заряда, который поступает в цилиндры двигателя при постоянном составе смеси.

При этом коэффициент избытка воздуха α смеси остается приблизительно одинаковым в результате одновременного изменения подачи топлива и коэффициента наполнения η_v .

При работе на частичных нагрузках в меру уменьшения нагрузки (дросселирования) наблюдается резкое снижение экономичности двигателя, которое достигает 50 % при нагрузке, которая составляет приблизительно 1/4 от полной.

Причины, через которые происходит подобное ухудшение, исследовались многими учеными, и являются следующими.

При количественном регулировании, прикрывая дроссельную (или воздушную) заслонку, увеличивают сопротивление впускной системы и уменьшают количество свежего заряда в цилиндре.

Это вызывает снижение давления в конце процесса сжатия и соответственно максимального давления сгорания в цилиндре, усиливается не идентичность в протекании сгорания в последовательных рабочих циклах.

В меру уменьшения открытия дроссельной заслонки наблюдается уменьшение скорости потока и соответственно турбуляризации заряда в цилиндре двигателя, что негативно влияет на смесеобразование.

На рис. 1 показано изменение скорости потока на разных участках впускной системы при изменении площади сечения дросселя $f_{др}$.

Как видно, при дросселировании скорость потока в зоне дроссельной заслонки растет, а во впускном трубопроводе и клапане уменьшается.

А поскольку смешивание компонентов горючей смеси в процессе смесеобразования происходит в результате молекулярной диффузии одного газа в другой, то поддержка оптимального значения таких параметров потока как его скорость, давление и температура необходимо не только в зоне распыла, но и по всей длине впускной системы.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ публикаций показывает что одним из путей уменьшения гидравлического сопротивления впускной системы и улучшения смесеобразования при работе двигателя в режимах холостого хода и частичных нагрузок является использование для регулировки его мощности ГРМ с изменяемой высотой подъема впускных клапанов.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

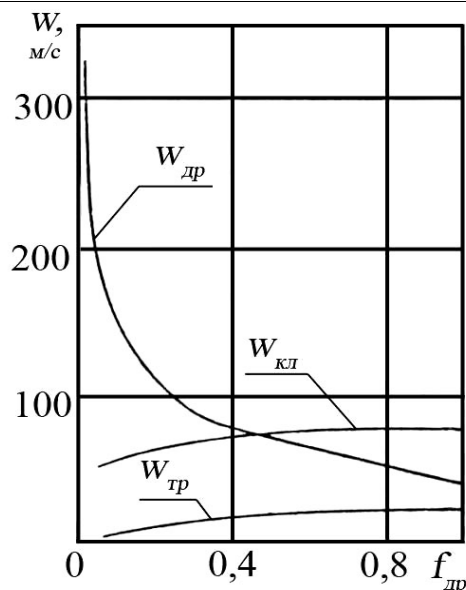


Рис. 1. Зависимость скорости воздуха в дросселе $w_{др}$, клапане $w_{кл}$ и впускном трубопроводе $w_{тр}$ от степени открытия дроссельной заслонки $f_{др}$.

Fig. 1. Dependence of speed of air in the throttle of $w_{др}$, valve of $w_{кл}$ and inlet pipeline of $w_{тр}$ from the degree of opening of throttle $f_{др}$.

При вытекании газа через клапан в результате резкого расширения потока и нарушения упорядоченного струйного движения газа появляется турбулентность в цилиндре при впуске. Наличие интенсивной турбулентности возле верхней мертвой точки обеспечивает интенсификацию турбулентности в фазе сгорания. Результат - улучшение топливной экономичности бензинового ДВС.

Разработкой газораспределительных механизмов ГРМ с возможностью дроселирования свежего заряда впускным клапаном занимаются такие компании как BMW, Volkswagen, Fiat, Honda, Toyota и др.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы являлась разработка альтернативного привода клапанов для двигателя 4С7,9/6,6 и проведение безмоторных и моторных испытаний для:

- определения работоспособности разработанного привода клапанов ГРМ;
- проверка соответствия фаз газораспределения (ФГР) двигателя фазам, рекомендованным заводом изготовителем;
- определение параметров процесса впуска при регулировании наполнения двигателя дроссельной заслонкой и изменением хода впускного клапана;

- определение характеристик топливной экономичности при регулировании мощности двигателя дроссельной заслонкой и впускным клапаном;

- индицирование двигателя и определение на основе полученных индикаторных диаграмм индикаторных и эффективных показателей работы двигателя, показателей процесса сгорания для двух способов регулирования мощности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования влияния способа регулирования мощности впускным клапаном (ДВК) на показатели работы двигателя, было разработано несколько типов альтернативных приводов клапанов ГРМ. При выборе оптимального варианта привода учитывались следующие требования:

- простота конструкции которая не требовала бы изменения конструкции головки цилиндров;
- возможность использования в разработанной конструкции деталей штатного ГРМ;
- простота монтажа и демонтажа привода;
- возможность самостоятельного изготовления деталей;
- простота регулирования хода клапанов и возможность полного исключения из работы отдельных цилиндров.

Указанные требования вполне удовлетворил гидравлический привод клапанов (ГПК) ГРМ с дроссельным регулированием. ГПК обеспечивает высокое быстродействие и допускает значительные усилия в исполнительных механизмах при их небольших размерах.

Это, в свою очередь, дает возможность использовать габариты существующей головки цилиндров.

Он легко регулируется по расходу рабочей жидкости, что имеет решающее значение для изменения хода клапанов вплоть до полного их исключения из работы.

В качестве рабочей жидкости использовалось масло из системы смазки двигателя.

В результате безмоторных испытаний была подтверждена работоспособность используемого ГПК и установлены ФГР максимально отвечающие ФГР рекомендованные заводом изготовителем (рис. 2).

На рис. 3 представлены графики изменения давления во впускном трубопроводе $P_{вп}$ при дросселировании впуска клапаном.

Из графика видно, что уменьшение хода клапана h от 9 мм до 5 мм мало влияет на изменение величины $P_{вп}$.

Последующее уменьшение h приводит к росту $P_{вп}$ вплоть до атмосферного.

Из этого можно сделать следующий вывод: для двигателя с системой ДВК, в результате постоянно открытой дроссельной заслонки, показатели работы определяются только по среднему индикаторному давлению P_i , в отличие от двигателя с регулированием мощности дроссельной заслонкой, для которого показатели работы можно оценивать или по давлению во впускном трубопроводе $P_{вп}$ или по среднему индикаторному давлению P_i .

На рис. 4 представлены индикаторные диаграммы полученные для двух способов регулирования мощности: дроссельной заслонкой и впускным клапаном.

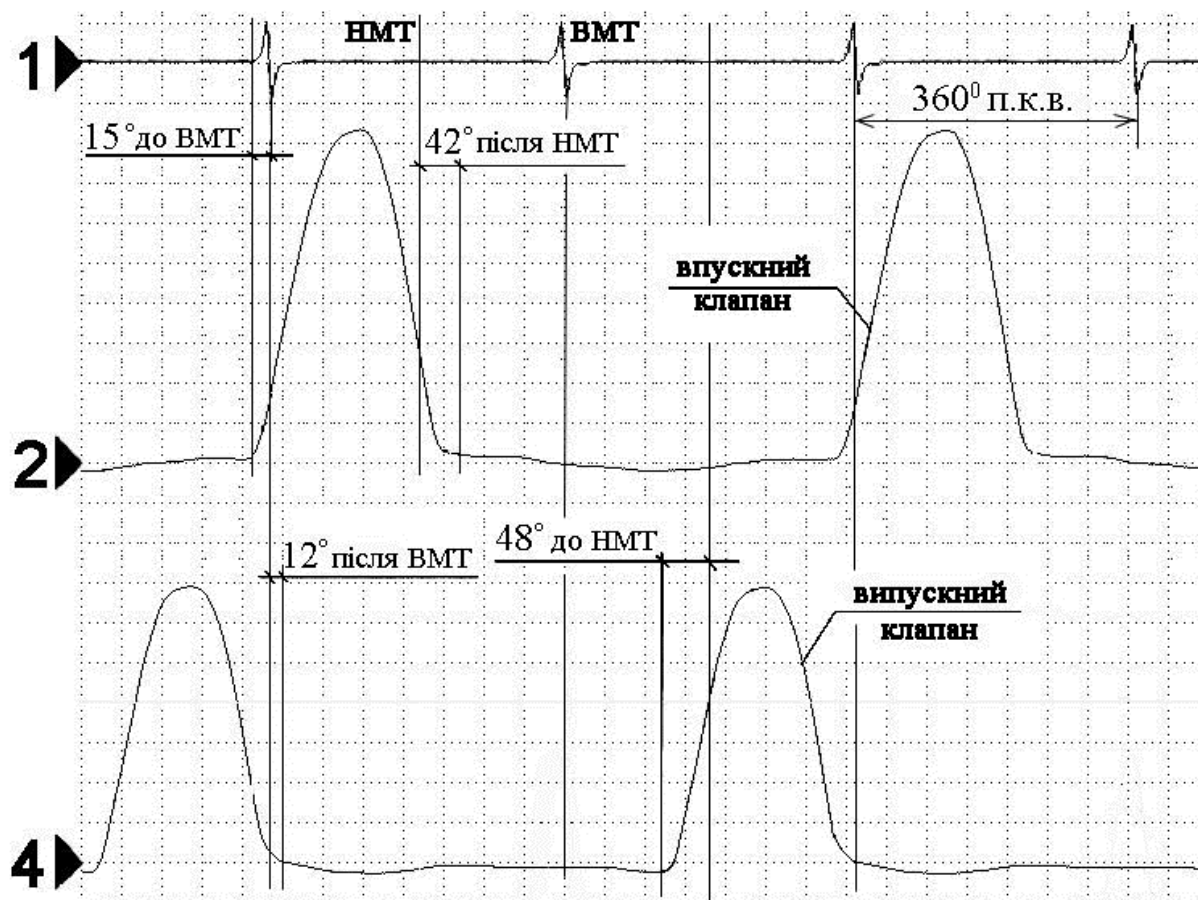


Рис. 2. Оциллограммы перемещения клапанов
Fig. 2. Ostsillogrammi of moving of valves

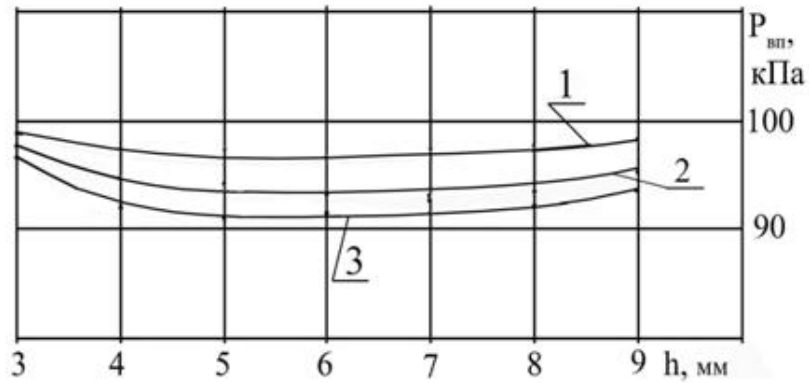


Рис. 3. Зависимость давления во впускном трубопроводе $P_{вп}$ от хода клапана h : 1 – 1000 мин^{-1} ; 2 – 1600 мин^{-1} ; 3 – 2200 мин^{-1}

Fig. 3. Dependence of pressure in the inlet pipeline P_{vp} from the valve stroke of h : 1 – 1000 min^{-1} ; 2 – 1600 min^{-1} ; 3 – 2200 min^{-1}

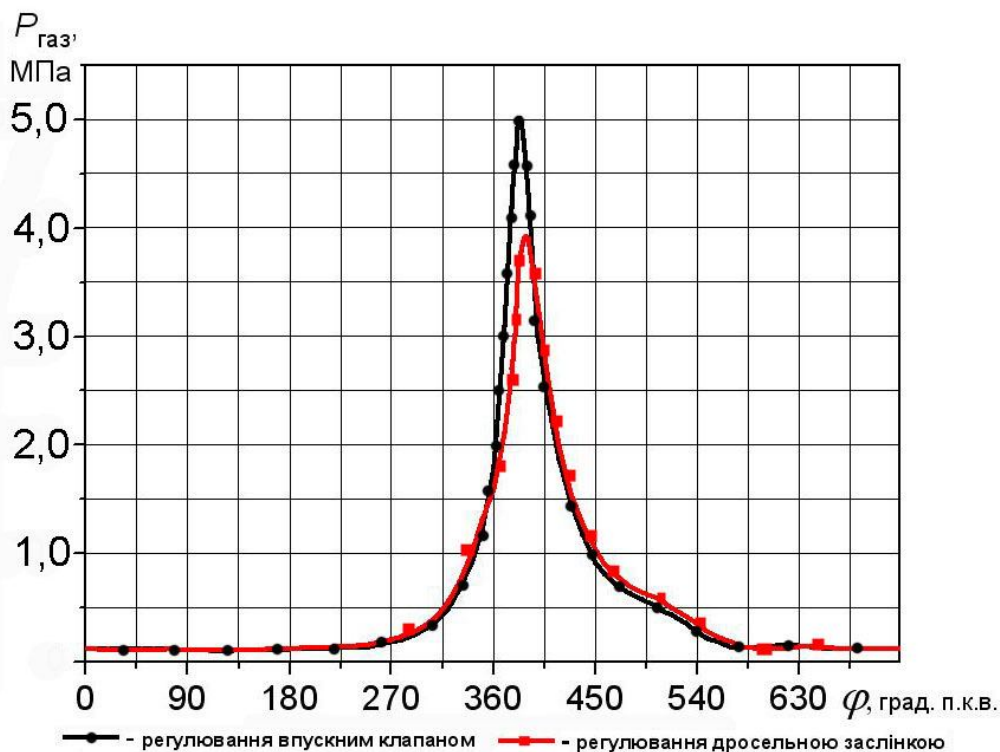


Рис. 4. Индикаторные диаграммы двигателя 4C7,9/6,6 оборудованного ГПК при $n = 2800 \text{ мин}^{-1}$

Fig. 4. Indicator-diagrams of engine of 4C7,9/6,6 equipped hydraulics of valves at $n = 2800 \text{ min}^{-1}$

Как видно из диаграмм при регулировании мощности системой ДВК наблюдается значительный и более стремительный рост давления в цилиндре. Максимальное давление сгорания находится ближе к верхней мертвой точке, что свидетельствует о росте скорости сгорания смеси. Анализ индикаторных диаграмм для определения показателей процесса сгорания показал следующее:

- при дросселировании свежего заряда впускным клапаном имеет место увеличение показателя характера сгорания до $m = 5,6$ (при дросселировании заслонкой $m = 4,0$);
- длительность сгорания рабочей смеси φ_z сокращается до 58 град. п.к.в. по сравнению с регулированием мощности дроссельной заслонкой, для которого $\varphi_z = 67$ град. п.к.в.;

- жесткость работы двигателя $dp/d\phi$ возрастает при дросселировании свежего заряда впускным клапаном на 16...18 %.

На рис. 5 представлена зависимость скорости сгорания смеси w от угла поворота коленчатого вала ϕ для разных способов регулирования мощности. Рост скорости сгорания заряда при регулировании мощности впускным клапаном свидетельствует о улучшении смесеобразования вследствие роста турбулентности заряда в цилиндре двигателя.

На рис. 6 представлены нагрузочные характеристики двигателя 4Ч7,9/6,6 при разных способах регулирования мощности.

Сравнивая графики нагрузочных характеристик нужно отметить, что использование системы ДВК для регулирования мощности двигателя, способствует уменьшению часового и удельного расхода топлива в пределах 10 %.

Нужно заметить, что представленные данные были получены для двигателя с двоклапанной системой газораспределения при не регулируемых ФГР.

Использование альтернативного привода клапанов ГРМ, например электрогидравлического, дает возможность обеспечить безступенчатое регулирование, как хода клапанов, так и ФГР в зависимости от скоростного и нагрузочного режима работы двигателя. Определение оптимальных ФГР для разных режимов работы двигателя, нуждается в гибком алгоритме управления ГРМ.

На рис. 7 представлена блок-схема контролера БУК-4КЦ разработанного для управления как электрогидравлическим и электромагнитным приводами клапанов, так и для управления шаговыми двигателями которые используются в таких приводах. Общий вид контролера представлен на рис. 8.

В состав контролера входят такие функциональные блоки: блок аналоговой обработки, блок цифровой обработки и силовой блок. Базовая структура контролера разработана в полном соответствии с требованиями к экспериментальному алгоритму управления исполнительными устройствами автомобильного двигателя – клапанами.

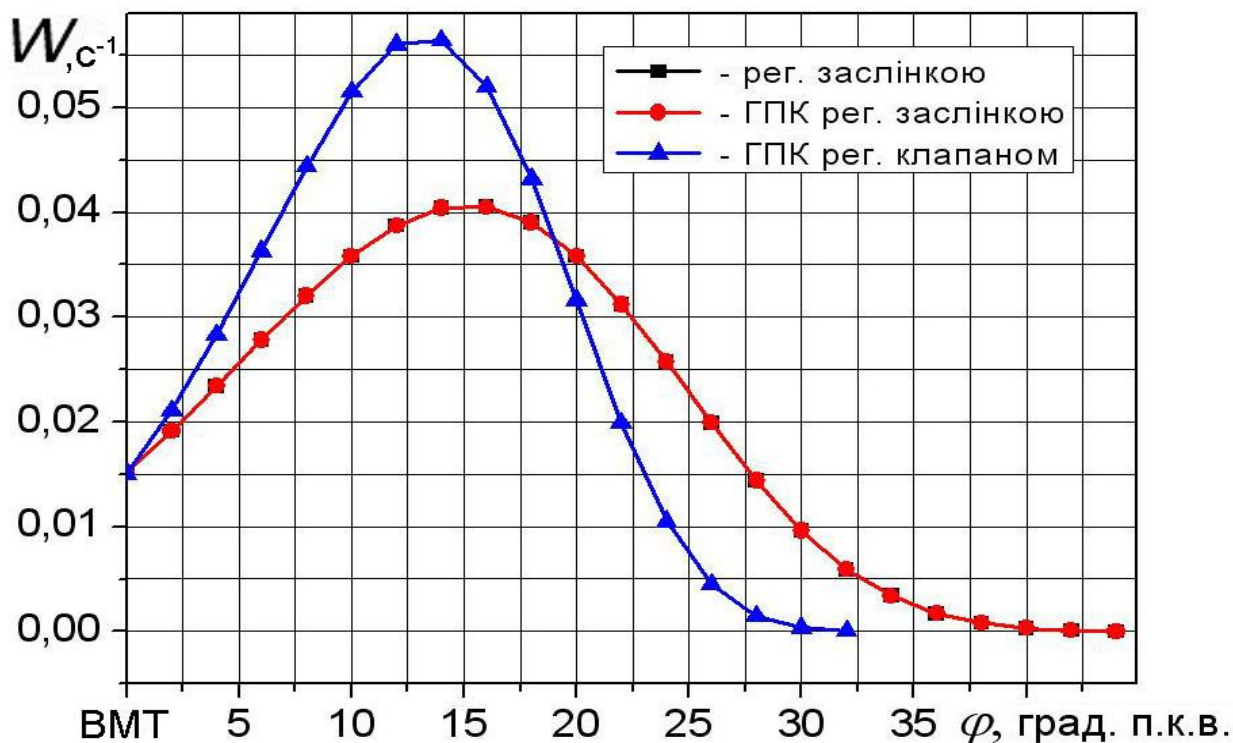


Рис. 5. Зависимость скорости сгорания смеси w от угла поворота коленчатого вала ϕ для разных способов регулирования мощности

Fig. 5. Dependence of speed of combustion of mixture of w on the corner of turn of crankshaft ϕ for the various methods of adjusting of power

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ
НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ**

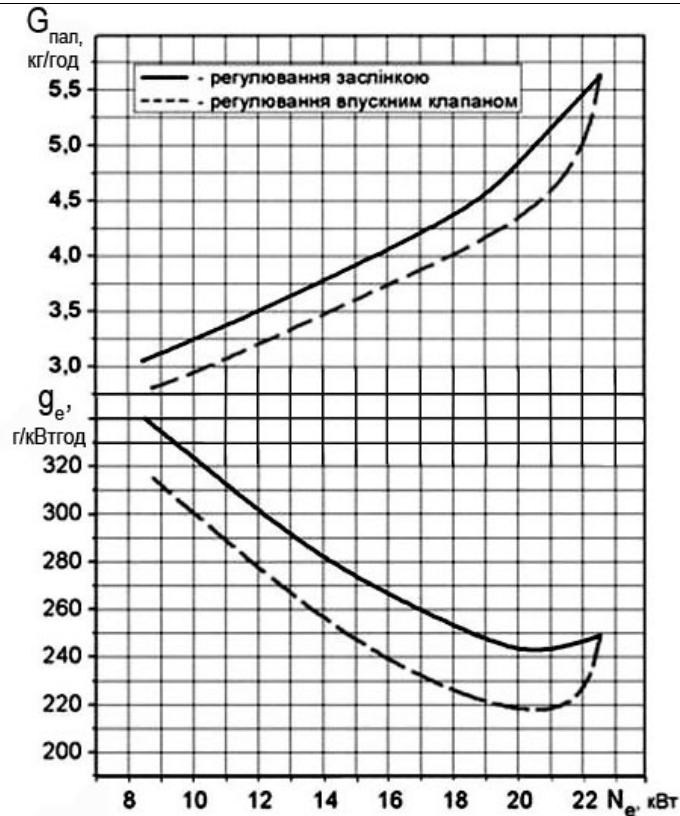


Рис. 6. Нагрузочные характеристики двигателя 4Ч7,9/6,6 при разных способах регулирования мощности при $n=2800 \text{ мин}^{-1}$

Fig. 6. Loading descriptions of engine 4Ч7,9/6,6 at different methods of adjusting of power at $n=2800 \text{ min}^{-1}$

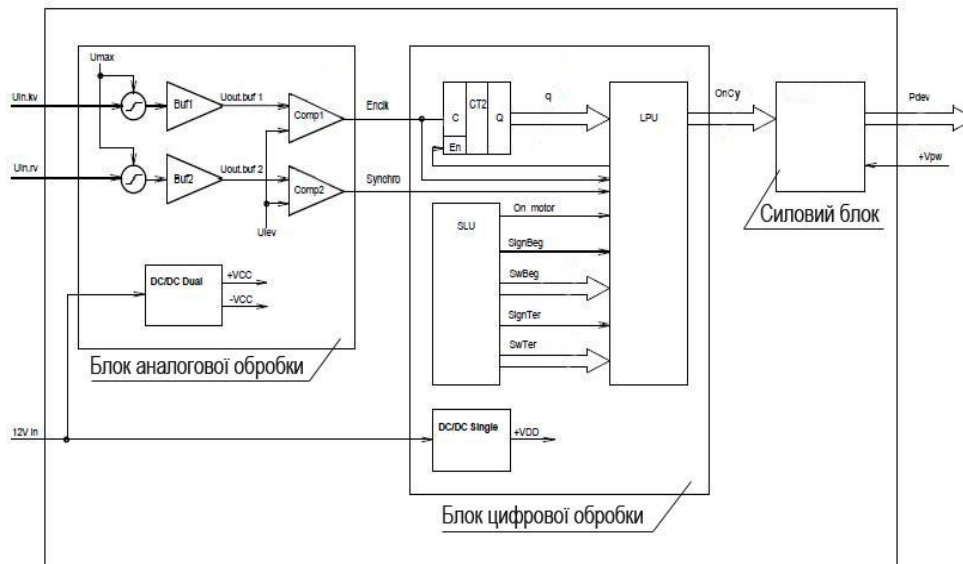


Рис. 7. Блок-схема контролера БУК-4КІЦ
Fig. 7. Flow-chart of the inspector БУК-4КІЦ

На входы контролера подаются аналоговые сигналы $U_{in.kv}$ и $U_{in.rv}$ индуктивных датчиков, установленных на коленчатом и распределительном валах двигателя. Все процедуры обработки сигналов в аналоговом и цифровом блоках выполняются в реальном вре-

мени. В структуру контролера включены элементы управления временными и фазовыми характеристиками сигналов управления исполнительными устройствами (реализован проблемно-ориентированный интерфейс пользователя).

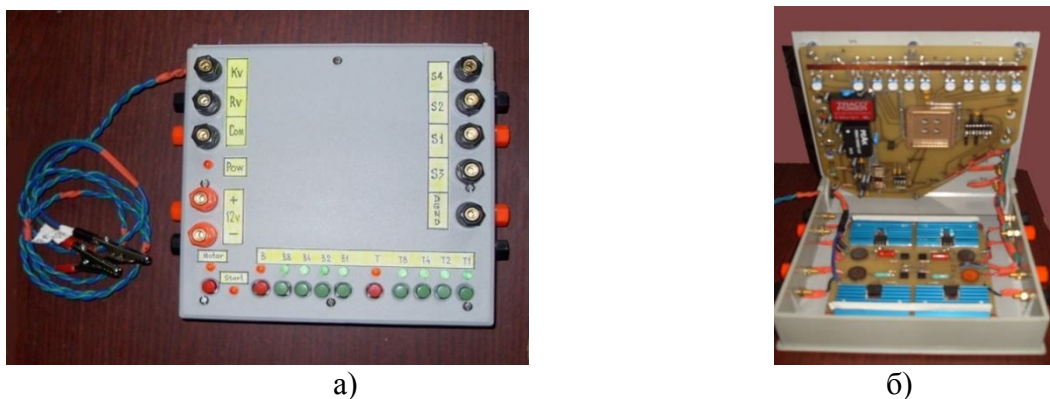


Рис. 8. Контролер БУК–4КЦ: а – внешний вид; б – внутренняя компоновка
Fig. 8. The inspector БУК–4КЦ: a - original appearance; b - internal arrangement

ВЫВОД

Одним из эффективных способов улучшения экономических и экологических показателей работы двигателя является регулирование мощности путем дросселирования свежего заряда впускным клапаном. Благодаря этому обеспечивается рост турбулентности во впускном тракте и цилиндре двигателя, что улучшает процессы смесеобразования и сгорания топливно-воздушной смеси.

Безмоторные и моторные испытания двигателя 4Ч7,9/6,6 оборудованного гидроприводом клапанов ГРМ показали следующее:

- простоту и невысокую стоимость изготовления ГПК с дроссельным регулированием хода клапана;
- возможность обеспечения точности регулирования хода клапана;
- простоту обслуживания (система не нуждается в регулировках в процессе эксплуатации);
- простоту отключения отдельных цилиндров двигателя или групп цилиндров;
- при дроселировании свежего заряда впускным клапаном показатель характера сгорания равен $m = 5,6$ (при дроселировании заслонкой $m = 4,0$);
- длительность сгорания рабочей смеси φ_z сокращается до 58 град. п.к.в. по сравнению с регулированием мощности дроссельной заслонкой, для которого $\varphi_z = 67$ град. п.к.в.;
- при дроселировании свежего заряда впускным клапаном жесткость работы двигателя $dp/d\varphi$ возрастает на 16...18 %;

- система ДВК обеспечивает улучшение топливной экономичности двигателя в среднем на 10 % при работе в режимах частичных нагрузок;

- полученные показатели процесса сгорания дают возможность теоретически оценить ожидаемую эффективность внедрения системы ДВК на двигателях типа 4Ч7,9/6,6;

- определение оптимальных ФГР для разных режимов работы двигателя, при использовании альтернативных систем газораспределения нуждается в гибком алгоритме управления ГРМ;

- разработка и исследование ГРМ с качественно новыми характеристиками являются одним из перспективных направлений работы конструкторов ДВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Avtomobil'ni 2007: Avtomobil'ni dviguni: pidruchnik / F.I. Abramchuk, Ju.F. Gutarevich, K.Ye. Dolganov, I.I. Timchenko. – K.: Aristej. – 476.
2. Balabin V.N. 2010: Nauchnye osnovy sozdaniya reguliruemih privodov gazorasprede-lenija lokomotivnyh dvigatelej vnutrennego sgoranija novogo pokolenija: avtoref. d-ra tehn. nauk: 05.02.02 / V.N. Balabin – M. – 50.
3. Vibe I.I. 1962: Novoe v rabochem cikle dvi-gatelja / I.I. Vibe. – Sverdlovsk: Mashgiz. – 271.
4. Voinov A.N. 1977: Sgoranie v bystrohodnyh porshnevnyh dvigateljah / A.N. Voinov – M.: Mashinostroenie. – 277.
5. Dvigateli 1983: Dvigateli vnutrennego sgoranija: Teorija porshnevnyh i kombinirovannyh dvigatelej. Uchebnik dlja vtuzov po

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ
НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

- special'nosti «Dvigateli vnutrennego sgoranija» / [D.N. Vyubov, N.A. Ivashhenko, V.I. Ivin i dr.]; pod red. A.S. Orlina, M.G. Kruglova. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie. – 372.
6. Dacyk Ju. 2000: Proshhaj, drosel' / Ju. Dacyk // Avtocentr. – №42. – 26–27.
7. Djachenko V.G. 2008: Dviguni vnutrishn'ogo zgorannja: teorija / V.G. Djachenko. – H.: NTU «HPI». – 488.
8. Kakim 2000: Kakim stanet v budushhem privod k klapanam? // Avtostroenie za rubezhom. – №9. – 13.
9. Krajnjuk A.I. 2006: Reguliruemye sistemy gazoraspredelenija DVS / A.I. Krajnjuk. – Lugansk: Izd-vo SNU im. V. Dalja. – 232.
10. Krajnjuk A.I., Rybalchenko A.G. 1986: Gidroprivod klapanov gazoraspredelenija s rekuperativnymi svojstvami dlja vysokoobrotного transportного дизеля / A.I. Krajnjuk, A.G. Rybalchenko // Dvigatelestroenie. – №9. 39–40.
11. Lenin I.M. 1969: Teorija avtomobilnyh i traktornyh dvigatelej / I.M. Lenin – M.: Mashinostroenie. – 368.
12. Sviridov Ju.B. 1969: Osobennosti gazodinamicheskikh processov v dvigatele pri drosselirovanii napolnenija: Chast' I (teoreticheskaja) / Ju.B. Sviridov // Trudy CNITA,.–Vyp. 40.– 3–10.
13. Sistema 2009: Sistema izmenenija faz gazoraspredelenija Audi Valvelift System // Avtostroenie za rubezhom. – №12. – 8.
14. Sosnin D.A. 2005: Novejshie avtomobil'nye jelektromnye sistemy / D.A. Sosnin, V.F. Jakovlev. – M.: SOLON-Press. – 240.
15. Tehnologija 2009: Tehnologija klapanogo raspredelenija MultiAir koncerna Fiat // Avtostroenie za rubezhom. – №12. – 9.
16. Filippov A.Z. 2008: Gidravlichnij privod klapaniv gazorozpodil'nogo mehanizmu dviguna vnutrishn'ogo zgorannja / A.Z. Filippov, S.I. Topchij, M.Ye. Atamanenko // Naukovij visnik Nacional'nogo agrarnogo universitetu. – № 126. – 244–248.
17. Pat. 2009: Pat. 87357 Ukraina MPK F01L 9/00. Gazorozpodil'nij mehanizm dviguna vnutrishn'ogo zgorannja / A.Z. Filippov, S.I. Topchij, M.Ye. Atamanenko, Ju.A. Gerasimchuk; zajavnik i patentovlasnik Nacional'nij universitet bioresursiv i prirodo-koristuvannja Ukraini. – a200709790; zajavl. 31.08.2007; opubl. 10.07.2009, Bjul. №13.
18. Pat. 2009: Pat. 91786 Ukraina, MPK F01L 9/04. Elektromagnitnij privid klapaniv GRM / S.I. Topchij; zajavnik i patentovlasnik Nacional'nij universitet bioresursiv i prirodo-koristuvannja Ukraini. – a200902739; zajavl. 24.03.2009; opubl. 25.08.2010, Bjul. №16.
19. Pat. 2013: Pat. 102802 Ukraina, MPK F01L 9/00, F02D 13/00. Sistema upravlinnja elektromagnitnim klapanom gazorozpodil'nogo mehanizmu dviguna vnutrishn'ogo zgorannja / A.V. Bozhenko, S.I. Topchij, M.Ye. Atamanenko; zajavniki i patentovlasniki A.V. Bozhenko, S.I. Topchij, M.Ye. Atamanenko. – a 2012 13652; zajavl. 29.11.2012; opubl. 12.08.13, Bjul. №15.
20. Filippov A., Beshun O., Krasowski E. 2001: Pro mozhlivist' reguljuvannja potuzhnosti bagatocilindrovih dizel'nih dviguniv metodom vidkljuchennja okremih robochih cikliv // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, Nacional'nij agrarnij universitet, Kiev, Polska Akademia Nauk Oddzial w Lublinie. – Lublin. – T.1. – 33–37.
21. Anatolij Filippov, Aleksej Beshun, Yuriy Gerasimchuk, Olga Gluhovska, Ludmila Evchenko. 2005: Dinamika dizel'nogo DRC (dvigatelja s regulirovanjem moshhnosti otkljucheniem ot del'nyh rabochih ciklov) // MOTROL: Motoryzacija i Energetyka Rolnictwa. – Lublin. – T. 7. – 83–91.

**INFLUENCING OF METHOD
OF ADJUSTING OF POWER
BY INDUCTION-VALVE ON FUEL
ECONOMY OF PETROL ENGINE**

Summary. The results of tests of engine are described 4Ч7,9/6,6 equipped by a gas-distributing mechanism with hydraulic drive of valves, which enabled to regulate engine power by the change of motion of induction-valves.

Key words: turbulence, throttling, fuel economy, hydraulic, valves gear, tests, diagram, power.

ПРИРОДА КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Юрий Сухенко¹, Александр Дзюб², Владислав Сухенко¹, Валерий Мануилов³

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, Киев, ул. Героев Оборонь, 15*

²*Национальный университет пищевых технологий
Украина, Киев, ул. Владимирская, 68*

³*Керченский государственный морской технологический университет
Украина, АР Крым, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82*

Juriy Sukhenko¹, Aleksandr Dzub², Vladyslav Sukhenko¹, Valeriy Manuilov³

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

²*National University of Food Technologies
Str. Vladimirskaia, 15, Kiev, Ukraine*

³*Kerch State Maritime Technological University
Str. Ordzhonikidze, 82. Kerch, Ukraine*

Аннотация. Показано влияние пищевых технологических сред – электролитов на коррозионно-механическое изнашивание деталей оборудования и намечены способы защиты от изнашивания.

Ключевые слова: пищевые среды-электролиты, трение, коррозия, износ, защита.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Определить роль электродного потенциала в процессах трения и изнашивания материалов и показана возможность управления процессами деформирования и разрушения металлов при помощи поляризации фрикционных систем.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В условиях пищевых производств трение и изнашивание деталей оборудования в большинстве случаев происходит в технологических жидкостях с различной вязкостью, многие из которых коррозионно- и поверхностно-активные [1-8]. Известно, что повышение надежности оборудования основано на обеспечении некоторых условий и способов на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации. Учитывая, что на современном высоком уровне проектирования и прочностных расчетов вероятность внезапных отказов незначительна и они, в большинстве случаев,

проявляются и исключаются во время наладки оборудования, износостойкость деталей оборудования является определяющим фактором в решении проблем его надежности и долговечности [9]. Поэтому способам борьбы с изнашиванием отводится особое внимание на всех этапах существования изделий.

Разнообразие составов и свойств технологических сред пищевых производств усложняет изучение изнашивания деталей оборудования и разработку общих рекомендаций для повышения его долговечности. Коррозионно-механическому изнашиванию подвержено большинство деталей оборудования отрасли и, поэтому, исследование его природы является актуальной проблемой.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Раскрыть сущность коррозионно-механического изнашивания, как ведущего вида изнашивания пищевого и перерабатывающего оборудования, и предложить способы повышения долговечности его деталей и узлов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При трении в коррозионно-активных пищевых средах с кислотой, нейтральной и щелочной реакцией поверхность металла должна обладать не только высокой износостойкостью, но и максимально возможной коррози-

ПРИРОДА КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

онной стойкостью. Трудность решения такой задачи связана прежде всего с отсутствием теории этого процесса. Во многих работах до сих пор господствует упрощенное представление о коррозионно-механическом изнашивании как о процессе образования пленок продуктов коррозии и их периодическом срыве в результате механического воздействия. Не менее важным также является вопрос о роли механического и коррозионного факторов и об их взаимном влиянии друг на друга, от решения которого зависит выбор конкретных материалов и методов борьбы с коррозионно-механическим изнашиванием.

Коррозия при трении имеет характер контактной коррозии, ибо трущаяся пара обычно состоит из разнородных металлов и представляет собой макрогальванический элемент. Вследствие дискретности контакта между металлами всегда имеются зазоры, что придает коррозии при трении черты щелевой коррозии. Существенную роль играют электрохимическая гетерогенность поверхности и импульсный характер процесса трения. Многократно повторяющиеся механические воздействия на фиксированный объем материала в приповерхностном слое приводят к его усталостному разрушению. На основе известной усталостной теории изнашивания [8, 9], а также с учетом электрохимических процессов уста-

лотно-электрохимический механизм коррозионно-механического изнашивания в пищевой среде – электролите может быть представлен следующим образом (рис. 1).

При трении разнородных металлов в коррозионно-активных средах возникает коррозионный макроэлемент, характеризуемый определенной величиной потенциала трения $\varphi_{тр}$ [10,11]. Импульсный характер трения способствует появлению колебаний $\varphi_{тр}$, частота и амплитуда которых зависят от условий трения (давления, скорости, шероховатости поверхностей и др.). Первичный акт взаимодействия среды и металла – адсорбция – протекает под контролем установившегося электродного потенциала φ , а локализованная адсорбция поверхностно-активных веществ (ПАВ) определяется также и его колебаниями $\Delta \varphi$. Адсорбция, в соответствии с законами физико-химической механики материалов, способствует уменьшению поверхностной энергии тел.

Поверхностная энергия может существенно изменяться в результате прямого влияния потенциала φ и его колебаний. Затем происходит снижение поверхностных барьеров, тормозящих движение дислокаций, облегчая их выход на поверхность.

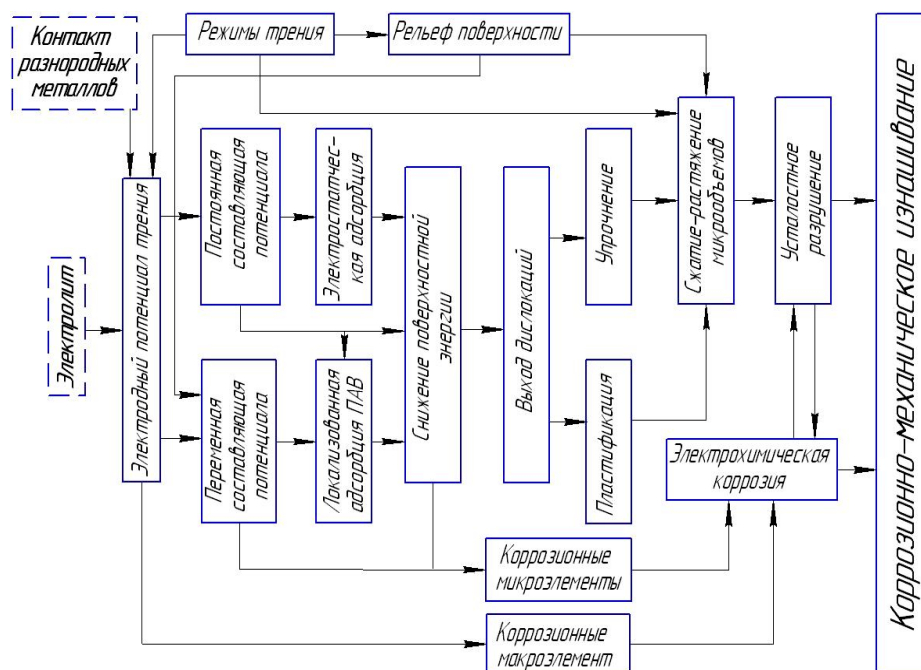


Рис. 1. Структурная схема усталостно-электрохимического механизма коррозионно-механического изнашивания

Fig. 1. Block diagram of the electrochemical mechanism of fatigue-fretting

Возникающие микроэлементы, согласно гетерогенно-электрохимической теории коррозии, начинают активно растворяться. Растворение ионов металла на наиболее «слабых» участках поверхности способствует облегчению усталостного разрушения в этих местах. Таким образом, коррозионно-механическое изнашивание не может рассматриваться как простое суммирование механического и электрохимического факторов, а является сложным процессом, в котором электрохимическое растворение служит своеобразным катализатором усталостного разрушения. В свою очередь трение активизирует протекание электрохимической коррозии. Во всех этих процессах существенную роль играет потенциал φ системы [12].

Проанализируем возможные случаи контактной коррозии при трении с помощью схематичной коррозионной поляризационной диаграммы (рис. 2). Точка 1 пересечения кривых K_1 и A_1 отвечает току саморастворения в контактной коррозии [13]. При трении происходят сдвиг потенциала анода в точку $\varphi_{Атр}$ и изменение характера поляризационной кривой. Если анод сохраняет склонность к пассивации, то анодная кривая имеет вид, подобный кривой A_2 . Однако чаще анод при трении находится в активном состоянии и поляризационная кривая имеет вид, подобный кривой A_3 . При неизменном катодном процессе ток саморастворения при трении возрастает (переход от точки 1 к точке 4). Если же трение повышает эффективность катода (кривые K_2 и K_3), то коррозионный ток пары сильно растет (точки 5 и 6). В случае, когда пассивность при трении сохраняется, коррозия увеличивается незначительно (ср. точки 3 и 7) и практически не зависит от катодного процесса (точки 7, 8). Если же пассивность при трении нарушается, то происходит максимальный рост тока саморастворения (точки 3 и 6).

Коррозионный ток будет тем больше, чем выше начальная разность потенциалов φ , чем меньше поляризуемость электродов и омическое сопротивление и чем больше площадь катода. При коррозионно-механическом изнашивании большую роль играет свободная поверхность, которая чаще всего и является катодом. Очень хорошо влияние свободной поверхности на интенсивность изнашивания ползуна U_2 и направляющей U_1 при трении в

морской воде представлено в работе [5]. Показано, что увеличение отношения их площадей F_2 / F_1 от 0 до 8 способствовало примерно трехкратному росту U_1 , в то же время интенсивность U_2 повысилась лишь на 18%. Увеличение свободной поверхности F_2 , т.е. макрокатода, повышает скорость коррозии направляющей, протекавшей весьма интенсивно, так как продукты коррозии непрерывно разрушались и удалялись поступательно движущимся ползуном. В то же время ползун корродировал в меньшей степени из-за плохого доступа среды в зазор между элементами пары трения. Авторы работы [14] установили, что коррозионный фактор определяет интенсивность износа только при малых давлениях.

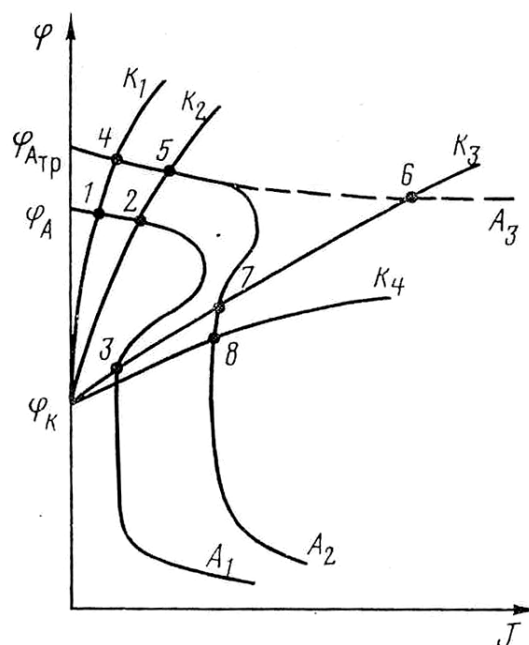


Рис. 2. Коррозионная диаграмма при трении металлов:

K_2, K_3, K_4, A_2, A_3 - катодные и анодные поляризационные кривые при трении; 1 – 8 – точки пересечения соответствующих катодных и анодных кривых

Fig. 2. Corrosion diagram at friction of a metal:

Скорость коррозии при трении зависит от величины коэффициента $K_{вз}$, который может изменяться в пределах от 0 до 1 (рис. 3). От величины $K_{вз}$ зависит соотношение анодных и катодных участков. Если рассматривать пару трения как коррозионный макроэлемент, то один из компонентов будет анодом с потенциалом φ_A , второй – катодом с потенциалом φ_K , а в зоне трения устанавливается потенциал трения $\varphi_{тр}$ (рис. 3). В зависимости от его знака и

величины поверхности трения компонент может быть анодом или катодом, что определяет протекание процессов активизации или пассивации на фрикционном контакте. В принципе возможны варианты: 1) свободная поверхность и поверхность трения находятся в активном состоянии; 2) свободная поверхность в пассивном (катод), поверхность трения в активном (анод) состоянии; 3) наоборот, свободная поверхность в активном, а поверхность трения в пассивном состоянии; 4) обе поверхности в пассивном состоянии. Последние два случая возможны, если трение инициирует процессы пассивации (трибохимические реакции, например, трибополимеризация и др.). Максимальной скоростью коррозии будет во втором случае, когда реализуется ситуация, представленная на диаграмме точкой б (см. рис. 2), причем здесь эффект трибокоррозии будет тем больше, чем меньше $K_{вз}$.

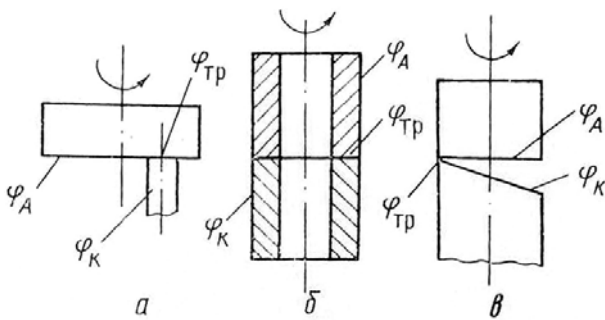


Рис. 3. Схемы торцового трения с различными $K_{вз}$: а – $K_{вз} < 0,5$;

б – $K_{вз} \rightarrow 1$; в – макроприработка

Fig. 3. Schemes mechanical friction with various $K_{вз}$

При $K_{вз} \rightarrow 1$ затрудняется доступ среды во фрикционный зазор; при $K_{вз} \rightarrow 0$ поверхность, активированная трением, выходя из зоны трения, мгновенно оmyвается значительным количеством технологической среды – электролита, что повышает скорость коррозии. Существенную роль при коррозионно-механическом изнашивании играют процессы макро- и микроприработки. При микроприработке (рис. 3, в) $K_{вз}$ изменяется от 0 до 1. С ростом $K_{вз}$ площадь катода уменьшается, доступ среды затрудняется и скорость коррозии замедляется. При микроприработке устанавливается так называемая равновесная шероховатость поверхности [15]. При этом увеличи-

вается площадь фактического контакта, которая составляет не более 0,01-0,1 номинальной площади. Отсюда ясно, что соотношение анодных (зона контакта микронеровностей) и катодных участков практически остается постоянным, т.е. при микроприработке $K_{вз}$ не играет такой значительной роли, как при макроприработке. Протекание коррозии при формировании равновесной шероховатости в большей степени определяется частотой и амплитудой колебаний потенциала ϕ . Равновесная шероховатость с этой точки зрения – это такая шероховатость, которая обеспечивает колебание ϕ , способствующее протеканию избирательной адсорбции определенных компонентов технологической среды, ингибирующих коррозионные процессы при трении.

Анализ приведенных схем показывает, что общепринятая точка зрения об обязательном резком увеличении скорости коррозии при трении не всегда выполняется. И возможны такие ситуации (упомянутые выше случаи 3, 4), когда коррозия будет снижаться. Именно к этому необходимо стремиться при разработке методов борьбы с коррозионно-механическим изнашиванием оборудования пищевых и перерабатывающих предприятий.

В области исследования электрохимических процессов при трении металлов можно выделить два взаимосвязанных направления: использование электрохимических параметров для получения информации о контактных процессах; попытка управления трением и изнашиванием материалов с помощью электрохимических методов. Второе направление – активное вмешательство в ход электрохимических процессов на фрикционном контакте – получило значительно меньшее развитие, чем первое, хотя представляется достаточно перспективным. Рассмотрим некоторые методы такого вмешательства, разрабатываемые в настоящее время.

Поляризация фрикционной системы от внешнего источника. Метод заключается в том, что потенциал ϕ системы с помощью внешнего источника поляризации (поляризатора) сдвигается в оптимальную для протекания процесса трения и изнашивания область и поддерживается на заданном уровне во время работы пары трения [16]. Для реализации метода необходимо проведение исследований по

выявлению оптимальных потенциалов ϕ для различных условий работы пар трения, а также создание удобных и компактных поляризаторов. Поляризация фрикционной системы преследует различные цели: снизить поверхностную энергию, улучшить смачиваемость и адсорбцию компонентов среды и др. Частными случаями этого метода является анодная и катодная защита. Последняя нашла ограниченное применение предохранения от коррозии оборудования для пищевых и перерабатывающих производств.

Следует отметить, что поляризация с помощью вспомогательного третьего электрода может быть с успехом использована и тогда, когда один из элементов пары трения является не электропроводным (при трении пар пластика-металл, при использовании минералокерамики, при абразивной обработке сырья).

Протекторная защита. При коррозионно-механическом изнашивании для подавления коррозии в качестве защитных протекторов можно применять такие металлы, как цинк, магний, алюминий и их сплавы. Примером успешного применения протекторной защиты при трении могут служить результаты опытов, приведенные в работе [18], которые показали, что при установке цинкового протектора износ образцов при трении в нейтральном солевом растворе уменьшился в 6-9 раз по сравнению с износом без протектора.

Оптимальные соотношение площадей трущейся и свободной поверхностей. В работе [14] была показана роль свободной поверхности при коррозионно-механическом изнашивании, которая часто является эффективным катодом. А в работе [19] показано, что при трении стали по керамике с увеличением площади нетрущейся поверхности металла растет скорость коррозионно-механического изнашивания на дорожке трения.

Сдвиг потенциала ϕ с помощью специальных добавок в электролит. В тех случаях, когда это допускается, можно регулировать смазочное действие среды путем сдвига потенциала ϕ в оптимальную область с помощью различных добавок в технологическую электропроводную среду.

Применение ингибиторов коррозии. Этот метод по своей идее близок к предыдущему, но цель его более узкая: замедлить коррозию при коррозионно-механическом изнашивании

с помощью ввода в среду специальных поверхностно-активных веществ. Известны примеры успешного применения ингибиторов коррозии при трении [17, 20]. Однако следует отметить, что так как большинство ингибиторов коррозии разработано для уменьшения скорости коррозии, многие из них не обладают хорошими смазочными свойствами, а в некоторых случаях резко ухудшают антифрикционные свойства. Так, например, один из распространенных ингибиторов – нитрит натрия – ухудшает смазочные свойства сред – электролитов, увеличивая интенсивность изнашивания [14, 20, 21] и коэффициент трения. Повидимому, в случае коррозионно-механического изнашивания необходимо говорить о создании веществ – «ингибиторов изнашивания», обладающих хорошими как антифрикционными, так и антикоррозионными свойствами.

ВЫВОДЫ

Подводя итоги, укажем основные задачи, которые, по нашему мнению, следует решить при исследовании электрохимических явлений, протекающих при трении изнашивании металлов в технологических средах пищевых и перерабатывающих производств:

1. Раскрытие физической природы влияния электродных потенциалов на процессы трения и изнашивания металлов в пищевых технологических средах – электролитах.

2. Широкое использование и стандартизация потенциостатического метода исследования процесса трения металлов в средах электролитах.

3. Разработка методики выбора материалов для пар трения, работающих в условиях коррозионно-механического изнашивания с использованием электрохимических методов определения скорости коррозии при трении.

Разработка электрохимических методов управления процессами трения и изнашивания, которые могли бы быть использованы в пищевой и перерабатывающей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Prejs G.A. 1979: Povyshenie iznosostojkosti oborudovanija pishhevoj promyshlennosti:

ПРИРОДА КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ
ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- Monografija / G.A. Prejs, N.A. Sologub, A.I. Nekož. – M.: Mashinostroenie. – 208.
2. Suhenko J.G. 1993: Tehnologichni metodi zabezpečennja dovgovichnosti obladnannja harchovoi promislovosti: Monografija / J.G. Suhenko, O.I. Nekož, M.S. Stechishin. – K.: Eleron. – 108.
3. Suprunchuk V.K. 1984: Konstrukcionnye materialy i pokrytija v prodovol'stvennom mashinostroenii: Spravochnik / V.K. Suprunchuk, J.V. Ostrovskij. – M.: Mashinostroenie. – 328.
4. Novickij A.E. 1980: Issledovanie iznashivaniya materialov v tehnologicheskikh sredah molochnoj promyshlennosti / A.E. Novickij, G.A. Prejs, J.D. Lysenko // Problemy trenija i iznashivaniya: nauch.-tehn. sb. – Vol. 17. – K.: Tehnika. – 62–64.
5. Suhenko J.G. 1988: Iznosostojkost' gazoplamennyh pokrytij v tehnologicheskikh sredah pishhevyyh proizvodstv / J.G. Suhenko, A.I. Slyn'ko, A.I. Malygin, D.I. Gnatenko // Problemy trenija i iznashivaniya: nauch.-tehn. sb. – Vol. 34. – K.: Tehnika. – 71–75.
6. Tishhenko G.P. 1985: Povyshenie dolgovechnosti pishhevogo oborudovaniya: Monografija / G.P. Tishhenko, A.N. Trofimovich. – M.: Atomizdat. – 208.
7. Romenskij N.P. 1978: Povyshenie dolgovechnosti oborudovaniya saharnyyh zavodov: Monografija / N.P. Romenskij, G.A. Prejs, V.K. Suprunchuk. – K.: Tehnika. – 136.
8. Kragel'skij I.V. 1968: Trenie i iznos / I.V. Kragel'skij. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie. – 480.
9. Tribologija 2009: / M.V. Kindrachuk, V.F. Labunec', M.I. Pashhenko, E.V. Korbut. – K., NAU. – 576.
10. Babej J.I. 1981: Zashhita stali ot korrozionno-mehanicheskogo razrusheniya: Monografija / J.I. Babej, N.G. Soprunjuk. – K.: Tehnika. – 126.
11. Suhenko V.J. Znosostojkost' evtektichnih pokrittiv pid vplivom soljanogo rozchinu / V.J. Suhenko, J.G. Suhenko, J.I. Bojko, V.V. Manuilov // Prodovol'cha industrija APK: nauk.-prakt. zhurnal. – K.: – № 1 – 6–9.
12. Prejs G.A. 1992: Elektrohimičeskie javlenija pri trenii metallov / G.A. Prejs, A.G. Dzjub // Trenie i iznos, t.1. №92 – 217–234.
13. Zhuk N.P. 1976: Kurs teorii korrozii i zashhity metallov: Monografija / N.P. Zhuk. – M.: Metallurgija. – 472.
14. Kruman B.B. 1968: Korrozionno-mehanicheskij iznos: Monografija / B.B. Kruman, V.A. Krupicina. – M.: Mashinostroenie. – 104.
15. Kragel'skij I.V. 1977: Onovy rascheta na trenie i iznos: Monografija / I.V. Kragel'skij, M.N. Dobyčhin, V.S. Kombalov. – M.: Mashinostroenie. – 526.
16. Romenskij N.P. 1989: Povyshenie dolgovechnosti oborudovaniya pishhevoj promyshlennosti / N.P. Romenskij, N.A. Sologub, G.A. Prejs. – K.: Urozhaj. – 160.
17. Tishhenko G.P. Intensifikacija processov i zashhita oborudovaniya pishhevyyh proizvodstv: Monografija / G.P. Tishhenko, N.D. Homenko, V.J. Suhenko, P.P. Ermakov, J.G. Suhenko; pod red. professora J.G. Suhenko. – K.: DIJa. – 224.
18. Butakov B.I. 2010: Issledovanie i razrabotka tehnologii i ustrojstv dlja obkatyvanija i raskatyvanija detalej rolikami s uchetom zhestkosti sistemy stanok–instrument–detal'. / B.I. Butakov, O.V. Zubyehina // MOTROL. – Lublin. – 139–153.
19. Lazarev G.E. 1978: Projavlenie kontaktnoj korrozii pri trenii / G.E. Lazarev, V.D. Shipilov, T.L. Harlamova. V.I. Verejkin / M.: Himicheskoe i neftjanoe mashinostroenie, №5 – 28–35.
20. Suhenko J.G. 2010: Nadijnist' i dovgovichnist' ustatkuvannja harchovih i pererobnih virobničtv: Pidručnik. / J.G. Suhenko, O.A. Litvinenko, V.J. Suhenko; pid red. profesora J.G. Suhenko – Kiev: NUHT. – 547.
21. Butakov B.I. 2008: Razrabotka sposoba obkatyvanija rolikami stal'nyh detalej s cel'ju povysheniya ih kontaktnoj prochnosti. / B.I. Butakov, D.D. Marchenko // MOTROL. – Lublin. Vol. 10B. – 15–28.

**NATURE FRETTING EQUIPMENT AND
FOOD PROCESSING INDUSTRY**

Summary. Shows the effect of food processing environments – electrolytes corrosion-mechanical wear of equipment parts and outlines ways to protect against wear and tear.

Key words: food environment, electrolytes, friction, wear, polarization potential, the technique, wear resistance, corrosion.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК – МАШИНА» МЕТОДОМ ГРАФОВ

Андрей Новицкий

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Andrey Novitskiy

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Разработана стохастическая модель и проведён анализ системы «человек-машина» при накоплении отказов. Получена модель для определения вероятности безотказной работы системы для условия повышения профессионального и психофизиологического уровня оператора. Получены аналитические зависимости для определения вероятности безотказной работы системы.

Ключевые слова: машина, система «человек-машина», надёжность, человек-оператор, граф состояний.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анализ основных тенденций развития сложных технических систем «Человек - машина» (СТС «ЧМ»), к которым относится сельскохозяйственная техника показывает, что такие системы имеют целый ряд особенностей, среди которых можно выделить следующие: наличие подсистем, элементов и связей между ними; их многофункциональность; зависимость надёжности от надёжности составляющих «Машина» («М») и «Человек - Оператор» («Ч»). В подавляющем большинстве случаев при расчёте показателей надёжности СТС «ЧМ» не учитываются факторы, которые зависят от составляющей «Ч», мало внимания уделяется определению показателей надёжности указанной составляющей. В первую очередь, это связано с тем, что испытания для подтверждения показателей надёжности таких эргатических систем имеют большие технические и организационные трудности, чем обычные технические системы, а для многих систем с операторами, особенно при использовании сельскохозяйственной техники, исследования практически отсутствуют. Вместе с тем, даже приближённые аналитические исследова-

ния надёжности СТС «ЧМ» приводят к очень громоздким преобразованиям, и не всегда используются для оценки и повышения надёжности технических объектов.

В связи с этим, возникает необходимость проведения исследований влияния на надёжность СТС «ЧМ» не только состояния технического объекта, но и профессионально-психофизиологического состояния оператора.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ показывает, что среди основных причин низкой эффективности использования сельскохозяйственной техники, как СТС «ЧМ», можно считать: усовершенствование и, вместе с тем, очень часто низкий уровень её надёжности; недостаточный объём, качество и своевременность ТО; отсутствие диагностического оборудования, приборов и документации; необходимость подготовки и повышения квалификации персонала.

На решение рассмотренных проблем направлены многие научные работы. В последние годы, в научных изданиях Украины и стран ближнего зарубежья появились исследования [3-7, 18], в которых рассматриваются вопросы обеспечения надёжности техники, как сложных технических систем. В представленных статьях объектами исследований выступали машины и системы «машина-база технического обслуживания», машины и способы структурного резервирования. В научных работах были рассмотрены ситуации, когда одновременно меняются, как технический уровень машин, так и потенциальные возможности базы ТО [3, 11, 20]. Следует отметить исследования в направлении структурного резервирования, как ненагруженного (пассивного) [1], так и нагру-

женного (активного) для обеспечения надёжности сложных систем [2].

Исследование проблемы оценки надёжности эргодических систем, включая надёжность человека-оператора, как важной компоненты системы «ЧМ», нашли отражение в работах [8, 9, 12, 15, 17, 19].

В настоящее время вопросам оценки работоспособности сложных человеко – машинных систем уделяется недостаточно внимания, нет единого концептуального подхода к исследованию таких систем [23, 2]. Для таких систем трудно сформировать основную причину, которая может привести к отказу. В связи с этим, проблема оценки работоспособности эргодических систем актуальна и требует комплексного системного подхода. Как показывает практика, эффективная и надёжная эксплуатация СТС в условиях современного сельскохозяйственного производства неразрывно связана с высокой надёжностью и эффективностью деятельности персонала [13, 16]. Это указывает на то, что повышение эффективности работы сельскохозяйственной техники, как СТС «ЧМ», требует усиления внимания к подбору персонала, прежде всего, к профессиональной подготовке и психофизиологическому отбору [8, 10, 25].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью статьи является разработка методологических основ определения показате-

лей надёжности СТС «ЧМ» на основе вероятностного моделирования с использованием теории графов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для достижения необходимого уровня надёжности техники, как СТС «ЧМ», следует больше внимания уделить исследованию составляющей «Ч». Одной из распространённых ситуаций эволюции развития представленной СТС «ЧМ» могут быть события, когда со временем, в процессе эксплуатации, при общем естественном старении СТС переходит в неработоспособное состояние в результате отказа составляющей «М» или составляющей «Ч». Исходя из выше изложенного, модель такой СТС «ЧМ» можно представить следующим графом состояний и переходов (рис. 1). Рассмотрим представленные состояния и переходы: «0» – работоспособное состояние, «1» – неработоспособное состояние (устранение отказов оператора и устранение отказов машины), «0'» – промежуточное (фиктивное) состояние – старение оператора, «0''» – промежуточное (фиктивное) состояние – старение машины, $\lambda'_0, \lambda''_0, \lambda'_1, \lambda''_1$ – интенсивности отказов составляющих; μ – интенсивность восстановлений составляющих.

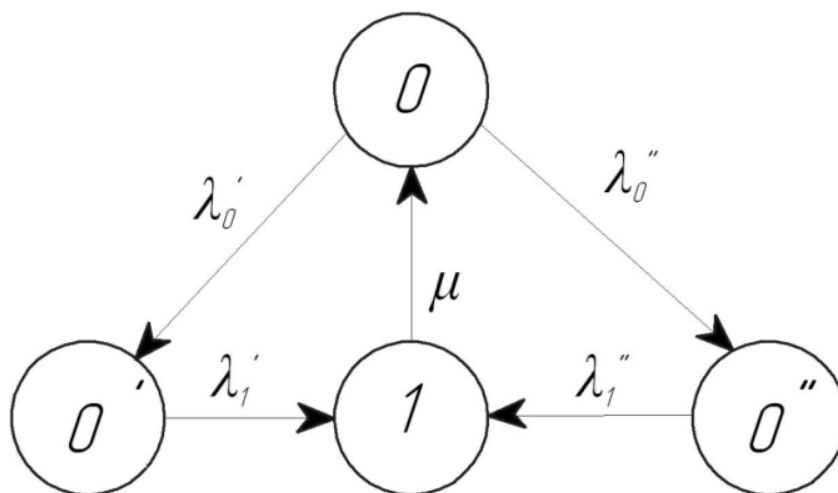


Рис. 1. Граф состояний и переходов системы «человек – машина»

Fig. 1. Graphic representation of the states and transitions of the «human – machine»

СТС «ЧМ» начинает работу с работоспособного состояния «0». Это состояние характеризуется тем, что составляющие «Машина» и «Человек – оператор» находится в работоспособном состоянии. Со временем, в процессе эксплуатации, в результате морального и физического «старения» составляющая «М» переходит в неработоспособное (фиктивное) состояние «0''». В процессе «старения» техники усложняются отказы, растёт их трудоемкость и время на устранение.

Составляющая СТС «ЧМ» «Ч» также не остаётся без изменений, и под действием объективных и субъективных факторов может перейти в неработоспособное (фиктивное) состояние «0'». Причин этого перехода компоненты «Ч» в неработоспособное состояние несколько: знаний оператора и необходимость дополнительного времени на ознакомление с новой машиной, её конструкцией, особенностями эксплуатации; недостаточная квалификация оператора, которая задерживает своевременное устранение отказов при потере работоспособности или сервисном обслуживании.

Такие состояния и переходы СТС «ЧМ» дают возможность проследить и провести математическое описание поведения состав-

ляющих «М» и «Ч» благодаря введению фиктивных состояний «0''» и «0'». Это упрощает решение задачи математической формализации функционирования СТС «ЧМ», для случая когда интенсивности её переходов из состояния в состояние являются величинами переменными. Для количественного описания представленного на рис. 1 графа составлены дифференциальные уравнения динамического баланса для вероятностей состояний СТС «ЧМ» [21, 22]:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0(t) = -\lambda_0' P_0(t) + \mu P_1(t) - \lambda_0'' P_0(t), \\ \frac{d}{dt} P_1(t) = \lambda_1' P_0'(t) - \mu P_1(t) + \lambda_1'' P_0''(t), \\ \frac{d}{dt} P_0'(t) = -\lambda_1' P_0'(t) + \lambda_0' P_0(t), \\ \frac{d}{dt} P_0''(t) = -\lambda_1'' P_0''(t) + \lambda_0'' P_0(t). \end{cases} \quad (1)$$

Для решения представленной системы использован метод Крамера [5]. После ряда преобразований получена аналитическая зависимость для определения вероятности безотказной работы СТС «ЧМ» в любой момент времени t при накоплении повреждений:

$$\begin{aligned} P_0(t) = K_a(t) = & \frac{\lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu}{S_3 S_4} + \\ & + 1 - \frac{\lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu}{S_3 S_4} - \frac{-(\lambda_1'' + \lambda_1' + \mu) - S_4 + \frac{\lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu}{S_4}}{(S_3 + S_4)} \times \\ & \times \exp(-S_3 t) + \frac{-(\lambda_1'' + \lambda_1' + \mu) - S_4 + \frac{\lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu}{S_4}}{(S_3 + S_4)} \exp(-S_4 t). \end{aligned} \quad (2)$$

Определим значения S_3 и S_4 составляющих уравнения:

$$\begin{aligned} S_3 = & -\frac{1}{2}(\lambda_1' + \lambda_0' + \lambda_0'' + \lambda_1'' + \mu) + \\ & + \sqrt{\frac{1}{4}(\lambda_1' + \lambda_0' + \lambda_0'' + \lambda_1'' + \mu)^2 - (\lambda_0' \lambda_1' + \lambda_0'' \lambda_1' + \lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu + \lambda_0'' \mu + \lambda_0' \mu)}. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S_4 = & -\frac{1}{2}(\lambda_1' + \lambda_0' + \lambda_0'' + \lambda_1'' + \mu) - \\ & - \sqrt{\frac{1}{4}(\lambda_1' + \lambda_0' + \lambda_0'' + \lambda_1'' + \mu)^2 - (\lambda_0' \lambda_1' + \lambda_0'' \lambda_1' + \lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu + \lambda_0'' \mu + \lambda_0' \mu)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Опыт использования техники показывает, что одним из резервов повышения профессионально-психофизиологического уровня «Ч» является качественная подготовка и повышение квалификации персонала. То есть, уровень надёжности СТС «ЧМ» можно повысить не только путем проведения ремонтно-профилактических работ, но и путём совершенствования составляющей «Ч». Модель СТС «ЧМ» для «стареющих» машин и операторов, которые повышают свой профессионально-психофизиологический уровень можно представить в виде графа состояний и переходов на рис. 2. Рассмотрим, представленный на рис. 2 граф, состояния и переходы системы: «0» – работоспособное состояние, «1» – неработоспособное состояние (устранение отказов оператора и устранения отказов машины), «0'» – промежуточное (фиктивное состояние) «старение» машины, «0''» – промежуточное(фиктивное состояние) «старение» оператора, «1'» – промежуточное (фиктивное состояние) повышение своего профессионально – психологического уровня оператором;

$\lambda_0, \lambda'_0, \lambda''_0, \lambda_1, \lambda_1''$ – интенсивности отказов составляющих; μ – интенсивность обновлений составляющих.

Работа такой СТС «ЧМ» начинается из положения «0», что соответствует работоспособному состоянию системы, когда обе составляющие «Ч» и «М» находятся в работоспособном исходном положении. Предположим, что со временем, при постепенном «старении» СТС проходит накопление отказов составляющих «Ч» и «М» и они могут перейти в одно из фиктивных состояний «0''» для «Ч» или «0'» для «М». Из положения «0» СТС «ЧМ» может перейти в состояние «1'» – промежуточное (фиктивное) состояние – повышение оператором своего профессионально-психофизиологического уровня. Улучшение своего состояния «Человек – оператор» может достичь путем обучения: переподготовки, повышения квалификации. Для количественного описания представленного на рис. 2 графа составлены дифференциальные уравнения динамического баланса для вероятностей состояний СТС «ЛМ» [22, 23]:

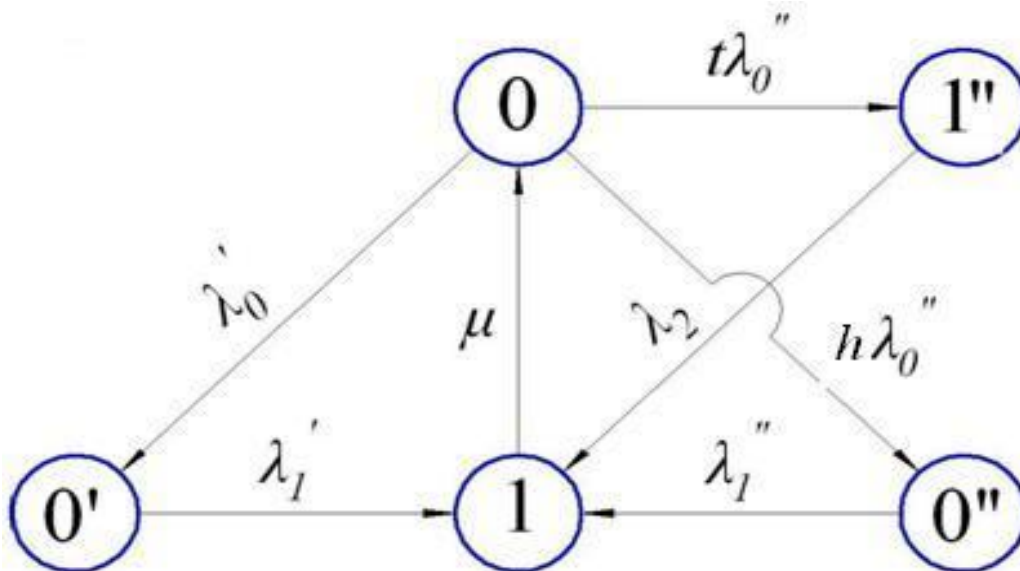


Рис. 2. Граф состояний и переходов системы «человек-машина» для «стареющих» машин и операторов, которые повышают свой профессионально-психофизиологический уровень
Fig. 2. Count of states and transitions of the «human-machine» for the «aging» of machines and operators that enhance their professional and psycho-physiological level

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0(t) = \mu P_1(t) - \lambda'_0 P_0(t) - h \lambda_0'' P_0(t) - t \lambda_0'' P_0(t), \\ \frac{d}{dt} P'_0(t) = \lambda'_0 P_0(t) - \lambda'_1 P'_0(t), \\ \frac{d}{dt} P''_0(t) = h \lambda_0'' P_0(t) - \lambda_1'' P_1(t), \\ \frac{d}{dt} P_1(t) = \lambda'_1 P'_0(t) + \lambda_2 P_1(t) + \lambda_1'' P_0''(t) - \mu P_1(t), \\ \frac{d}{dt} P_1''(t) = t \lambda_0'' P_0(t) - \lambda_2 P_1''(t). \end{cases} \quad (5)$$

Для решения представленной системы дифференциальных уравнений использован метод Гаусса [5].

После ряда преобразований и использования представленной выше методики [5], получим зависимости для определения вероятностей пребывания СТС «ЧМ» в состояниях, согласно рис. 2:

$$P_1 = \frac{(-h \lambda_0'' \lambda_1'' (1 + \lambda'_1 + 2 \lambda'_0)) (S^4 + 2 S^3 \lambda'_1 + 2 S^3 \lambda'_0 + 2 S^3 \lambda_2 - 2 S^3 t \lambda_0'')}{(S^2 h \lambda_0'' - S^2 \lambda_1'' + h \mu \lambda_0'') (S^4 + 2 S^3 \lambda'_1 + 2 S^3 \lambda'_0 + 2 S^3 \lambda_2 - 2 S^3 t \lambda_0'') + S^2 h \lambda_0'' (\lambda_2 + \lambda_1'')}. \quad (6)$$

$$P_1'' = - \frac{(-S t \lambda_0'') (-S h \lambda_0'' \lambda_1'' (1 + \lambda'_1 + 2 \lambda'_0))}{(S^2 h \lambda_0'' - S^2 \lambda_1'' + h \mu \lambda_0'') (S^4 + 2 S^3 \lambda'_1 + 2 S^3 \lambda'_0 + 2 S^3 \lambda_2 - 2 S^3 t \lambda_0'') + S^2 h \lambda_0'' (\lambda_2 + \lambda_1'')}. \quad (7)$$

$$P_0'' = \frac{h \lambda_0'' (S + \lambda'_1) - ((S + \lambda'_1 - \lambda'_0) (S + \lambda_1'' + h \lambda_0'') - \lambda'_0 h \lambda_0'') P_1 + h \lambda_0'' (S + \lambda'_1) P_1''}{h \lambda_0'' (S + \lambda'_1)}. \quad (8)$$

$$P'_0 = \frac{\lambda'_0 (1 - P_0'' - P_1 - P_1'')}{(S + \lambda'_1 - \lambda'_0)}. \quad (9)$$

На основе полученных аналитических зависимостей (11) – (14) для установления вероятностей нахождения системы в состояниях P'_0 , P''_0 , P_1 , P_1'' , вероятность пребывания системы «ЧМ» в состоянии P_0 будет составлять:

$$P_0 = 1 - (P'_0 + P''_0 + P_1 + P_1''). \quad (10)$$

Исходя из выше изложенного установлено, что для определения показателей надёжности СТС «ЧМ» целесообразно использовать метод вероятностного моделирования, теорию графов. Приведенные аналитические зависимости позволяют проводить расчёты показателей структурной и функциональной надёжности систем. Это ещё раз указывает на то, что для обеспечения необходимого уровня надёжности СТС «ЧМ» сельскохозяйственной техники и их составляющих,

необходимо сформировать долгосрочную стратегию функционирования инженерно – технической службы аграрных и сервисных предприятий, организационно – методические основы её обеспечения. Новые образцы современной сельскохозяйственной техники, поступающие сегодня на отечественный рынок для обновления и пополнения парка машин, конструктивно более сложные, технически и технологически совершенные, нуждаются в новом уровне подготовки эксплуатационников и специалистов службы технического сервиса. В последние десятилетия в разных отраслях экономики получил широко распространение направление повышения «профессионально важных качеств» (ПВК) персонала, под которым следует понимать индивидуальные качества субъектов деятельности, влияющие на эффективность деятельности и успешность ее освоения. ПВК

являются интегральными психофизиологическими и психологическими показателями, которые формируются по механизму функциональных систем в процессе профессиональной деятельности персонала. Заслуживают на внимание исследования развития ПВК инженерно – технических работников при различных концепциях управления, которые включают профессиональное обучение и продвижение по службе персонала.

ВЫВОД

На основании проведенных исследований установлено, что для достижения необходимого уровня надёжности СТС «ЧМ» следует больше внимания уделить изучению и развитию её составляющей «Человек – оператор». Перспективными направлениями в обеспечении эффективности СТС «ЧМ» является мониторинг: методов расчёта повышения надёжности; состояния техники и технологических процессов ремонтных и сервисных предприятий; профессионально важных качеств персонала и направлений для повышения их квалификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boyko A.I. 2013: Varirovanie izmeneniy pokazateley nadyozhnosti passivno rezerviruemykh sistem pri povrezhdennom osnovnom i ispravnom dubliruyuschem elementah / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko, V.M. Savchenko // *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictva motorization and power industry in agriculture*. – Lublin. – Vol. 15, No 2. – 35–39.
2. Boyko A.I. 2013: Grafoanaliticheskiy analiz sostoyaniy i perehodov v vozmozhnyie sostoyaniya aktivno rezerviruemykh tehnikeskoykh sistem / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko, V.M. Savchenko // *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictva motorization and power industry in agriculture*. – Lublin. – Vol. 15, No 4, – 231–235.
3. Boyko A.I. 2010: Ustanovlenie funktsii vosstanovleniya podsistem zernoborochnykh kombaynov v usloviyah razvitiya sferyi tehnikeskogo obsluzhivaniya / A.I. Boyko, K.N. Dumenko // *Vestnik LNAU. Agrozheneryiye issledovaniya* – Lvov. – T.1, № 14. – 12–20.
4. Boyko A.I. 2013: *Matematichne modelyuvannya sistemi «lyudina-mashina» pri nakopichenni vidmov* / A.I. Boyko, A.V. Novitskiy // *Visnik HNTUSG Im. Petra Vasilenka*. – Harkiv, HNTUSG. – Vip. 134. – 75–80.
5. Bronshteyn I.N. 1981: *Spravochnik po matematiki* / I.N. Bronshteyn, K.A. Semendyaev // М.: Nauka. – 720.
6. Byikov V.V. 2005: *Metodologicheskie i tehnologicheskie osnovyi sistemyi tehnikeskogo servisa lesnykh mashin: avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni doktora tehn. nauk: 05.21.01* / Byikov Vladimir Vasilevich. – Moskva. – 43.
7. Dzherald Sandler. 1966: *Tehnika nadezhnosti sistem* / S. Dzherald; per. s angl. A.L. Raykina. Seriya «Teoreticheskie osnovyi tehnikeskoy kibernetiki». – М., «Mir». – 300.
8. Doroshenko T.M. 2009: *Stimulyuvannya profesijnogo rozvitku pratsivnikiv v sistemI strategichnogo rozvitku pidpriEmstva*. / T.M. Doroshenko // *Zbirnik naukovih prats Kirovogradskogo natsionalnogo tehnikeskogo universitetu. seriya: ekonomichni nauki*. – Kirovograd. – №15. – 258–264.
9. Druzhinin G.V. 1977: *Nadyozhnost avtomatizirovanykh sistem* / G.V. Druzhinin. *Izd. 3-e pererab. i dop.* – М., «Energiya». – 536.
10. Ena T.A. 2010. *Profesijno vazhlyvi yakosti dispetcheriv energosistem* / T.A. Ena, V.V. Kalnish // *Ukrayinskiy zhurnal z problem meditsini pratsI.* – № 4 (24). – 11–20.
11. Kozachenko O.V. 2010: *Perspektivi rozvitku tehnikeskogo obslugovuvannya I remontu mashin* / O.V. Kozachenko // *Visnik HNTUSG Im. Petra Vasilenka*. – Harkiv, HNTUSG. – Vip. 94. – 3–8.
12. Kostikov V.A. 2008: *Nadezhnost tehnikeskikh sistem i tehnogennoho riski* / V.A. Kostikov. – М., MGTUGA. – 136.
13. Lehman S.D. 2011: *Metodologiya doslidzhennya nebezpechnih protsesiv pri funktsionuvanni ergativnih sistem agrarnogo virobnitstva* / S.D. Lehman, M.V. Panfilova // *Tehnika ta energetika APK: zbirnik naukovih prats NUBIPU*. – K.: NUBIPU. – Vip. 166, ch. 1. – 294–301.
14. Makrinova E.I. 2012: *Metodika kompleksnoy otsenki upravlencheskogo personala v organizatsiyah potrebitelskoy kooperatsii* / E.I. Makrinova, M.G. Muhina // *Ekonomi-*

- cheskie nauki. Fundamentalnyie issledovaniya. – № 3. – 696–701.
15. Nechiporenko V.I. 1977: Strukturnyy analiz sistem (effektivnosti i nadezhnosti) / V.I. Nechiporenko. – M.: «Sovetskoe radio». – 211.
16. Novitskiy A.V. 2013: Metodichni pidhodi otsinki nadlynosti lyudini-operatora, yak skladovoyi sistem «lyudina – mashina – seredovische» / A.V. Novitskiy, Z.V. Ruzhilo, O.A. Novitska // Visnik HNTUSG Im. Petra Vasilenka. – Harkiv, HNTUSG. – Vip. 133. – 243–248.
17. Ostreykovskiy V.A. 2003: Teoriya nadyozhnosti: uchebnoe posobie / V.A. Ostreykovskiy. – M.: Vyssh. shk. – 463.
18. Pozdnyakov V.D. 2006. Povyshenie nadezhnosti i effektivnosti funktsionirovaniya operatorov mehanizirovanykh protsessov zhitovnodstva: avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni doktora tehn. nauk: 05.20.01/ Pozdnyakov Vasiliiy Dmitrievich. – Orenburg. – 35.
19. Poshivalov V.P. 2010: Vznachennya kompleksnih pokaznikov nadlynosti ergatichnih sistem / V.P. Poshivalov, Yu.F. Daniev, O.V. Poshivalova // Visnik Akademiyi mitnoyi sluzhbi UkraYini. Seriya: “Tehnichni nauki”. – № 1 (43). – 111–119.
20. Rogovskiy I.L. 2011: Vpliv pokaznikov nadiynosti na perlodichnist tehničnogo obslugovuvannya silskogospodarskih mashin / I.L. Rogovskiy // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 13B. – 92–97.
21. Rogovskiy I.L. 2013: Metodologiya tehničnogo obslugovuvannya silskogospodarskih mashin / I.L. Rogovskiy, O.V. Dubrovina // Tehnika ta energetika APK: zbirnik naukovih prats NUBIPU. – K.: NUBIPU. – Vip. 185, ch. 2. – 372–379.
22. Ushakov I.A. 2008: Kurs teorii nadyozhnosti sistem: uchebnoe posobie dlya vuzov / I.A. Ushakov. – M.: Drofa. – 239.
23. Ushakov I.A. 1985: Nadyozhnost tehnichestkih sistem. Spravochnik / I.A. Ushakov. – M.: Radio i svyaz. – 606.
24. Fedirets O.V. 2006: Riven kvalifikatsiyi mehanizatoriv yak faktor energozaoschadzhennya v agrarnih pidpriemstvah / O.V. Fedirets // Visnik Poltavskoyi derzhavoyia agrarnoyi akademiyi, – Vipusk 1. – 234–240.
25. Shtutman P.L. 2009: Teoretiko – metodichni zasady rozrobki modeli kompetentsiy personalu / P.L. Shtutman // Zbirnik naukovih prats Kirovogradskogo natsionalnogo tehničnogo universitetu. seriya: ekonomichni nauki. – Kirovograd. – № 15. – 40–44.

STUDY RELIABILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEM THAT "MAN - MACHINE" GRAPH METHOD

Summary. The developed stochastic model and conducted a systematic analysis of the «human-machine» in the accumulation of a failures. A model for determining the probability of failure-free operation of the system for the provision of professional development and psychophysiological levels of the operator. The analytical dependence for the determination of the probability of a failure of the system.

Key words: machine, system "man – machine", reliability, man – an operator, graph states.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ „МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА ГРУЗА – ГРУЗ – ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО”

Вячеслав Ловейкин, Юрий Ромасевич, Василий Голдун

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Vyatcheslav Loveikin, Yuriy Romasevich, Vasilii Goldun

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Построена динамическая модель системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”. На основании использования уравнений Лагранжа второго рода найдены уравнения движения отдельных элементов системы. Математическая модель системы является многоэтапной. Для всех элементов системы записаны начальные условия их движения, которые совместно с уравнениями движения позволяют провести динамический анализ работы исследуемой системы.

Ключевые слова: грузоподъемный кран, груз, моделирование, транспортное средство, уравнения движения.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для того, чтобы определить наибольшие нагрузки в элементах некоторой динамической системы необходимо провести ее динамический анализ [1]. Для этого сначала нужно построить динамическую модель системы, а потом, на ее основе, – математическую.

Математическая модель исследуемой системы является системой дифференциальных уравнений, решая которые можно получить функции изменения усилий в элементах механизма подъема груза и транспортного средства.

Анализ найденных усилий дает возможность установить основные факторы их возникновения.

Меняя эти факторы можно целенаправленно уменьшать нежелательные динамические нагрузки в элементах механизма подъема груза, моста крана, и в элементах подвески транспортного средства.

В конечном итоге это приводит к повышению их надежности и долговечности.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работах [2-8] проведены исследования динамики движения механизма подъема груза. Характерной чертой этих исследований является то, что динамическая модель системы не учитывает основание, на которое выполняется посадка груза или с которого груз поднимается. Это может привести к неоправданно большим расчетным динамическим усилиям в элементах механизма подъема груза. Уточнение расчетов требует уточненной динамической модели крана, которая отражала бы взаимодействие груза и основы.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель приведенной работы – разработать математическую модель динамики движения системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”.

Для достижения поставленной цели ставятся такие задачи: 1) разработать динамическую модель исследуемой системы; 2) на основании уравнения Лагранжа второго рода синтезировать математическую модель движения системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Первым этапом в процессе динамического анализа любой механической системы есть построение ее динамической модели [9-11]. Для этого необходимо выделить наиболее существенные факторы, которые влияют на динамику системы. При этом должны выполняться два главных требования [12]: динамическая модель должна быть не очень сложной и в достаточной мере адекватной

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ „МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА ГРУЗА – ГРУЗ – ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО”

реальной технической системе. Укажем основные предположения, которые были приняты для построения динамической модели: 1) все элементы механизма подъема груза и транспортного средства есть абсолютно жесткими телами; 2) все элементы системы движутся в том числе осуществляют колебательные движения в вертикальной плоскости (рассматривается плоская задача); 3) приведенная жесткость грузовых канатов при подъеме и опускании груза меняется мало и потому она принимается постоянной величиной; 4) пренебрегаем весом каната; 5) момент сопротивления холостого хода механизма подъема груза принимается постоянной величиной; 6) радиус канатного барабана является постоянной величиной; 7) считаем, что нагрузочно-разгрузочные процессы проходят в помещении и потому действие ветра и других факторов не учитываем. Используя указанные предположения, была разработана динамическая модель системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”, которая показана на рис. 1.

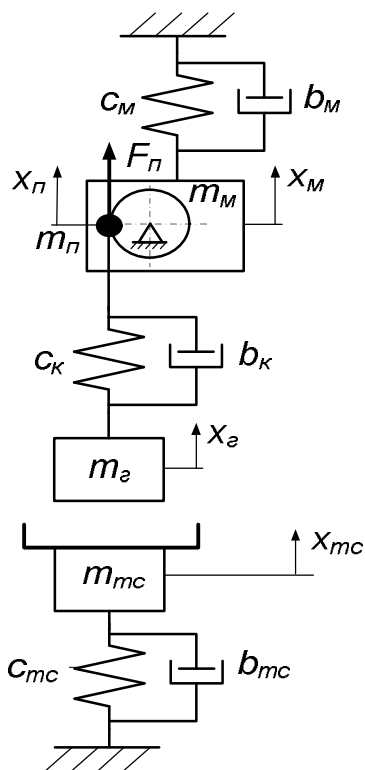


Рис. 1. Динамическая модель системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”

Fig. 1. The dynamic model of the system „lifting mechanism - cargo - vehicle”

На рис. 1 использованы такие обозначения: $c_{mз}$, c_k , c_m – приведенные коэффициенты жесткости транспортного средства, грузовых канатов и моста крана соответственно; $b_{mз}$, b_k , b_m – приведенные коэффициенты диссипации подвески транспортного средства, грузовых канатов и моста крана соответственно; $m_{mз}$, m_e , m_n , m_m – приведенные массы транспортного средства, груза, приводного механизма подъема груза и кранового моста соответственно; $x_{mз}$, x_e , x_n , x_m – обобщенные координаты соответствующих масс; F_n – приведенное к барабану усилие привода механизма подъема груза.

В таблице 1 приведены численные значения параметров динамической модели, которые отвечают мостовому крану грузоподъемностью 20 тон [13] и прицепа МАЗ-938662 грузоподъемностью до 23750 кг.

Таблица 1. Параметры динамической модели системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”

Table 1. Parameters of the dynamic model of the "lifting mechanism – cargo – vehicle"

Наименование динамического параметра	Значение
Приведенная жесткость транспортного средства $c_{mз}$, Н/м	$3,055 \cdot 10^6$
Приведенная жесткость грузовых канатов c_k , Н/м	$10,844 \cdot 10^6$
Приведенная жесткость кранового моста c_m , Н/м	$15,452 \cdot 10^6$
Приведенный коэффициент диссипации транспортного средства $b_{mз}$, Н·с/м	$10 \cdot 10^3$
Приведенный коэффициент диссипации грузовых канатов b_k , Н·с/м	$25 \cdot 10^3$
Приведенный коэффициент диссипации моста крана b_m , Н·с/м	$10 \cdot 10^3$
Приведенная масса транспортного средства $m_{mз}$, кг	7250
Приведенная масса груза m_e , кг	20000
Приведенная масса привода механизма подъема груза m_n , кг	415520
Приведенная масса кранового моста m_m , кг	19300

Заметим, что из рис. 1 видно, что масса груза и транспортного средства не взаимодействуют между собой. Однако, как будет показано ниже, указанный случай относится к одному из этапов движения динамической системы. Для других этапов груз и транспортное средство осуществляют динамическое взаимодействие. Для приведенного усилия привода механизма подъема груза справедливая формула:

$$F_n = \frac{(M_{\text{дв}} - M_o) i_n n_{\text{пол}} \eta_{\text{пол}}}{R_{\text{б}}}, \quad (1)$$

где: $M_{\text{дв}}$ – момент электродвигателя механизма подъема груза; M_o – момент сопротивления холостого хода механизма подъема груза; i_n – передаточное число механизма подъема груза; $n_{\text{пол}}$ – кратность полиспаста механизма подъема груза; $\eta_{\text{пол}}$ – КПД полиспаста механизма подъема груза.

По известной динамической модели системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство” составим ее математическую модель. Сначала найдем математическую модель для режима подъема груза. Для этого используем уравнение Лагранжа второго рода [1]. Для динамической модели, показанной на рис. 1, имеем:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_{mn}}{\partial \dot{x}_n} \right) - \frac{\partial T_{mn}}{\partial x_n} = F_n - \frac{\partial \Pi_{mn}}{\partial x_n} - \frac{\partial R_{mn}}{\partial \dot{x}_n}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_{mn}}{\partial \dot{x}_m} \right) - \frac{\partial T_{mn}}{\partial x_m} = F_m - \frac{\partial \Pi_{mn}}{\partial x_m} - \frac{\partial R_{mn}}{\partial \dot{x}_m}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_{mn}}{\partial \dot{x}_g} \right) - \frac{\partial T_{mn}}{\partial x_g} = F_g - \frac{\partial \Pi_{mn}}{\partial x_g} - \frac{\partial R_{mn}}{\partial \dot{x}_g}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_{mc}}{\partial \dot{x}_{mc}} \right) - \frac{\partial T_{mc}}{\partial x_{mc}} = F_{mc} - \frac{\partial \Pi_{mc}}{\partial x_{mc}} - \frac{\partial R_{mc}}{\partial \dot{x}_{mc}}, \end{cases} \quad (2)$$

где: T_{mn} , T_{mc} – кинетические энергии механизма подъема груза и колебаний транспортного средства соответственно; Π_{mn} , Π_{mc} – потенциальные энергии механизма подъема груза и транспортного средства соответственно; R_{mn} , R_{mc} – диссипативные функции Релея механизма подъема груза и транспортного средства соответственно; F_m , F_g и F_{mc} – обобщенные силы, которые действуют на мост крана, груз и транспортное средство соответственно.

Найдем функции, которые входят в систему уравнений (2):

$$\begin{cases} T_{mn} = \frac{1}{2} (m_n \dot{x}_n^2 + m_m \dot{x}_m^2 + m_g \dot{x}_g^2), \\ T_{mc} = \frac{1}{2} m_{mc} \dot{x}_{mc}^2. \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Pi_{mn} = \frac{1}{2} (c_m x_m^2 + c_k (x_n + x_m - x_g)^2), \\ \Pi_{mc} = \frac{1}{2} c_{mc} x_{mc}^2. \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} R_{mn} = \frac{1}{2} (b_m \dot{x}_m^2 + b_k (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \dot{x}_g)^2), \\ R_{mz} = \frac{1}{2} b_{mc} \dot{x}_{mc}^2. \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} F_m = -m_m g, \\ F_g = -m_g g, \\ F_{mz} = -m_{mc} g. \end{cases} \quad (6)$$

Найдем отдельные члены уравнений в системе (2):

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_{mn}}{\partial \dot{x}_n} \right) = m_n \ddot{x}_n, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_{mn}}{\partial \dot{x}_m} \right) = m_m \ddot{x}_m, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_{mn}}{\partial \dot{x}_g} \right) = m_g \ddot{x}_g, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_{mc}}{\partial \dot{x}_{mz}} \right) = m_{mc} \ddot{x}_{mz}. \end{cases} \quad (7)$$

$$\frac{\partial T_{mn}}{\partial x_n} = \frac{\partial T_{mn}}{\partial x_m} = \frac{\partial T_{mn}}{\partial x_g} = \frac{\partial T_{mz}}{\partial x_{mz}} = 0. \quad (8)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi_{mn}}{\partial x_n} = -\frac{\partial \Pi_{mn}}{\partial x_g} = c_k (x_n + x_m - x_g), \\ \frac{\partial \Pi_{mn}}{\partial x_m} = c_k (x_n + x_m - x_g) + c_m x_m, \\ \frac{\partial \Pi_{mc}}{\partial x_{mc}} = c_{mc} x_{mc}. \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial R_{mn}}{\partial \dot{x}_n} = -\frac{\partial R_{mn}}{\partial \dot{x}_g} = b_k (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \dot{x}_g), \\ \frac{\partial R_{mn}}{\partial \dot{x}_m} = b_k (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \dot{x}_g) + b_m \dot{x}_m, \\ \frac{\partial R_{mc}}{\partial \dot{x}_{mc}} = b_{mc} \dot{x}_{mc}. \end{cases} \quad (10)$$

Подставляя выражения из систем (7) – (10) в систему уравнений (2) получим окон-

чательно уравнение движения динамической системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”:

$$\begin{cases} m_n \ddot{x}_n + b_k (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \dot{x}_2) + \\ + c_k (x_n + x_m - x_2) = F_n, \\ m_m (\ddot{x}_m + g) + b_k (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \\ - \dot{x}_2) + b_m \dot{x}_m + c_k (x_n + x_m - \\ - x_2) + c_m x_m = 0, \\ m_z (\ddot{x}_z + g) - b_k (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \\ - \dot{x}_2) - c_k (x_n + x_m - x_2) = 0, \\ m_{mc} (\ddot{x}_{mc} + g) + b_{mc} \dot{x}_{mc} + c_{mc} x_{mc} = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Полученная математическая модель справедлива для нулевых начальных условий, когда упруго-вязкие связи не нагружены. Однако, на практике это невозможно, поскольку на эти связи всегда действует сила веса отдельных масс системы. Кроме того, система дифференциальных уравнений (11) справедлива для тех случаев, когда груз и транспортное средство не взаимодействуют между собой. Это случаи колебаний транспортного средства после отрыва от него массы груза (подъем груза), а также этап опускания груза к моменту посадки его на транспортное средство.

Итак, будем использовать систему дифференциальных уравнений (11) как „опорную”. Она дает возможность определить направление действия усилий в системе. С ее помощью можно выявлять и исправлять грубые ошибки в обобщенной математической модели системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”, которая будет разработана ниже. Для построения полной динамической картины процессов опускания и поднимания груза необходимо разделить эти процессы на определенные этапы. Дадим детальное описание этих этапов.

Первый этап подъема груза происходит пока идет выборка слабины каната. При этом движется лишь приведенная масса привода. Этот этап характеризуется нулевыми начальными условиями:

$$x_n(0) = \dot{x}_n(0) = 0. \quad (12)$$

Математическая модель первого этапа записывается таким образом:

$$m_n \ddot{x}_n = F_n. \quad (13)$$

На втором этапе происходит натяжение каната до усилия веса груза. На этом этапе двигаются все массы динамической системы. Однако, поскольку груз находится на транспортном средстве, то приведенные массы груза и транспортного средства движутся синхронно, то есть для этого этапа справедливо уравнение:

$$x_2 = x_{mc}. \quad (14)$$

Запишем начальные условия для движения приведенных масс груза и моста:

$$\begin{cases} x_z(t_1) = -\frac{(m_z + m_{mc})g}{c_{mc}}, \\ \dot{x}_z(t_1) = 0, \\ x_m(t_1) = -\frac{m_m g}{c_m}, \\ \dot{x}_m(t_1) = 0, \end{cases} \quad (15)$$

где: t_1 – продолжительность первого этапа.

Конечные условия движения приведенной массы привода для первого этапа являются начальными условиями для второго. Математическая модель движения масс на втором этапе состоит из трех дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_n \ddot{x}_n + b_k (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \dot{x}_2) + c_k \times \\ \times ((x_n - x_n(t_1)) + (x_m - x_m(t_1)) - \\ - (x_2 - x_2(t_1))) = F_n, \\ m_m (\ddot{x}_m + g) + b_k (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \dot{x}_2) + \\ + b_m \dot{x}_m + c_k ((x_n - x_n(t_1)) + (x_m - \\ - x_m(t_1)) - (x_2 - x_2(t_1))) + c_m x_m = 0, \\ (m_z + m_{mc})(\ddot{x}_z + g) - b_k (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \\ - \dot{x}_2) - c_k ((x_n - x_n(t_1)) + (x_m - x_m(t_1)) - \\ - (x_2 - x_2(t_1))) + b_{mc} \dot{x}_z + c_{mc} x_z = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Третье уравнение системы (16) отображает тот факт, что на груз действует упруго-вязкое усилие подвески транспортного средства. В системе уравнений (16) присутствуют начальные условия движения груза, привода и моста. Действительно, на этом этапе усилие натяжения каната начинает возрастать от нулевого значения. Для обеспечения этого условия обобщенные координаты груза, привода и моста отнимаются от их начальных условий (15).

Концом второго этапа полагается момент отрыва груза от поверхности транспортного средства. Этот же момент означает начало

третьего этапа. Начальными условиями для этого этапа есть конечные условия для второго этапа. Уравнение движения, которые описывают движение всех четырех элементов динамической системы, с точностью до начальных условий совпадает с „опорной” системой дифференциальных уравнений (11):

$$\begin{cases} m_n \ddot{x}_n + b_\kappa (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \dot{x}_z) + c_\kappa \times \\ \times ((x_n - x_n(t_1)) + (x_m - x_m(t_1)) - \\ - (x_z - x_z(t_1))) = F_n, \\ m_m (\ddot{x}_m + g) + b_\kappa (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \dot{x}_z) + \\ + b_m \dot{x}_m + c_\kappa ((x_n - x_n(t_1)) + (x_m - \\ - x_m(t_1)) - (x_z - x_z(t_1))) + c_m x_m = 0, \\ m_z (\ddot{x}_z + g) - b_\kappa (\dot{x}_n + \dot{x}_m - \dot{x}_z) - c_\kappa \times \\ \times ((x_n - x_n(t_1)) + (x_m - x_m(t_1)) - \\ - (x_z - x_z(t_1))) = 0, \\ m_{mc} (\ddot{x}_{mc} + g) + b_{mc} \dot{x}_{mc} + c_{mc} x_{mc} = 0. \end{cases} \quad (17)$$

На четвертом этапе движения динамической системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство” происходит выключения электродвигателя и наложение тормозов. При этом считаем, что усилие F_n меняется скачкообразно, поскольку продолжительность наложения тормозов с электромагнитами переменного тока не превышает 0,015-0,02 секунды [14, 15]. Тормозной момент, который пропорциональный тормозному усилию, для четвертого этапа определяется по формуле [16]:

$$M_m = K_3 M_g \eta_{mex}, \quad (18)$$

где: K_3 – коэффициент запаса (для среднего режима работы 5М механизма подъема груза $K_3=2$); M_g – статический момент при опускании номинального груза (20 тон) приведенный к валу двигателя ($M_g=834$ Нм); η_{mex} – номинальный КПД механизма ($\eta_{mex}=0,9$).

Полученная многоэтапная математическая модель будет использована для нахождения наиболее значимых динамических факторов при движении элементов системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”.

Как и процесс подъема, который состоит с четырех этапов, опускание груза на транспортное средство – это также четырех-этапный процесс. На первом этапе происходит пуск двигателя и его работа со скоро-

стью большей, чем скорость идеального холостого хода. Этот этап характеризуется движением приведенных масс привода, кранового моста и груза. Начальные условия для этого этапа:

$$\begin{cases} x_m(0) = -\frac{(m_z + m_{mc})g}{c_{mc}}, \\ \dot{x}_m(0) = 0; \\ x_z(0) = x_m(0) - \frac{m_z g}{c_\kappa}, \\ \dot{x}_z(0) = 0, \\ x_n(0) = 0, \\ \dot{x}_n(0) = 0. \end{cases} \quad (19)$$

Уравнение движения приведенных масс на первом этапе записаны в виде системы уравнений (17) за исключением последнего уравнения, поскольку полагаем, что транспортное средство находится в состоянии покоя. Концом первого этапа является момент времени, когда груз дотронется к поверхности транспортного средства. На втором этапе подвеска транспортного средства нагружается силой веса груза (все приведенные массы двигаются). Начальными условиями движения приведенных масс груза, привода и кранового моста для второго этапа есть конечные условия для первого. Поскольку движение груза и транспортного средства есть синхронным, то для второго, третьего и четвертого этапов справедливо уравнение (14). Математическая модель этапа является системой дифференциальных уравнений (16). Во время этого этапа сила веса груза полностью „передается” от грузовых канатов на подвеску транспортного средства.

Третий этап движения характеризуется сбеганием каната с барабана для того, чтобы можно было снять груз с крюка (создание слабины каната).

Начальными условиями движения приведенных масс для третьего этапа есть конечные условия для второго. Движение масс исследуемой динамической системы описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_n \ddot{x}_n = F_n, \\ m_m (\ddot{x}_m + g) + b_m \dot{x}_m + c_m x_m = 0, \\ (m_z + m_{mc})(\ddot{x}_z + g) + b_{mc} \dot{x}_z + \\ + c_{mc} (x_z - x_z(t_1)) = 0, \end{cases} \quad (20)$$

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ „МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА
ГРУЗА – ГРУЗ – ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО”

где: $x(t_1)$ – положение груза в конце первого этапа.

На четвертом этапе происходит наложение тормозов и остановка двигателя. На протяжении этого этапа осуществляют движение все приведенные массы. Начальными условиями движения приведенных масс для четвертого этапа есть конечные условия для третьего. Динамика движения масс на этом этапе описывается системой дифференциальных уравнений (20) при условии, что приводное усилие F_n меняется на тормозное. Момент окончания четвертого этапа определяется условием остановки двигателя.

Для проведения анализа движения исследуемой динамической системы необходимо задать характер изменения приводного усилия. Механизм подъема груза крана, который принят в расчетах, оборудованный асинхронным электродвигателем МТВ611-10.

Крутящий момент такого двигателя, без учета составляющих электромагнитного момента, которые вызваны свободными токами в двигателе, описывается уравнением Клосса [17]:

$$M_{\partial} = \frac{2M_{\max} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} s_{кр}\right)}{\frac{\omega_0 - \omega}{s_{кр}\omega_0} + \frac{s_{кр}\omega_0}{\omega_0 - \omega} + 2\frac{R_1}{R_2} s_{кр}}, \quad (21)$$

где: M_{\max} – максимальный (критический) момент двигателя; ω – угловая скорость двигателя; R_1 и R_2 – статорный и роторный приведенные активные сопротивления двигателя соответственно; $s_{кр}$ – критическое скольжение двигателя; ω_0 – скорость идеального холостого хода двигателя.

Для двигателя МТВ611–10 в таблице 2 приведем его характеристики [18].

Анализ выражения (21) показывает, что крутящий момент зависит от угловой скорости ротора двигателя нелинейно.

Аналитическое интегрирование систем дифференциальных уравнений (13), (16), (17) поэтому невозможно.

Для того, чтобы найти решение систем этих уравнений целесообразно использовать численный метод Рунге-Кутты [19], который реализован в программном продукте Mathematica [20].

Таблица 2. Основные характеристики двигателя МТВ611-10 механизма подъема груза

Table 2. Main characteristics of the engine MTV611-10 load lifting mechanism

Наименование параметра	Значение
Номинальная мощность $P_{ном}$, кВт	45
Номинальная скорость $n_{ном}$, об/мин	575
Статорное приведенное активное сопротивление двигателя R_1 , Ом	0,087
Роторное приведенное активное сопротивление двигателя R_2 , Ом	0,027
Статорное приведенное индуктивное сопротивление двигателя X_1 , Ом	0,189
Роторное приведенное индуктивное сопротивление двигателя X_2 , Ом	0,046

ВЫВОД

В приведенной работе построена четырехмассовая динамическая модель системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”, в которой учтено упругие и вязкие свойства кранового моста, каната и подвески транспортного средства. Разработаны математические модели процессов подъема и опускания груза на транспортное средство. Математические модели каждого процесса состоят из четверых этапов. Для каждого из этапов найдены дифференциальные уравнения, которые описывают движение отдельных элементов исследуемой системы и их начальные условия движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Litvinov O. 2006: Towards the dynamic calculation of machines / O. Litvinov // MOTROL. – 8А – 210–223.
2. Komarov M.S. 1969: Dinamika gruzopodyomnih machin / M.S. Komarov – M.: Mashinostroenie. – 206.
3. Kazak S.A. 1968: Dinamika mostovykh kranov / S.A. Kazak – M.: Mashinostroenie. – 331.

4. Gohberg M.M. 1969: Metallicheskie konstruktsii podemno-transportnyh mashin / M.M. Gohberg. – M. Mashinostroenie – 520.
5. Shefler M. 1981: Gruzopodyomnie krany / M. Shefler, H. Dresing, F. Kurt. – Kniga 2. – M.: Mashinostroenie. – 287.
6. Gaidamaka V.F. 1989: Gruzopodyomnie machiny / V.F. Gaidamaka – K.: Vyscha shkola. – 328.
7. Lobov N.A. 1987: Dinamika gruzopodyomnih kranov / N.A. Lobov. – M.: Mashinostroenie. – 160.
8. Grigorov O.V. 1995: Sovershenstvovanie rabochih karakteristik kranovyh mehanizmov: diss. na soisk. step. doktora tehn. nauk / Grigorov Otto Vladimirovich. – H. – 386.
9. Chovnyuk Yu.V. 2011: Utochnena dynamichna model ruhu vizka z vantazhem na gnuchkomu pidvisi / Yu.V. Chovnyuk // MOTROL. – 13B – 130–137.
10. Chovnyuk Yu.V. 2011: Bagatomasova model dymaniki ruhu kormozmishuvacha gvintovogo typu zi zminnym oporom / Yu.V. Chovnyuk, A. Yavorska // MOTROL. – 13B – 124–129.
11. Loveikin V.S. 2011: Doslidzenny dinamiki pusku skrebkovogo konveera zi zminnym navantazhenniam v protsesi pusku / V.S. Loveikin, O. Kostyna // MOTROL. – 13B – 42–48.
12. Loveikin V.S. 1998: Teoria tehnicnyh sistem / V.S. Loveikin, I.I. Nazarenko, O.G. Onischenko. – K.– Poltava: IZMN-PDTU. – 175.
13. Budikov L.Ya. 1997: Mnogoparametricheskii analiz dinamiky gruzopodemnyh kranov mostovogo tipa / L.Ya. Budikov – Lugansk: VUGU. – 210.
14. Aleksandrov M.P. 1985: Tormoznye ustroistva: spravochnik / M.P. Aleksandrov, A.G. Lysiakov, V.N. Fadeev. – M.: Mashinostroenie. – 312.
15. Yaure A.G. 1988: Kranoviy elektroprivod: spravochnik / A.G. Yaure, E.M. Pevzner. – M.: Energoatomizdat. – 344.
16. Gerasymiak R.P. 2008: Analiz i sintez kranovyh elektromehanycheskih sistem / R.P. Gerasymiak, V.A. Lestchev. – Odessa: SMIL. – 192.
17. Chilikin M.G. 1981: Obschiy kurs elektroprivoda / M.G. Chilikin, A.S. Sandler. – M.: Energoizdat. – 576.
18. Veshenevsky S.N. 1977: Harakteristiki dvigatelei v elektroprivode / S.N. Veshenevsky. – M.: Energia – 432.
19. Formalev V.F. 2004: Chislennye metody / V.F. Formalev, D.L. Reviznikov. – M.: Fizmatlit. – 400.
20. Diakonov V.P. 2004: Mathematica 4.1/4.2/5.0 v matematicheskikh i nauchno-tehnicheskikh paschetah / V.P. Diakonov. – M.: SOLON–Press. – 696.

**MATHEMATICAL MODELING SYSTEMS
„HOISTING MECHANISM - LOAD -
VEHICLE”**

Summary. The dynamic models of the system „lifting mechanism – cargo – vehicle” have been developed. The equations of motion of the system components have been found with using of the Lagrange equations of the second kind. A mathematical model of the system is a multi-stage. For the movement of all elements of the system recorded the initial conditions of their movement, which, together with the motion equations allow carry out a dynamic analysis for a studied system.

Key words: load-lifting crane, load, modeling, vehicle, equation of movement.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ БИОДИЗЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Виктор Полищук, Николай Лободко, Алексей Полищук

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Victor Polischuk, Nikolay Lobodko, Aleksey Polischuk

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Приведена область применения глицерина в народном хозяйстве. Определены проблемы использования отходов биодизельного производства – сырого глицерина. Установлена причина низкой рентабельности биогазовых установок и предложен способ увеличения выхода биогаза за счет использования в качестве ко субстрата сырого глицерина биодизельных производств. Определены рациональные нормы внесения сырого глицерина к субстрату (навозу КРС) при его анаэробном сбраживании для увеличения выхода биогаза.

Ключевые слова. Сырой глицерин, низкая эффективность, биогаз, ко субстрат, метантенк, навоз КРС.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Производство биодизельного топлива в странах ЕС в 2013 г., за данными Европейской биодизельной ассоциации, составило 6,1 млн. т [1]. Согласно последнему отчету аналитиков Oil World, в 2013 г. мировое производство биодизеля может достичь 24,7 млн. т, что на 1,4 млн. т превышает производство предыдущего года [2].

Вместе с тем, побочным продуктом производства биодизеля есть сырой глицерин, выход которого составляет около 20% выхода биодизеля. Поэтому, в 2013 г. в мире планируется произвести около 5 млн. т сырого глицерина.

Хотя глицерин и представляет собой ценный исходный материал для химической промышленности, и он сам по себе может быть применен во многих областях, но в результате наращивания производства биодизельного топлива в прошлые годы накопились огромные количества непригодных для реализации запасов данного материала. По-

этому возникает проблема поиска новых областей применения глицерина. Ситуация осложняется тем фактом, что за разными технологиями получают сырой глицерин, который характеризуется высокими уровнями содержания воды (8–15%), метанола (1–10%), присутствием моно- и диглицеридов и т.п. Обезвоживание глицерина само по себе представляет энергозатратный процесс, который в сочетании со стадиями очистки от других загрязнителей, делает данный потенциальный "исходный материал" чрезвычайно дорогим [3]. Коммерчески выгодных вариантов переработки сырого глицерина в мире пока что не существует. Все имеющиеся технологии относятся в основном к очистке глицерина, при этом его себестоимость возрастает настолько, что не может сравниться с синтетическим глицерином. В связи с этим себестоимость биодизеля включает в себя и часть стоимости утилизации глицерина. Поэтому до сих пор проблема утилизации глицеринсодержащего побочного продукта производства биодизеля остается весьма актуальной [4].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Область применения глицерина в народном хозяйстве достаточно широкая. Он используется в медицине, кондитерской и легкой промышленности, в военном деле [5]. Также глицерин, полученный при производстве биодизеля, используется как добавка к топливу [6, 7].

Вместе с тем, во всех вышеупомянутых случаях применяется глицерин высокой степени очистки, для чего используются дистилляционные процессы, ионообменный метод и электролиз. При дистилляции

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ БИОДИЗЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

глицерина в результате высокой температуры его кипения происходит разложение глицерина с образованием полиглицерина и акролеина. К тому же, при проведении процесса дистилляции с водяным паром образуются муравьиная и молочная кислоты. Все это препятствует получению глицерина высокой чистоты методом дистилляции. Кроме того, данный метод достаточно энергозатратный. Ионообменные смолы, которые используются в процессе ионообменного метода очистки глицерина, поглощают только соответствующие заряженные частицы из раствора, пропускаемого через них, не препятствуя прохождению нейтральных частиц (молекул). Кроме того, ионообменные смолы требуют периодической регенерации, которая сопровождается снижением их активности, износом и необходимостью замены отработанной смолы. К тому же, период эксплуатации таких смол непредсказуемый и зависит от большого количества факторов: при очистке глицерина низкого качества или при нарушении режима эксплуатации активность смол быстро снижается [8]. Основным недостатком очистки глицерина методом электромембранной технологии (электродиализа) является концентрационная поляризация, которая ведет к осаждению загрязнителей на поверхности мембран и снижение показателей очистки. Мембрана при этом нуждается в регенерации. Этот процесс требует выключения части системы, большого количества реагентов, а иногда и вовсе замены мембраны, резко увеличивает стоимость и так недешевого процесса очистки сырого глицерина [9].

В связи со сложностью и высокой стоимостью очистки глицерина, выработанного с биологического сырья, широкое распространение получило использование синтетического глицерина, произведенного из пропилена [10], который на 10-15 % дешевле биоглицерина.

В то же время, существует возможность применения неочищенного глицерина для повышения производительности производства биогаза.

Основным субстратом для производства биогаза являются отходы жизнедеятельности животных (навоз КРС, свиней, домашней птицы и др.), который, однако, характеризу-

ется сравнительно низкой производительностью по биогазу. Так, согласно [11], выход биогаза при полном цикле брожения навоза КРС 117 суток составляет 237 л/кг, или 315 л/кг с.о.в. То есть, в среднем в течение суток получается приблизительно 2 л биогаза с 1 кг субстрата, или 2,7 л биогаза из 1 кг с.о.в. субстрата. Однако на практике из-за низкого выхода биогаза полного цикла метанового брожения не придерживаются. Выход биогаза в течение первых 10-20 суток брожения составляет 5,7 л/кг, или 7,6 л/кг с.о.в.

Согласно расчетам по методике [12–17], при такой производительности 90-93% биогаза в осенне-зимне-весенний период и 64-83% в летний период при мезофильном режиме (температура брожения – 40°C) расходуется на поддержание теплового баланса метантенка объемом 100 м³, утепленного листами минеральной ваты толщиной 60 см.

Поэтому существенной проблемой биогазовых установок, которые в качестве субстрата используют отходы жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, является низкая производительность по биогазу, что приводит к их низкой рентабельности. Для повышения производительности биогазовых установок на данный момент принято использовать постепенный процесс загрузки, при котором после выхода реактора на максимальное генерирование биогаза субстрат подается в течение дня небольшими порциями, ведет к сохранению максимума производства биогаза в течение долгого времени. Кроме того, часто в качестве добавки к навозу используют субстраты, которые имеют значительный выход биогаза – 800-1000 л/кг с.о.в. и более [18]: трава, силос из кукурузы и ботвы сахарной свеклы, сыворотка и т.д. [19, 20]. Вместе с тем, данные субстраты имеют кормовую и пищевую ценность, поэтому их массовое использование может привести к сокращению производства кормов и ценных пищевых продуктов.

Таким образом, возникает проблема определения недорогих добавок к навозу сельскохозяйственных животных (косустрата), которые могли бы существенно увеличить выход биогаза, а следовательно и повысить рентабельность биогазовых установок.

В качестве таких добавок к основному

субстрату и можно использовать отходы производства биодизеля – сырой глицерин.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью наших исследований является определение выхода биогаза при использовании сырого глицерина биодизельного производства в качестве косубстрата к навозу КРС.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лабораторный метантенк цилиндрической формы с коническим дном общим объемом 29 л частично заполнялся навозом КРС (заполненный объем метантенка – 21,5 л). При этом коэффициент заполнения метантенка составляет $21,5/29=0,74$. Для сохранения в метантенке маточной культуры метанообразующих бактерий при загрузке субстрат обновляется не полностью. Загружается 8,5 л субстрата (готовится путем размешивания 3,5 кг навоза КРС в 5 л воды). Поэтому коэффициент опорожнения метантенка составляет $8,5/21,5=0,4$.

В биореакторе происходит метановое брожение, при этом выделяется биогаз, который накапливается в газгольдере "мокрого" типа. При попадании биогаза в газгольдер, он поднимает верхний цилиндр-уровнемер, высота подъема которого фиксируется ежедневно по шкале, закрепленной на направляющей газгольдера. При известном

диаметре цилиндра-уровнемера (20 см) определяется объем выработанного биогаза. Зная время предыдущей и текущей фиксации высоты подъема цилиндра-уровнемера газгольдера, определяется часовой выход биогаза.

При добавлении к навозу КРС неочищенного глицерина наблюдалась значительная интенсификация процесса брожения, которая сопровождалась интенсивным пенообразованием на поверхности субстрата. При этом легкие твердые частицы навоза КРС на поверхности пены забивали выходной патрубок биогаза, искажая результаты исследований. Поэтому во избежание подобного был уменьшен коэффициент заполнения метантенка. Заполненный объем метантенка составил не 21,5 л, как в случае отсутствия глицерина, а 15 л. Соответственно, до 4,2 л был уменьшен объем загружаемого субстрата (смесь 1,7 кг навоза КРС и 2,5 л воды). При этом коэффициент заполнения метантенка составлял $15/29=0,52$, а коэффициент опорожнения метантенка – $4,2/15=0,28$.

Определение эффективности выхода биогаза проводились при добавлении к субстрату в составе 1,7 кг навоза КРС и 2,5 л воды неочищенного глицерина, полученного при лабораторных исследованиях действенности очистки биодизеля, в составе 25, 50, 100 и 150 мл. При этом температура брожения составляла 40° С, 45° С и 50° С.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 1–3.

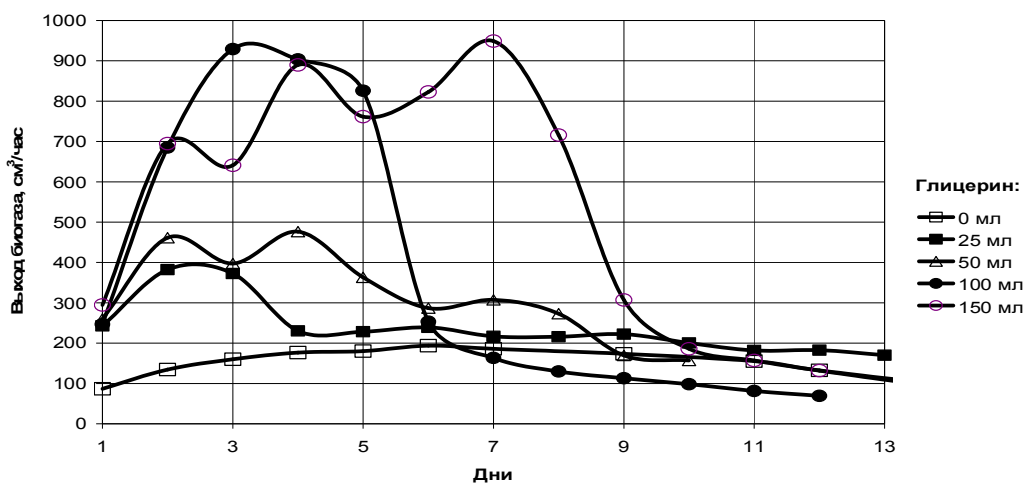


Рис. 1. Генерация биогаза на лабораторной установке при температуре брожения 40°С в метантенке объемом 30 л при загрузке 3,5 кг навоза КРС, коэффициенте загрузки – 0,5

Fig. 1. Generation of biogas in laboratory facility at fermentation temperatures of 40°С, digester volume 30 liters, 3,5 kg of cattle manure loaded, load factor – 0,5

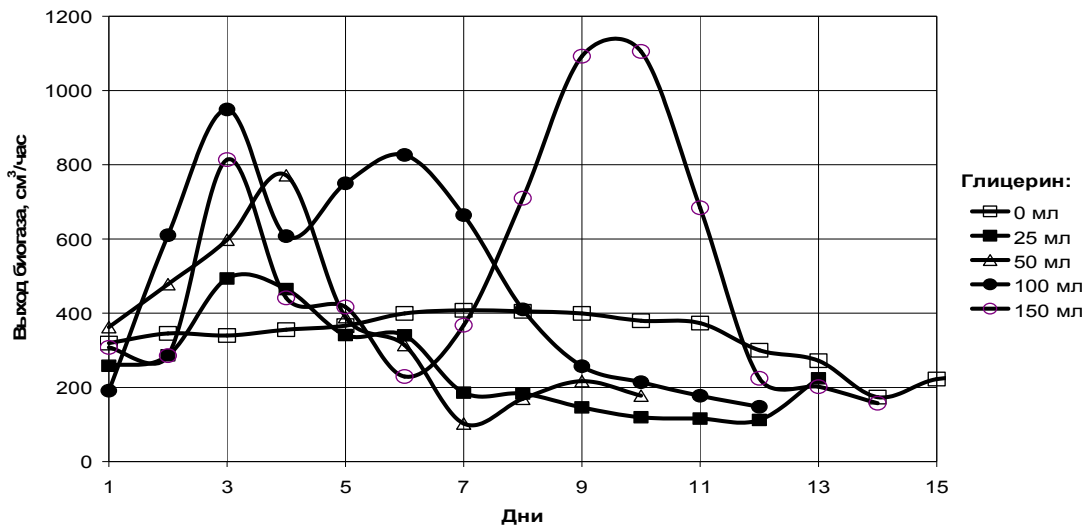


Рис. 2. Генерация биогаза на лабораторной установке при температуре брожения 45°C в метантенке объемом 30 л при загрузке 3,5 кг навоза КРС, коэффициенте загрузки – 0,5
Fig. 2. Generation of biogas in laboratory facility at fermentation temperatures of 45°C, digester volume 30 liters, 3,5 kg of cattle manure loaded, load factor – 0,5

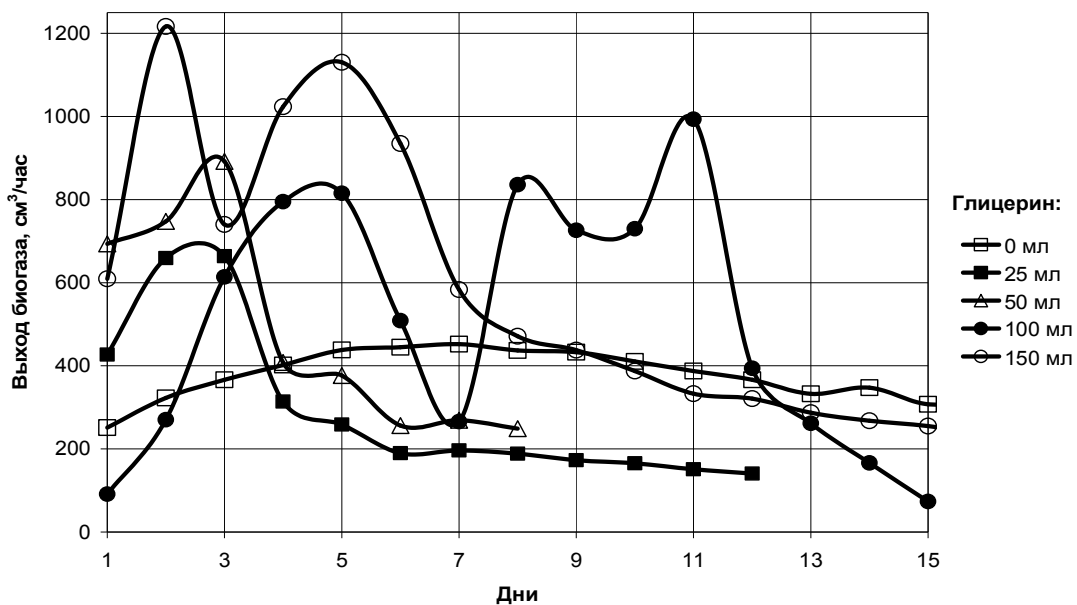


Рис. 3. Генерация биогаза на лабораторной установке при температуре брожения 50°C в метантенке объемом 30 л при загрузке 3,5 кг навоза КРС, коэффициенте загрузки – 0,5
Fig. 3. Generation of biogas in laboratory facility at fermentation temperatures of 50°C, digester volume 30 liters, 3,5 kg of cattle manure loaded, load factor – 0,5

Анализируя графики выхода биогаза в течение периода брожения можно отметить, что при брожении субстрата без добавления глицерина выход биогаза растет постепенно, достигая своего максимума на 7–8 день, после чего интенсивность генерации биогаза уменьшается также постепенно. Период брожения может достигать 36–41 суток.

При добавлении глицерина к субстрату

интенсивность выхода биогаза резко возрастает. Максимальный выход биогаза наблюдается уже на 2–5 сутки брожения и так же резко идет на спад. Часто наблюдается повторный рост выхода биогаза. Такой вид метанового брожения называется диауксией и объясняется тем, что после исчерпания питательных веществ одного вида культура метанообразующих бактерий переходит во

вторую лаг-фазу для подготовки к питанию другими питательными веществами.

Период интенсивного брожения без диауксии составляет 4–6 суток, с диауксией – 7-13 суток.

С рис. 1–3 видно, что при добавлении к субстрату сырого глицерина биодизельных производств, максимальные показатели выхода биогаза, которые принимаются во внимание при постепенной подаче субстрата, существенно возрастают. Значение максимального выхода биогаза приведены в табл. 1, а увеличение максимального выхода биогаза по сравнению с применением субстрата без добавления глицерина – в табл. 1.

Графические зависимости максимального выхода биогаза от соотношения добавленного сырого глицерина к содержанию навоза КРС в субстрате, построенные из данных табл. 1, приведены на рис. 4.

Зависимость максимального выхода биогаза от соотношения добавленного глицерина к содержанию навоза КРС в субстрате и температуры брожения аппроксимируется следующим выражением при $R^2=0,9999$:

Таблица 1. Максимальный выход биогаза (в л/(кг·сутки))
Table 1. The maximum yield of biogas (l/kg-day)

Глицерин		Температура брожения, °С		
мл	% к субстрату	40	45	50
Без глицерина		1,33	2,52	3,77
25	1,5	5,4	6,97	8,92
50	3,0	8,21	10,3	12,27
100	6,0	11,48	13,65	15,7
150	8,8	12,58	14,65	16,54

где: Q – выход биогаза, л/(кг·сутки); Γ – содержание глицерина в субстрате по отношению к содержанию навоза КРС, %; T – температура брожения, °С

Следовательно, при использовании в качестве ко субстрата сырого глицерина, эффективность производства биогаза возрастает на 200-915 % в зависимости от температурного режима брожения и объема добавленного глицерина.

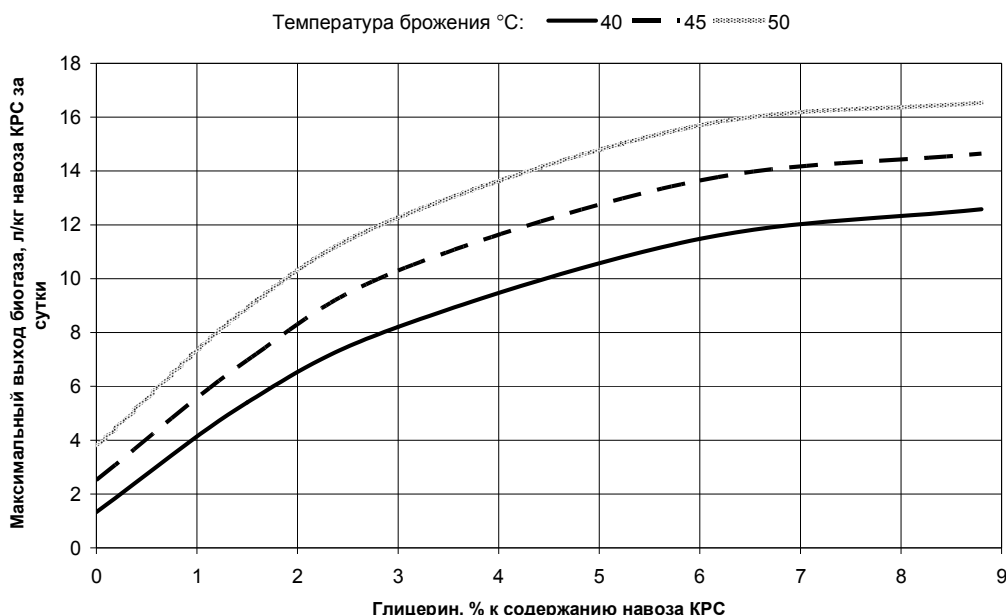


Рис. 4. Генерация биогаза на лабораторной установке в метантенке объемом 30 л при загрузке 3,5 кг навоза КРС, коэффициенте загрузки – 0,5

Fig. 4. Generation of biogas digester in laboratory facility 30 liter at 3,5 kg of cattle manure load, load factor – 0,5

$$\begin{aligned}
 Q = & 6 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 \cdot \Gamma^3 - 0,0047 \cdot T \cdot \Gamma^3 + 0,102 \cdot \Gamma^3 - 0,00086 \cdot T^2 \cdot \Gamma^2 + \\
 & + 0,0633 \cdot T \cdot \Gamma^2 - 1,452 \cdot \Gamma^2 + 0,00168 \cdot T^2 \cdot \Gamma - 0,0604 \cdot T \cdot \Gamma + 2,826 \cdot \Gamma + \\
 & + 0,00254 \cdot T^2 + 0,0157 \cdot T - 3,349.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ БИОДИЗЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Из рис. 4 видно, что тенденция роста выхода биогаза в зависимости от добавленного сырого глицерина может быть условно разделена на три периода. Первый период (примерно до 2–2,5% добавленного глицерина) характеризуется сравнительно резким ростом выхода биогаза. При втором периоде (от 2–2,5% до 6,5–7% добавленного глицерина) рост выхода биогаза несколько замедляется. Третий период (более 6,5–7% добавленного глицерина) характеризуется при добавлении все больших объемов сырого глицерина значительным замедлением выхода биогаза. Поэтому при ограниченных ресурсах глицерина рекомендуется его добавления в качестве косубстрата в пределах 6,5–7% от массы навоза КРС в субстрате.

ВЫВОДЫ

1. Для повышения эффективности производства биогаза в качестве косубстрата можно использовать отходы производства биодизеля – сырой глицерин, с утилизацией которого на биодизельных производствах возникают проблемы.

2. При использовании в качестве косубстрата отхода производства биодизеля – сырого глицерина, рекомендуется добавление его к основному субстрату, которым является навоз КРС, в пределах 6,5–7% от массы навоза в субстрате. При этом максимальный выход биогаза увеличивается в 5–7 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Production 2014: Production of biodiesel in the EU / EBB. European biodiesel board [Electronic resurs] / 2013. Operating Modes Access to the Journal: <http://www.ebb-eu.org/biodiesel.php> / Date of access: 09/01/2014.

2. V 2013: V 2013 godu mirovoe proizvodstvo biodizelja znachitelno vozrastet [Elektronnyj resurs] / 2013. Rezhim dostupu do zhurn.: <http://www.apk-inform.com/ru/news/1020710#Uit5N-WAIEg>. Data dostupu: 07/09/2013.

3. Pat 2012: Pat. 016916 Evrazijskoe patentnoe agentstvo, MPK C10L 1/02, C10L 1/18, C10L 10/14. Primenenie topliv i dobavok k toplivu na osnove trigliceridov modificirovannoj struktury / Tes Janosh, Borosh Bela, Kiraj Zoltan, Lerinc Shandor; zajavitel i patentoobladatel Tes

Janosh, Borosh Bela, Kiraj Zoltan, Lerinc Shandor. – WO 2008/096187; zajavl. 2008.02.05; opubl. 2012.08.30.

4. Pat. 2013: Pat. 2471768 Rossijskaja Federacija, MPK C07C67/03, C07C69/30, C08K5/103. Sposob utilizacii glicerinsoderzhashhego pobochnogo produkta proizvodstva biodizelnogo topliva / Safronov S.P., Krasnyn E.L., Levanova S.V., Sokolov A.B., Zhabina A.A.; zajavitel' i patentoobladatel' OOO "Deskriptor". – № 2011113633/04; zajavl. 07.04.2011; opubl. 10.01.2013.

5. Oblasti 2013: Oblasti primenenija glicerina / Biodiesel Crimea [Elektronnyj resurs] / 2013. Rezhim dostupu k zhurn.: http://biodiesel-ua.com/bd_glycerin.php. Data dostupu: 10/09/2013.

6. Pat. 2001: Pat. 2167919 S1 Rossijskaja Federacija, MPK 7 C10L 1/22. Masljanistaja dobavka dlja gorjuchego / Jeber D., Zhermano L., Maldonado P. (FR); zajavitel i patentoobladatel ELF ANтар TRANS (FR). – 99120297/04; zajavl. 22.12.1998; opubl. 27.05.2001.

7. Pat. 2009: Pat. 2365617 S1 Rossijskaja Federacija, MPK C10L 1/02, C10L 1/18, C10L 10/10. Oktanopovyshajushhaja dobavka k benzinu / Varfolomeev S.D., Nikiforov G.A., Voleva V.B., Makarov G.G., Trusov L.I. (RU); patentoobladatel – Uchrezhdenie Rossijskoj akademii nauk Institut biohimicheskoj fiziki RAN (RU). – 2008121078/04; zajavl. 28.05.2008; opubl. 27.08.2009. Bjul. 24.

8. Ochistka glicerina / Nova Svit [Elektronnyj resurs] / 2013. Rezhim dostupu k zhurn.: http://novasvit.com.ua/product_categories/90. Data dostupu: 10/09/2013.

9. Resursosberegajushhie 2011: Resursosberegajushhie tehnologii ochistki stochnyh vod: monografija / S.S. Dushkin, A.N. Kovalenko, M.V. Degtjar, T. A. Shevchenko; Hark. nac. akad. gor. hoz-va. – H.: HNAGH. – 146.

10. Obzor tehnologij 2013: Obzor tehnologij proizvodsta glicerina / Novye himicheskie tehnologii. Analiticheskij portal himicheskoj promyshlennosti [Elektronnyj resurs] /. Rezhim dostupu k zhurn.: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=7291. Data dostupu: 10/09/2013.

11. Baader V. 1982: Biogaz: teorija i praktika / V. Baader, E. Done, M. Brennderfer. – M.: Kolos. – 148.

12. *Procesy 2013: Procesy ta aparaty biotexnologichnyx vyrobnyctv. Chastyna 2. Vyznachennya vuxodu hnojovoyi biomasy pry utrymanni xudoby i ptyci. Metodychni vkazivky do vykonannya laboratornyx robit z dyscyplin "Procesy ta aparaty biotexnologichnyx vyrobnyctv" dlya studentiv silskohospodarskyx vyshhyx navchalnyx zakladiv 3–4 rivniv akredytaciyi osvितno–kvalifikacijnoho rivnya „Mahistr” zi specialnosti 8.10010203 – “Mexanizaciya silskoho hospodarstva” / V.M. Polishhuk, V.O. Dubrovin, S.V. Drahnyev, M.M. Lobodko, O.V. Dubrovina. – K.: AhrarMediaHrup. – 20.*
13. *Procesy 2013: Procesy ta aparaty biotexnologichnyx vyrobnyctv. Chastyna 3. Rozraxunok yakisnyx pokaznykiv syrovyny dlya vyrobnyctva biohazu. Metodychni vkazivky do vykonannya laboratornyx robit z dyscyplin "Procesy ta aparaty biotexnologichnyx vyrobnyctv dlya studentiv silskohospodarskyx vyshhyx navchalnyx zakladiv 3–4 rivniv akredytaciyi osvितno-kvalifikacijnoho rivnya „Mahistr” zi special"nosti 8.10010203 – “Mexanizaciya silskoho hospodarstva” / V.M. Polishhuk, V.O. Dubrovin, S.V. Drahnyev, M.M. Lobodko, O.V. Dubrovina. – K.: AhrarMediaHrup. – 24.*
14. *Procesy 2013: Procesy ta aparaty biotexnologichnyx vyrobnyctv. Chastyna 4. Vyznachennya osnovnyx parametriv biohazovoyi ustanovky. Metodychni vkazivky do vykonannya laboratornyx robit z dyscyplin "Procesy ta aparaty biotexnologichnyx vyrobnyctv" dlya studentiv silskohospodarskyx vyshhyx navchalnyx zakladiv 3–4 rivniv akredytaciyi osvितno-kvalifikacijnoho rivnya „Mahistr” zi special"nosti 8.10010203 – “Mexanizaciya sil"s"koho hospodarstva” / V.M. Polishhuk, V.O. Dubrovin, S.V. Drahnyev, M.M. Lobodko, O.V. Dubrovina. – K.: AhrarMediaHrup. – 24.*
15. *Procesy 2013: Procesy ta aparaty biotexnologichnyx vyrobnyctv. Chastyna 5. Vyznachennya teplovoho balansu metantenka. Metodychni vkazivky do vykonannya laboratornyx robit z dyscyplin "Procesy ta aparaty biotexnologichnyx vyrobnyctv dlya studentiv silskohospodarskyx vyshhyx navchalnyx zakladiv 3–4 rivniv akredytaciyi osvितno-kvalifikacijnoho rivnya „Mahistr” zi special"nosti 8.10010203 – “Mexanizaciya sil"s"koho hospodarstva” / V.M. Polishhuk, V.O. Dubrovin, S.V. Drahnyev, M.M. Lobodko, O.V. Dubrovina. – K.: AhrarMediaHrup. – 40.*
16. *Texnologiyi 2012: Texnologiyi vyrobnyctva biohazu v APK. Metodychni vkazivky do vykonannya laboratornyx robit z dyscyplin "Texnologiyi vyrobnyctva biohazu" dlya studentiv silskohospodarskyx vyshhyx navchalnyx zakladiv 3–4 rivniv akredytaciyi zi special"nosti 8.05140105 "Ekologichna biotexnologiya ta bioenerhetyka" / M.D. Melnychuk, V.O. Dubrovin, V.H. Myronenko, V.M. Polishhuk, H.A. Golub, V.S. Tarhonya, O.I. Yeremenko, S.V. Drahnyev. – K.: Vydavnychyj centr NUBiP Ukrayiny. – 160.*
17. *Praktykum 2013: Praktykum z mashyn ta obladnannya dlya bioenerhetyky: [navch. posibnyk dlya stud. vyshh. navch. zakl. III–IV rivniv akredyt.] / V.O. Dubrovin, V.M. Polishhuk, S.Ye. Tarasenko, S.V. Drahnyev,. – K.: «Ahrar Media Hrup». – 208.*
18. *Jeder B. 2006: Biogazovye ustanovki. Prakticheskoe posobie / Barbara Jeder, Hajnc Shulc. – M.: Kolos. – 240.*
19. *Dubrovina Olga. 2013: Vyrashhivanie kukuruzy dlja jenergeticheskikh celej s ispolzovaniem SR-tehnologij / Olga Dubrovina // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin – Rzeszow. – Vol. 15, No 3. – 235–243.*
20. *Dubrovina Olga. 2013: Rezultaty issledovaniy metanovoj fermentacii mnogokomponentnogo substrata / Olga Dubrovina // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin – Rzeszow. – Vol. 15, No 3. – 179–187.*

USING WASTE BIODIESEL PRODUCTION TO INCREASE PRODUCTIVITY OF BIOGAS PLANTS

Summary. Present area of application glycerol in the economy. To define problems byodzyelnoho using waste production – crude glycerol. Installed Off–peak times cause profitability biogas installations and proposals Increase Output method of biogas at the expense of the Use–tures in kachestve kosubstrata crude glycerol biogas industries. The rational application rate of the crude glycerol substrate (cattle manure) at its anaerobic digestion to increase the yield of biogenic.

Key words: crude glycerin, low efficiency, biogas, co-substrate, the metantenk, cattle manure

ДИЗЕЛЬНОЕ БИОТОПЛИВО С ЖИРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА

Михаил Муштрук, Юрий Сухенко

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, Киев, ул. Героев Оборонь, 15*

Michail Mushtruk, Yuriy Sukhenko

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Исследована и обоснована технология производства дизельного биотоплива из жиросодержащих отходов птицеперерабатывающих предприятий, имеющих значительное содержание свободных жирных кислот.

Ключевые слова: переэстерификация, биотопливо, метиловый эфир, куриный жир.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Дизельное биотопливо, изготовленное из дешевого сырья, способно конкурировать с традиционными топливами нефтяного происхождения. Оно не токсично, экологически чистое и почти не содержит серы [1].

Сырьем для производства метиловых и этиловых эфиров жирных кислот могут быть растительные масла, животный и птичий жир, сало, желтый жир и побочные продукты рыболовной отрасли. Основным компонентом масел и жиров являются триглицериды, которые составляют около 90-98 % от общей массы сырья [2].

В реальных условиях производства не исключены периодические выбросы жировых отходов, что приводит к потерям жиросодержащего сырья, ухудшая экологическую ситуацию [1]. Поэтому в задачи птицеперерабатывающей промышленности входит получение не только пищевых продуктов из высококачественного сырья, но и побочных продуктов с целью уменьшения отходов производства [2, 3]. В последнее время все чаще обсуждается необходимость замены топлива из нефти, угля и газа на биотопливо. Одним из возможных направлений получения биотоплива является использование отходов переработки биосырья [4].

Существует великое множество видов топлив из биоотходов. Различают газообраз-

ное биотопливо (биогаз, водород), получаемое за счет разложения органических остатков бактериями (ферментация), твёрдое биотопливо (дрова, солома) [12]. Но наиболее актуально в настоящее время получение жидкого биотоплива для двигателей внутреннего сгорания и автомобилей [9].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Установление возможности получения биотоплива из жиросодержащих отходов птицеперерабатывающих предприятий с высокой кислотностью.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

изучение химического состава жиросодержащих отходов, образующихся при разделывании куриных тушек;

извлечение жира из объекта исследования;

гидрирование извлеченного жира;

исследование возможности получения биотоплива способом переэстерификации жиров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях использовали куриный технический жир (КТЖ), который был подогрет до 75–80 °С и выдержан при этой температуре в течение одного часа при постоянном перемешивании для удаления влаги, а затем профильтрованный для отделения нерастворимых примесей.

Авторы работы [13] считают, что уровень свободных жирных кислот (СЖК) в сырье надо снизить до 1% перед применением щелочного катализатора для выполнения переэстерификации жира. Поэтому первым ша-

гом в исследованиях была предварительная подготовка КТЖ. Жир, что использовался, имел кислотное число (КЧ) 5-45 мг КОН/г. Поскольку КЧ жира было более 2 мг КОН/г, поэтому необходимо было провести эстерификацию этого сырья.

Определение содержания воды, белков, липидов и минеральных веществ (зола) осуществляли стандартными методами по ГОСТ 7636-85 [3,5]. КЧ (количество СЖК) определяли по методике ГОСТ 52110 [6]. Количество синтезированных метиловых эфиров жирных кислот, плотность биотоплива и содержание в нем серы определяли в соответствии с ДСТУ 6081:2009 и EN 14214:2003 [7].

Для вытапливания жира жиродержащая смесь была измельчена, к ней добавлена вода в соотношении субстрат /вода 2:1. Смесь нагревалась до температуры 75–80 °С и настаивалась в течение 40 минут.

Отделение жира от водно-белковой части осуществляли центрифугированием при частоте вращения ротора центрифуги 3000 об/мин и в течение 20 минут. На рис. 1 показана зависимость выхода жира от температуры вытапливания.

Характер кривой (рис. 1) свидетельствует о том, что по мере поднятия температуры от 55 до 80 °С выход жира увеличивается на 28 %. При подъеме температуры до 100 °С он снижается. Причиной этого является, по-видимому, образование липид-белковых комплексов при чрезмерно повышении температуры. Таким образом, оптимальным уровнем температуры вытапливания является 80 °С.

При указанной температуре интенсифицируются процессы тепловой денатурации белков, разрушается структура клеток, что обеспечивает увеличение выхода жира до 83 %.

Эстерификация. Для предварительной обработки КТЖ применяли метанол, а в качестве катализатора испытывали серную (H_2SO_4), соляную (HCl) и азотную (HNO_3) кислоты [10,15,18]. Эстерификацию СЖК проводили при различных молярных соотношениях спирт/жир, концентрациях кислотных катализаторов и продолжительности реакции. Эксперименты проводили с нагревом реакционной смеси до 60°C на лабораторной установке (рис. 2.).



Рис. 1. Зависимость выхода жира от температуры вытапливания

Fig. 1. Dependence of the fat from the melting point

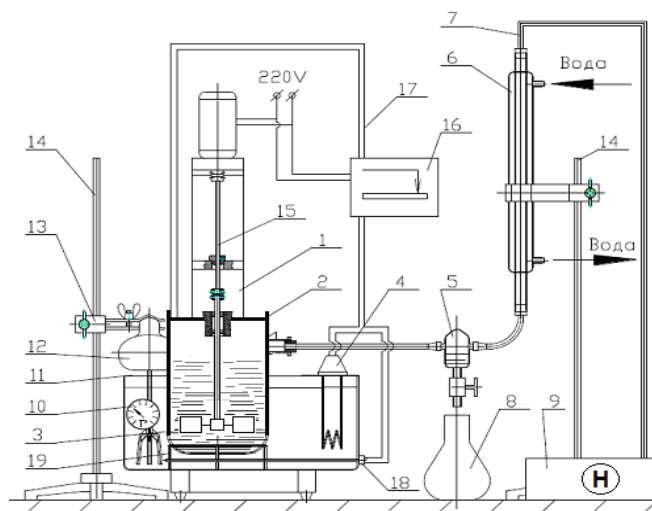


Рис. 2. Лабораторная установка для исследования процесса получения дизельного биотоплива: 1 – штатив с двигателем, 2 – колба для реагентов, 3 – мешалка, 4 – термостат, 5 – сборник конденсата, 6 – холодильник, 7 – трубопровод, 8 – колба для сбора конденсата, 9 – вакуумный насос, 10 – термометр, 11 – водяная "баня", 12 – мешалка, 13 – фиксатор, 14 – штатив, 15 – вал мешалки, 16 – терморегулятор, 17 – кабель, 18 – температурный датчик, 19 – подставка.

Fig. 2. Laboratory setup for studying the process of obtaining biodiesel

Переэтерификация. В реакции молярное соотношение спирт/жир составляло 6:1, количество катализатора КОН брали 1% к массе исходного количества жира. Также был учтен избыток катализатора для нейтрализации остатка СЖК, который рассчитывался, по формуле: $\% \text{СЖК} \times 0,64 + 1,7 \%$ для КОН, или по формуле: $\% \text{СЖК} \times 0,78 + 2,0 \%$ для NaOH [9, 14]. Процесс переэтерификации проводили на той же лабораторной установке (рис. 2). Реакцию проводили при температуре 25 и 60 °С, а время реакции было в пределах 1...4 час. После переэтерификации глицириновый слой отделяли, а образующийся метиловый эфир промывали теплой водой, фильтровали и высушивали. Образцы полученных метиловых эфиров подвергали испытаниям в специализированной лаборатории.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работах [12,13] предлагается уменьшать высокий уровень СЖК в сырье за счет проведения двух или трех последовательных этапов эстерификации. Вместе с тем, увеличение их количества снижает выход эфиров благодаря растворимости жиров и эфиров в метаноле [17]. Поэтому была предпринята

попытка получить надлежащий уровень СЖК уже на первом этапе, чтобы обеспечить высокий выход эфира и уменьшить продолжительности синтеза дизельного биотоплива.

Эстерификация КТЖ с серной кислотой. В качестве эталонного катализатора была выбрана концентрированная серная кислота. Реакцию эстерификации проводили при различных молярных соотношениях спирт/ТКЖ (10:1, 15:1, 20:1, 25:1, 30:1) и количествах катализатора H_2SO_4 (3%, 6%, 15%, 20%, 35%), в зависимости от уровня СЖК, в течение одного часа при температуре 60°С. Начальные эксперименты проводили с 3% и 6% катализатора при различных молярных соотношениях метанол/жир. Уровень СЖК удалось уменьшить до 11,25% при использовании 6% H_2SO_4 и молярном соотношении метанол/жир 30:1. Стало очевидным, что необходимо увеличивать количество H_2SO_4 и метанола. Следующие условия эстерификации были такими: молярные соотношения метанол/жир 20:1 и 30:1, количество H_2SO_4 - 15%, 20% и 35%. Время и температуру реакции не меняли. Уровень СЖК уменьшался с увеличением количества H_2SO_4 и метанола по сравнению с предыдущей реакцией. Например, уровень СЖК уменьшился до

6,26%, 2,27% и 1,20 % при применении соответственно, 15%, 20% и 35% H_2SO_4 с метанолом в молярном соотношении к жиру 20:1. Например, что основной целью эстерификации высококислотных жиров является снижение уровня СЖК примерно до 1%. При использовании соотношения метанол/жир 30:1 уровень СЖК снизился до 4,92%, 1,40% и 1,04% при наличии 15%, 20% и 35% H_2SO_4 , соответственно.

Эстерификация с соляной кислотой. Были повторены опыты с 6% , 15% и 20% HCl и метанолом в молярном соотношении к жиру 20:1 и 30:1. Применение 6% HCl не было эффективным . Уровень СЖК уменьшился до 12,99% и 12,46 % при использовании метанола в соотношении 20:1 и 30:1, соответственно. Когда количество HCl увеличили до 15% и 20%, уровень СЖК уменьшился, соответственно, до 5,26% и 2,83% при использовании метанола в соотношении к жиру 20:1. При использовании соотношения метанол/жир 30:1 уровень СЖК уменьшился до 3,89% и 1,67% в случае применения соответственно, 15% и 20% HCl . Уровень СЖК был снижен до 1 % при использовании 20 % HCl , молярном соотношении метанол/жир 30:1 и увеличении продолжительности реакции до 90 мин. Кинетики эстерификации с серной и соляной кислотами оказались очень похожими.

Эстерификация с азотной кислотой. Азотная кислота HNO_3 плохо растворяется в метаноле. Поэтому ее нужно нагревать до 45 °С, чтобы получить смесь спиртовокислотного реагента. Применение 6% HNO_3 не было эффективным. Уровень СЖК уменьшился до 12,78% и 12,32% при использовании метанола в соотношении к жиру 20:1 и 30:1, соответственно. Когда, количество HNO_3 увеличили до 15%, уровень СЖК уменьшился до 11,97 % при использовании метанола в соотношении к жиру 30:1. Поэтому исследования эстерификации КТЖ с использованием HNO_3 были отменены как бесперспективные.

Таким образом, катализ концентрированной серной кислотой дал лучшие результаты. Учитывая, что основной целью эстерификации было снижение уровня СЖК КТЖ до 1%, эксперименты с ее применением продолжили. Добавление 35% концентрирован-

ной серной кислоты к массе жира показало более полное превращение СЖК, но потери исходного сырья после эстерификации были большими. Поэтому, в качестве катализатора следует применять 20 % серной кислоты, увеличив при этом молярное соотношение метанол/жир до 40:1 , что обеспечивает снижение количества СЖК до уровня ниже 1%.

Влияние временных режимов на снижение уровня СЖК. Исследования проводились при температуре 60 °С при применении трех продолжительностей прохождения реакции – 60, 70 и 80 мин . Уровни СЖК были соответственно, 0,93%, 0,80% и 0,67% после реакции в течение 60, 70 и 80 мин с 20% H_2SO_4 и молярном соотношении метанол/жир 40:1. Таким образом уровень СЖК был менее 1 % во всех экспериментах. Эстерификация с 20% катализатора H_2SO_4 при молярном соотношении метанол/жир 40:1 в течение 80 мин при температуре 60 °С позволяет стабильно снижать количество СЖК до уровня менее 1%, что гарантирует обеспечение высокого выхода дизельного биотоплива после переэстерификации.

Характеристика топлива после переэстерификации. После эстерификации уровень СЖК в жире составил 0,67%, что является достаточным условием для проведения реакции переэстерификации жира метанолом в присутствии щелочных катализаторов. Было исследовано влияние вида катализатора, температуры реагентов и продолжительности реакции на свойства дизельного биотоплива. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Выход биотоплива увеличивался с увеличением температуры реакции от 25 °С до 60 °С, но существенно не менялся с увеличением продолжительности реакции. Минимальный выход дизельного биотоплива составил 71,3% (за четыре часа реакции при 25 °С с катализатором $NaOH$), а максимальный – 88,5 % (за 60 мин. реакции при 60 °С с катализатором KOH).

Как правило, плотность дизельного биотоплива уменьшается с увеличением времени и температуры реакции. Очевидно (табл. 1), нет существенной разницы между плотностью топлива после переэстерификации, проводимой с метилатами калия и натрия $KOMe$ и $NaOMe$ по сравнению с KOH

и NaOH. Вязкость топлива уменьшается с увеличением времени и температуры реакции, но существует значительная разница между вязкостью при использовании KOMe и NaOMe по сравнению с KOH и NaOH.

Содержание остаточного метанола в топливе колеблется от 0,01% до 0,20%.

Это указывает на то, что содержание метанола в биотопливе почти не зависят от параметров реакции переэтерификации.

Температура вспышки в закрытом тигле стабильная и находится в диапазоне 170-173 °С. КЧ жира после эстерификации составляло 0,67 мг KOH/г, а после переэтерификации КЧ топлива уменьшилось до 0,22–0,3 мг KOH/г. Теплота сгорания топлива близка к 40 мДж/кг и несколько ниже, чем у нефтяного дизельного топлива. Степень коррозии медной пластины достаточно низкая, что указывает на низкий уровень агрессивности

топлива по отношению к деталям дизельного двигателя.

ВЫВОДЫ

1. Серная кислота – наиболее эффективный катализатор для снижения уровня СЖК при эстерификации куриного жира.

2. Снижение уровня СЖК при эстерификации куриного жира существенно зависит от молярного соотношения метанол/жир, количества и вида кислотного катализатора и продолжительности реакции.

3. Начальный уровень СЖК в курином жире (15–27%) может быть уменьшен до 1% при использовании 20% H₂SO₄ к массе жира и метанола в молярном соотношении к жиру 40:1 в реакции при температуре 60 °С в течение 80 мин.

Таблица 1. Свойства дизельного биотоплива из технического куриного жира*

Table 1. Properties of biodiesel from chicken fat technical*

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
<i>a</i>	25	1	886	1	170	0.04	4	40	0.03	0.30	5.4	80
<i>a</i>	25	2	885	1	171	0.11	3	40	0.03	0.29	5.2	82
<i>a</i>	25	4	884	1	172	0.13	3	40	0.03	0.25	5.1	85
<i>a</i>	60	1	885	1	171	0.01	2	40	0.03	0.25	5.1	88
<i>a</i>	60	2	884	1	171	0.01	2	40	0.04	0.24	5.0	87
<i>б</i>	25	1	885	1	170	0.12	3	40	0.02	0.30	5.4	73
<i>б</i>	25	2	885	1	172	0.06	2	40	0.03	0.29	5.3	72
<i>б</i>	25	4	884	1	172	0.03	2	40	0.02	0.24	5.2	71
<i>б</i>	60	1	885	1	171	0.20	2	40	0.02	0.28	5.2	79
<i>б</i>	60	2	884	1	172	0.08	2	40	0.01	0.24	5.1	78
<i>в</i>	25	1	891	1	170	0.02	4	40	НП	0.30	6.7	85
<i>в</i>	25	2	890	1	172	0.01	3	40	0.02	0.27	6.3	83
<i>в</i>	25	4	888	1	172	0.01	3	40	0.01	0.25	5.8	82
<i>в</i>	60	1	887	1	171	0.01	3	40	0.01	0.29	5.6	89
<i>в</i>	60	2	886	1	172	0.01	3	40	0.01	0.26	5.6	85
<i>в</i>	60	4	886	1	172	0.01	3	40	0.01	0.24	5.6	86
<i>г</i>	25	1	891	1	171	0.03	4	39	НП	0.30	6.8	76
<i>г</i>	25	2	890	1	171	0.12	3	40	0.02	0.28	6.2	79
<i>г</i>	25	4	888	1	172	0.05	3	40	0.04	0.25	5.9	80
<i>г</i>	60	1	886	1	171	0.20	2	40	0.02	0.26	5.4	86
<i>г</i>	60	2	886	1	173	0.12	2	40	0.01	0.25	5.5	85

* 1 – катализатор (а – KOH, б – NaOH, в – KOMe, г – NaOMe), 2 – температура реакции(° С), 3 – время реакции (час), 4 – плотность (15 °С, кг/м³), 5 – коррозия медной пластины (степень коррозии), 6 – температура вспышки в закрытом тигле (° С), 7 – содержание метанола (%), 8 – температура застывания (° С), 9 – теплота сгорания (мДж / кг), 10 – свободный глицерин (%), 11 – кислотное число (мг KOH /г), 12 – вязкость (40 °С, мм² /с), 13 – выход дизельного биотоплива (%), НП – не проверяли.

4. Вязкость биотоплива уменьшается с увеличением температуры реакции.

5. Плотность, температура вспышки, содержание метанола, температура застывания, теплота сгорания, кислотное число и коррозия на медной пластинке дизельного биотоплива существенно не зависят от параметров реакции переэстерификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aronov E.L. 2007: Proizvodstvo i primenenie biodizelnogo topliva (s rapsovogo masla) v selskom hozjaistva / E.L. Aronov // *Texnika i oborudovanie dlja sela* – №3. – 38 – 40.
2. Vagner V.A. 2000: Primenenie alternativnych topliv v DVS / V.A. Vagner // *Dvigatellestroenie* – №3. – 2 – 16
3. Rydakov O.B. 2005: Giru. Chimichiskij sostav. Technologija girov i ekspertiza kachestva / O.B. Rydakov, A.N. Ponomarov i dr // – 312.
4. GOST 52368-2005. Topливо dizelnoe EVRO. *Texnicheskie uslovija*. - 40.
5. Bezzybov L.P. 1956: *Ximija girov. Metodu laboratornogo kontrolja proizvodstva*. – M.: – 225.
6. GOST 2003: GOST 52110-2003. Giru givotnue. Metodu opridelenija kislotnogo chisla.
7. Gerpen Van J.H. 2004: Biodiesel production technology / J.H. Van Gerpen, B. Shanks, R. Pruszko // *National Renewable Energy Laboratory Report, NREL/SR-510-36244*.
8. Darnoko D. 2000: Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor / D. Darnoko, M. Cheryan // *JAOCS* – № 77(12). – 63–67.
9. Golovenchik E.I. 2005: Zarubegnuj oput organizacii proizvodstva i ispolzuvaniya dizelnogo biotopliva na osnove prodyktov pererabotki givotnogo surja / E.I. Golovenchik // *Agroekonomika* – № 8. – 40 – 42.
10. Dybrovin V.O. 2004: Biopaluva (texnologija, mashunu i obladnannja) / V.O. Dybrovin, M.O. Korchmennuj, I.P. Maslo [ta in.] // – K.: «Energetika i elektrifikacija». – 256.
11. Sridharan R. 1974: Transesterification reactions / Sridharan R, Mathai M. // *JAOCS* – № 87(22). – 83–87.
12. Gerpen Van J.H. 2007: Biodiesel: An alternative fuel for compression ignition engines / J.H. Van Gerpen, C.L. Peterson, C.E. Goering // *American Society of Agricultural and Biological Engineers Distinguished Lecture Series* – №31:1, –22.
12. Polischuk V. 2012: Alternativnue dizelnoe toplivo / V. Polischuk, V. Dybrovin, A.V. Polischuk // – *Motrol.* – №14. – 20–31.
13. Canakci M. 1999: Biodiesel production via acid catalysis / M. Canakci, J.H. Van Gerpen // *Trans. of ASAE*. – № 42(5):12. – 3–10.
14. Ruwwe J. Metal alkoxides as catalysts for the biodiesel production. / J. Ruwwe // *Chemistry Today*. – 2008. – № 26(1); – 26–28.
15. Canakci M. 2007: Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel / M. Canakci // *Bioresource Technology*. – № 98. – 11–67.
16. Kondamudi N.A 2009: Green process for producing biodiesel from feather meal / N. Kondamudi, J. Strull, S.K. Mohapatra // *J. Agric. Food Chem.* – № 57:61. – 63–66.
17. Dale N. True metabolizable energy of feather meal / N. Dale // *J. Appl. Poult. Res.* – 1992. – № 1:3. – 31–34.
18. Gheorghe Hubca. 2008: Biocombustibili: biodiesel, sun diesel / Gheorghe Hubca, Angela Lupu, Corneliu Anton Cociașu. București, Vatrix Ro. – 497.
19. Zaharchuk V. 2010: Dizelnoe toplivo na osnove isopropilovuh efirov / V. Zaharchuk, V. Tkachuk // – *Motrol.* – №12. – 188–193.
20. Kawahara D.K. 1979: Process for Producing Lower Alcohol Esters of Fatty Acids / D.K. Kawahara, T.O. Yoshihara // *U.S. Patent* 4,164,506.

BIODIESEL WITH FAT-CONTAINING POULTRY WASTE

Summary. Investigated and substantiated technology production of biodiesel from fat-containing waste poultry processing plants, with significant levels of free fatty acids.

Key words: trans esterification, biofuels, methyl ester, chicken fat.

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УЧЕТА ОГРАНИЧЕНИЙ НА ФУНКЦИЮ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Юрий Ромасевич

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Yuriy Romasevich

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Выполнен анализ ограничений на функцию управления грузоподъемного крана, который приводится в движение с помощью электропривода. Выявлено, что область допустимых значений управления есть сложной функцией механических и электрических параметров крана. Разработан алгоритм учета ограничений на управляющую функцию.

Ключевые слова: грузоподъемный кран, управление, электропривод, область допустимых значений, алгоритм.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одной из важных проблем при проектировании приводных механизмов различных грузоподъемных кранов есть учет ограничений, которые налагаются на отдельные элементы привода. Учет этих ограничений дает возможность продолжительно и безаварийно эксплуатировать приводной механизм. Особую актуальность этой проблеме придает то, что современные крановые приводы являются, как правило, регулируемые [1-3]. Процесс их регулирования осуществляется с помощью различных силовых электронных устройств (частотных преобразователей, устройств мягкого старта, тиристорных регуляторов мощности) [4-6].

Таким образом, при проектировании привода крана необходимо учитывать ограничения на силовую электронную технику, которая в последнее время довольно широко используется. Классические ограничения на величину управления [7-10] не могут обеспечить требуемую динамику движения крана, так как не учитывают все виды ограничений на управление.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Значительное количество работ [11-14], в которых решена задача оптимального управления грузоподъемными кранами, используют классические ограничения на управляющую функцию. В работе [15] решена задача оптимального управления механизма грузоподъемной машины, который представлен наипростейшей одномассовой динамической моделью. Из этой работы следует, что использование модифицированного ограничения на управление не позволяет допустить перегрузку электродвигателя. Однако, использование силовой электронной техники усложняет ограничения на функцию управления.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель приведенной работы – разработать способы учета ограничения на функцию управления движением грузоподъемного крана с регулируемым электроприводом на этапе реализации управления.

Для достижения поставленной цели ставятся такие задачи: 1) провести анализ ограничений на функцию управления движением грузоподъемным краном; 2) разработать алгоритм учета ограничений на функцию управления движением крана.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Область допустимых управлений движением грузоподъемных кранов, которые приводятся в движение от электрического привода, связана с ограничениями, которые возникают при эксплуатации его электрических и механических устройств. Обозначим об-

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УЧЕТА ОГРАНИЧЕНИЙ НА ФУНКЦИЮ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

ласть допустимых управлений как U . Тогда можно записать:

$$U = P_{\text{мех}} \cap P_{\text{эл}}, \quad (1)$$

где: $P_{\text{мех}}$ и $P_{\text{эл}}$ – множества допустимых значений управления, которые накладываются со стороны механического и электрического оборудования крана соответственно.

Для реализации управления движением крана важным есть обеспечение непревышения предельного значения его ускорения. Если предельное значение ускорения будет превышено, то колеса грузоподъемного крана будут пробуксовывать по крановому пути (рельсам), а это означает срыв управления. Одним из ограничений на управление со стороны механической части есть непревышение максимального значения скорости движения отдельных элементов крана, особенно быстроходных валов, зубчатых колес и т.д. Выполнение этого требования связано с тем, что при увеличении скорости интенсивно изнашиваются подшипниковые узлы механизмов. Что касается динамических показателей, которые также должны быть учтены при реализации управления, то здесь необходимо отметить условие непревышения граничных значений усилий и крутящих моментов, на которые рассчитанные отдельные элементы крановых механизмов: валы, зубчатые передачи, муфты, подшипники. Таким образом можно записать следующую формулу:

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{ск.}} \cap P_{\text{уск.}} \cap P_{\text{ус.}} \cap P_{\text{мом.}}, \quad (2)$$

где: $P_{\text{ск.}}$, $P_{\text{уск.}}$, $P_{\text{ус.}}$, $P_{\text{мом.}}$ – ограничения по скорости движения элементов крана, по ускорению движения крана, по усилиям и крутящим моментам в крановых элементах соответственно. В общем, множество допустимых значений управления, которые накладываются со стороны механического оборудования крана $P_{\text{мех}}$, есть постоянной, что, не значительно усложняет реализацию управления на практике.

Перейдем к анализу множества допустимых значений управления, которые накладываются со стороны электрического оборудования крана $P_{\text{эл}}$. Здесь необходимо учитывать ограничения, которые налагаются со стороны электродвигателя и силового преобразователя, который является источником питания электродвигателя. При анализе $P_{\text{эл}}$

можно не учитывать ограничение со стороны сети. Кроме того, можно не учитывать ограничения со стороны электрической коммутационной аппаратуры крана и кабелей питания. Итак, справедливой есть формула:

$$P_{\text{эл.}} = P_{\text{п.ч.}} \cap P_{\text{эл.д}}, \quad (3)$$

где: $P_{\text{эл.д}}$ и $P_{\text{п.ч.}}$ – ограничения, которые налагаются со стороны электродвигателя и частотного преобразователя.

Ограничение со стороны электродвигателя связаны с него перегрузочной способностью, ограничением допустимого напряжения питания обмоток двигателя, допустимой температурой изоляции. Если тепловая модель двигателя известна, то можно определить текущую температуру двигателя и сравнить ее с допустимой. Заметим, что существует альтернативный путь решения проблемы непревышения допустимой температуры изоляции. Для этого используют тепловые сенсоры.

Что касается обеспечения перегрузочной способности привода, то здесь необходимо использовать нелинейную функцию типа „насыщение”, которая „отрезает” куски функции управления, реализация которых связана с превышением перегрузочной способности привода.

Непревышение напряжения питания кранового двигателя требуется для того, чтобы сделать невозможным пробой изоляции обмоток двигателя или источника его питания. Таким образом, это – общее ограничение. При реализации быстрого изменения заданного электромагнитного момента двигателя в его обмотках возможно наведение значительных ЭДС, которые могут вызвать превышение допустимого напряжения питания двигателя. Кроме того, сама реализация быстрого изменения электромагнитного момента требует прикладывания к обмоткам двигателя значительных напряжений. Покажем это на примере двигателя постоянного тока. Уравнение электрического равновесия якорной цепи такого двигателя можно записать в виде [16]:

$$U_{\text{пит}} = \dot{\varphi} c \Phi + M_{\text{эл маг}} \frac{R_{\text{я}}}{c \Phi} + \frac{L}{c \Phi} \dot{M}_{\text{эл маг}}, \quad (4)$$

где: $U_{\text{пит}}$ – напряжение питания двигателя; φ – угол поворота вала двигателя; c – коэффициент, который определяется конструкци-

ей двигателя Φ – магнитный поток двигателя; $M_{эл.магн.}$ – электромагнитный момент двигателя; $R_{я}$ – сопротивление якорной цепи двигателя; L – индуктивность обмотки якоря. Для того, чтобы обеспечить быстрое изменение электромагнитного момента двигателя необходимо к обмоткам двигателя приложить значительное напряжение питания. Для того, чтобы обеспечить непревышение допустимого напряжения питания двигателя необходимо ограничивать интенсивность изменения электромагнитного момента. Ограничение по величине напряжения питания трансформируются в ограничения на скорость изменения электромагнитного момента двигателя. Подводя итог сказанного выше, можем записать формулу:

$$P_{эл.д} = P_{п.с.} \cap P_{ск.эл.маг.} \cap P_{тем.о} \quad (5)$$

где: $P_{п.с.}$, $P_{ск.эл.маг.}$, $P_{тем.о}$ – ограничение по перегрузочной способностью двигателя, по скорости изменения электромагнитного момента двигателя, по температуре изоляции обмоток двигателя соответственно.

Для ограничений, которые накладываются со стороны частотного преобразователя можно записать такое выражение:

$$P_{п.ч} = P_{п.с.} \cap P_{шв.эл.маг.} \cap P_{тем.т} \quad (6)$$

где: $P_{п.с.}$, $P_{ск.эл.маг.}$, $P_{тем.т}$ – ограничения связанные с перегрузкой частотного преобразователя по току, по скорости изменения электромагнитного момента двигателя, по температуре силовых транзисторов соответственно. Максимально допустимая величина тока частотного преобразователя, которая связана с ограничением $P_{п.с.}$, указана в его паспорте. Ограничение по температуре силовых транзисторов есть довольно сильным. Оно трансформируется в ограничение на величину тока частотного преобразователя и продолжительность его протекания.

Сравнение ограничений, которые накладываются со стороны электродвигателя $P_{эл.д}$ и частотного преобразователя $P_{п.ч.}$, показывают, что более сильными есть ограничения $P_{п.ч.}$. Это связано с тем, что частотный преобразователь содержит силовые транзисторы, которые довольно чувствительные к токовым перегрузкам. Необходимо также сказать и то, что современные частотные преобразователи содержат интеллектуальную защиту от разных аварийных режимов работы. Превышение указанных выше ограничений мо-

жет вызвать аварийное выключение частотного преобразователя, который в свою очередь, послужит причиной остановки кранового двигателя. Дальнейшая эксплуатация частотного преобразователя возможна лишь после устранения причины его выключения. Желательно не допускать подобных аварийных ситуаций, поскольку при этом существует опасность выхода из строя дорогого оборудования. Определим область допустимых управлений:

$$u \in U = P_{уск.} \cap P_{п.с.} \cap P_{ск.эл.маг.} \quad (7)$$

Выбор именно таких ограничений связан с их важностью. Кроме того, другие ограничения можно учесть соответствующим выбором мощности частотного преобразователя и его настройками.

Графическая интерпретация выражения (7) показана на рис. 1. Из рис. 1 видно, что область допустимых управлений является логической конъюнкцией множеств $P_{уск.}$, $P_{п.с.}$, $P_{ск.эл.маг.}$. Кроме того, на рис. 1. показано то, что величины указанных множеств допускают разную вариацию „своих” параметров. Для того, чтобы управление было допустимым, то есть чтобы выполнялось условие:

$$u \in U \quad (8)$$

необходимо разработать определенные методы „попадания” функции управления в допустимую область.

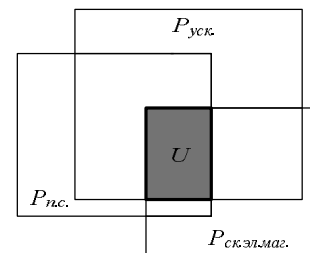


Рис. 1. Конъюнкция множеств $P_{уск.}$, $P_{п.с.}$, $P_{ск.эл.маг.}$, которая определяет область допустимых управлений U

Fig. 1. Conjunction sets $P_{уск.}$, $P_{п.с.}$, $P_{ск.эл.маг.}$, which defines the scope of admissible controls U

Заметим, что постановка задачи оптимального управления движением грузоподъемного крана с учетом условия (8) значительно усложняет ее решение. Поэтому избран иной подход – сначала решается задача оптимального управления динамической системой „кран–груз” и лишь тогда учитываются ограничения на управление (8). При этом управление системой определенным

образом модифицируется. Такая модификация управления может оставлять „оптимальность” управления [17], или модифицированное управление теряет „оптимальность” и тогда такую функцию называют квазиоптимальной. В качестве примера приведем задачу построения области допустимых значений управлений системой „кран-груз” (рис. 2).

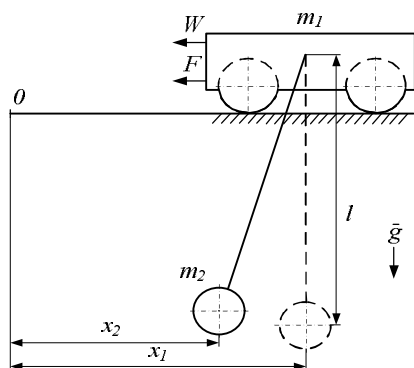


Рис. 2. Расчетная модель системы „кран-груз”

Fig. 2. The computational model of „crane-load”

Такая модель довольно широко используется в задачах исследования динамики и оптимального управления движением кранов пролетного типа [18, 19]. Принятая динамическая модель отображает лишь колебание груза на гибком подвесе, при этом не учитываются колебания в приводном механизме крана, а также колебания крановой металлоконструкции. Кроме того, примем предположение, что принятый закон изменения приводного усилия F „абсолютно точно” реализуется приводом крана (довольно часто в расчетах машин пренебрегают теми динамическими процессами, которые незначительно влияют на уровень динамических нагрузок их элементов [20]). Приведенная расчетная схема движения крана с грузом на гибком подвесе (рис.1) описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + m_2 \ddot{x}_2 = -F - W \operatorname{sign} \dot{x}_1, \\ \ddot{x}_2 + \frac{g}{l} (x_2 - x_1) = 0, \end{cases} \quad (9)$$

где: m_1 – приведенная масса приводного механизма и грузового крана; m_2 – масса груза; x_1, x_2 – координаты центров масс соответственно крана и груза; g – ускорение свободного падения; l – длина гибкого подвеса, F – суммарное тяговое или тормозное усилие,

которое действует на кран (в данной работе усилие F есть тормозным, ведь его направление совпадает с направлением приведенной силы сопротивления перемещению крана); W – приведенная сила сопротивления перемещению крана.

Введем обозначение для функции управления краном $u = \frac{-F - W}{m_1}$. Для того, чтобы

обеспечить ограничение на управление (8) необходимо разработать алгоритмы работы мехатронной системы управления движением крана с грузом на гибком подвесе. Для того, чтобы обеспечить не превышение максимального значения ускорения крана во время его торможения необходимо выполнить условие:

$$|u| = a_{\max}, \quad (10)$$

где: a_{\max} – максимальное значение ускорения крана. Прежде чем устанавливать какое-то значение управления должна проходить проверка условия (10). Если условие (10) не выполняется, то система автоматически устанавливает управление:

$$u = \begin{cases} a_{\max}, & \text{если } u > a_{\max}, \\ -a_{\max}, & \text{если } u < -a_{\max}. \end{cases} \quad (11)$$

Если условие (10) выполняется, то функция управления остается без изменений. Для обеспечения условия не превышения допустимого значения электромагнитного момента двигателя необходимо выполнить такое условие:

$$u m_1 + W \leq F_{\text{доп}}, \quad (12)$$

где: $F_{\text{доп}}$ – допустимое значение приводного усилия, которое действует на кран и которое отвечает допустимому значению электромагнитного момента кранового электродвигателя. Выполнение этого условия сводится к обеспечению такого равенства:

$$u = \begin{cases} -\frac{W}{m_1}, & \text{если } u > -\frac{W}{m_1}, \\ -\frac{F_{\text{доп}} + W}{m_1}, & \text{если } u < -\frac{F_{\text{доп}} + W}{m_1}. \end{cases} \quad (13)$$

Первое условие в выражении (13) означает запрет превышения нулевого значения электромагнитного момента двигателя. Постановка этого условия позволяет эксплуатировать крановый электропривод лишь во

втором квадранте механической характеристики, которая обеспечивает знакопостоянство электромагнитного момента кранового двигателя.

Для обеспечения условия непревышения скорости изменения электромагнитного момента система управления движением крана должна выполнять такую проверку:

$$|u_i - u_{i-1}| < \Delta t \dot{u}_{\text{доп}}, \quad (14)$$

где: u_i и u_{i-1} – значение функции управления на i -том и на $(i-1)$ -м шаге процесса движения крана соответственно; Δt – продолжительность времени между соседними дискретными управлениями u_i и u_{i-1} (шаг дискретизации управления); $\dot{u}_{\text{доп}}$ – допустимое значение скорости изменения управления, которое отвечает допустимой скорости изменения

электромагнитного момента приводного кранового двигателя. Правая часть неравенства (14) является модулем, поскольку в процессе движения крана управление может как возрастать, так и уменьшаться. Если условие (14) не выполняется, то управление устанавливается так:

$$u_i = \begin{cases} u_{i-1} - \Delta t \dot{u}_{\text{доп}}, & \text{если } u_i - u_{i-1} < -\Delta t \dot{u}_{\text{доп}}, \\ u_{i-1} + \Delta t \dot{u}_{\text{доп}}, & \text{если } u_i - u_{i-1} > \Delta t \dot{u}_{\text{доп}}. \end{cases} \quad (15)$$

На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма управления движением крана, которая реализует проверки (10), (12), (14) и модифицирует оптимальное управление, если это нужно.

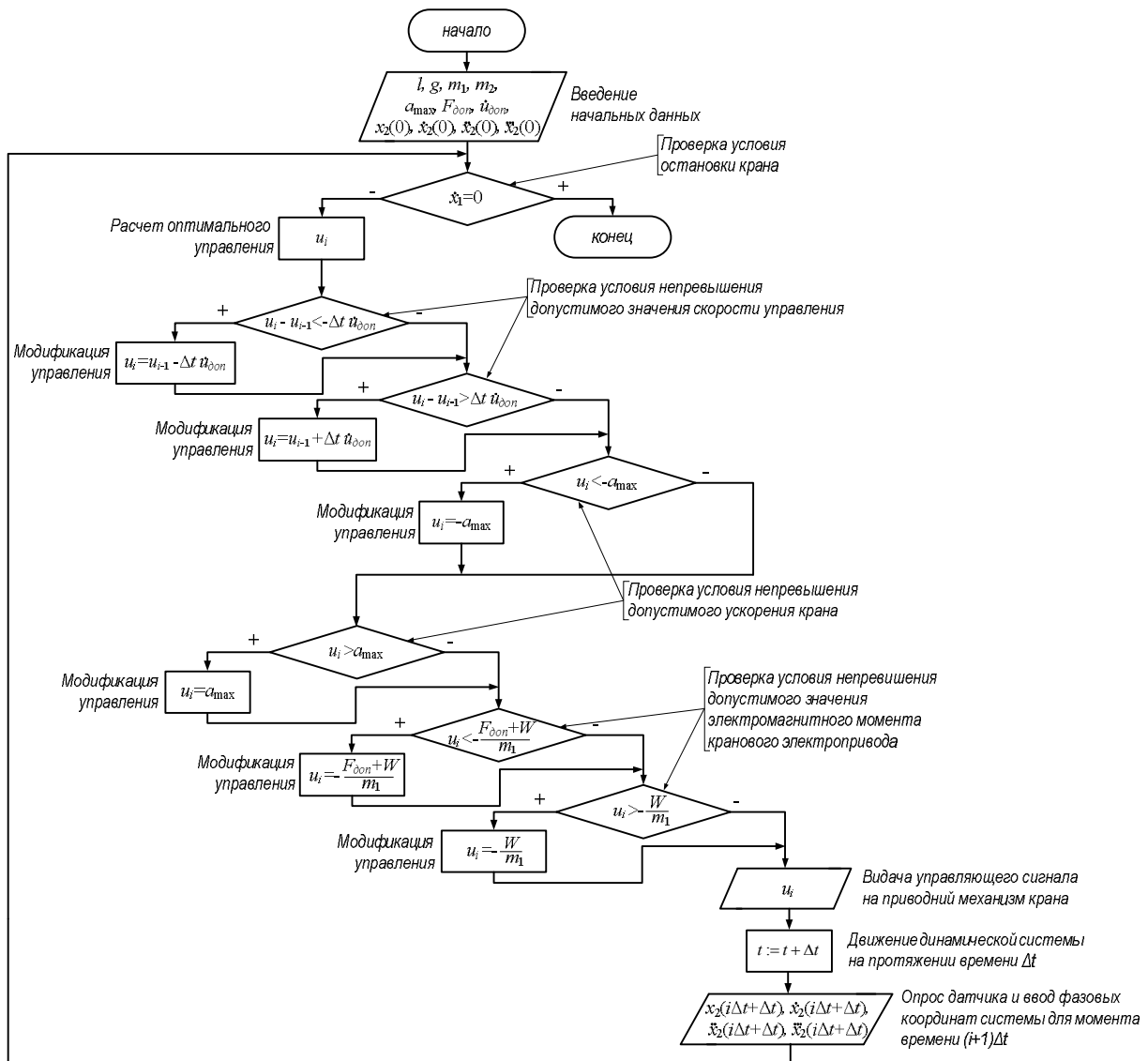


Рис. 3. Блок-схема алгоритма управления движением крана для модификации функции оптимального управления

Fig. 3. Chart control of all crane movements to modify the function of optimal control

Опишем процесс формирования модифицированного управления: 1) задают значение начальных параметров процесса; 2) вводят значение положения груза в начале процесса и высшие производные функции положения по времени; 3) проверяют условие остановки крана. Если кран имеет ненулевую скорость, то переходят к определению квазиоптимального управления; 4) выполняют расчеты оптимального управления; 5) выполняют проверку условия неперевышения допустимого значения скорости управления. В случае, когда условие не выполняется, модифицируют управление с помощью выражения (15); 6) выполняют проверку условия неперевышения допустимого ускорения крана. В случае когда условие не выполняется, модифицируют управление с помощью выражения (11); 7) выполняют проверку условия неперевышения допустимого значения электромагнитного момента кранового электропривода. В случае, когда условие не выполняется, модифицируют управление с помощью выражения (13); 8) выполняют выдачу квазиоптимального управления на приводной механизм крана; 9) выполняется движение системы на протяжении времени Δt ; 10) выполняют опрашивание датчика кинематических функций движения груза и переходят к третьему пункту алгоритма.

Необходимо отметить, что разработанный алгоритм можно обобщить на другие процессы движения крана и отдельных его механизмов.

ВЫВОД

В приведенной работе разработан способ учета ограничений на функцию управления движением грузоподъемного крана. При этом граница области допустимых управлений является сложной функцией электрических, кинематических и динамических показателей работы крана. На основе самых важных ограничений на управление краном разработан алгоритм учета ограничений, который реализуется мехатронной системой грузоподъемного крана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gerasimyak R.P. 1978: Tiristirnyy electroprivod dlya kranov / Gerasimyak R.P. – М.: Energia. – 112.
2. Pevzner E.M. 1991: Ekspluatatsiya kranovih tiristirnyh electroprivodov / E.M. Pevzner, A.G. Yuare. – М.: Energoatomizdat. – 104.
3. Gerasimyak R.P. 1970: Elektroprivody kranovyh mehanizmov / R.P. Gerasimyak, V.A. Parail. – М.: Energia. – 136.
4. Popov E.V. 2008: Ispolzovanie asinhronnyh dvigatelei s faznim rotorom v chastotno-reguliruemom electroprivode pri modelirovanii knovogo elektrooborudovaniya // Podemno-transportnoe delo – №4. – 23–25.
5. Popov V.A. 2007: Modernizatsiya sistem upravleniya privodov kranov na lomopere-rabativaustchih predpriyatiyah / V.A. Popov, A.I. Jordan, S.A. Gubskiy // Podemnie so-oruzheniya. Spetsailnaya tehnika. – №7. – 30–34.
6. Radimov S.N. 2007: Chastotniy privod mehanizmov cranov s napolnym upravleniem / S.N. Radimov, K.A. Anichenko, A.V. Goryachev, V.N. Suprunenko // Podemnie sooruzheniya. Spetsailnaya tehnika. – №7(71) – 22–24.
7. Petrov Yu.P. 1977: Variatsionnyye metody teorii optimalnogo upravleniya / Yu.P. Petrov. – L.: Energia – 280.
8. Pontragin L.S. 1961: Matematicheskaya toeria optimalnyh protsessov / L.S. Pontragin, V.G. Boltianskiy, R.V. Gamkrelidze, E.F. Mistschenko. – М.: Fizmatgiz. – 392.
9. Bellman R. 1960: Dinamicheskoye programmirivanie / R. Bellman. – М.: Izdatelstvo inostrannoy literatury. – 400.
10. Krasovsky I.I. 1968: Teoria upravleniya dvizheniem (lineinye sistemy) / I.I. Krasovsky – М.: Nauka. – 476.
11. Grigorov O.V. 1995: Sovershenstvovanie rabochih harakteristik kranovyh mehanizmov: diss. na soisk. step. doktora tehn. nauk / Grigorov Otto Vladimirovich. – Н. – 386.
12. Svirgun V.P. 1989: Razrabotka optimalnyh zakonov upravleniya mostovim greifernym kranom i primeneniye mikroprotsessornoy sistemy dlya ih realizatsii: avtoref. diss. na soisk. step. kand. tehn. Nauk / V.P. Svirgun. – Н. – 15.
13. Chernousko F.L. 1980: Upravlenie kolebaniyami / F.L. Chernousko, L.D. Akulenko, B.N. Sokolov – М.: Nauka – 384.

14. Geronymus Ya.O. 1966: O nekotorykh metodah opredelenia optimalnogo zakona dvizhenia, rassmatrivaemogo kak upravlyauschee vozdeistvie / Ya.O. Geronymus, M.M. Perelmutter // *Machinivedenie*. – № 6. – 6-24.
15. Loveikin V.S. 2011: Obguntuvania vvedennya modyfikovanogo obmezhenia na funktsiu optimalnogo keruvanya tehničnymy sistemamy / V.S. Loveikin, Yu.O. Romasevich // *Sbornik nauchnyh trudov. Stroitelstvo, materialovedenie, machinostroenie. Intensifikatsia rabochih protsessov stroitelnyh i dirizhnyh mahin. Sevia: podemno-transportnye, stroitelnye i dirozhnye mashiny i oborudovanie*. – № 63 – 211–220.
16. Chilikin M.G. 1981: Obschiy kurs electroprivoda / M.G. Chilikin, A.S. Sandler. – M.: Energoizdat. – 576.
17. Loveikin V.S. 2013: Vstanovlenny umov optimalnosti keruvan tehničnymy systemsmy v zakritiy oblasti dopustymykh znachen / V.S. Loveikin, Yu.O. Romasevich // *Naukoviy visnyk NUBIP Ukrainy. Seria: tehnika ta energetika APK*. – 185 (3). – 141–151.
18. Chovnyuk Yu.V. 2011: Utochnena dynamichna model ruhu vizka z vantazhem na gnuchkomu pidvisi / Yu.V. Chovnyuk // *MOTROL*. – 13B – 130–137.
19. Budikov L.Ya. 1997: Mnogoparametri-tcheskiy analiz dinamiky gruzopodemnykh kranov mostovogo tipa / L.Ya. Budikov – Lugansk: VUGU. – 210.
20. Litvinov O. 2006: Towards the dynamic calculation of machines / O. Litvinov // *MOTROL*. – 8A. – 210–223.

Key words: load-lifting crane, control, electric drive, tolerance range, algorithm.

**ANALYSIS AND DEVELOPMENT
OF ACCOUNTING METHODS
FOR RESTRICTIONS ON FUNCTIONS
TRAFFIC CONTROL LOAD-LIFTING
CRANES**

Summary. The analyses of the constraints on the control function of load-lifting crane with electric drive have been carried out. Established that the range of admissible values of the control is a complex function of the mechanical and electrical parameters of the crane. An algorithm accounting constraints on the control function have been developed.

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ МЕХАНИЗАТОРОВ ЗА ДАННЫМИ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Александр Войналович

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Aleksandr Voynalovich

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Рассмотрены причины и следствия аварийных ситуаций на механизированных процессах в сельском хозяйстве. Описаны подходы к созданию методологии оценки риска травмирования работников на механизированных процессах в АПК по данным дефектоскопического контроля. Показано, что параметры надежности машин и аспекты охраны труда в современной методологии анализа системы «машина - человек – окружающая среда» базируются на одинаковых вероятностных моделях оценки риска отказов или риска возникновения несчастных случаев. Поэтому для оценки вероятности аварийных ситуаций на механизированных процессах в сельском хозяйстве необходимо привлекать развитые методологии теории надежности, основанные на статистике отказов машин или оборудования, в том числе полученные с помощью методов дефектоскопического контроля.

Ключевые слова: производственный травматизм, риск травмирования, дефектоскопический контроль, механизированные работы, сельское хозяйство, аварийные ситуации, причины несчастных случаев.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Статистика аварийных ситуаций и производственных несчастных случаев [1], которые происходят в сельском хозяйстве с участием мобильной техники, указывает, что основными их причинами являются нарушения работниками нормативов безопасности труда, правил дорожного движения и технической эксплуатации машин, а также неудовлетворительное техническое состояние используемых тракторов и мобильных сельскохозяйственных машин [2]. Долю аварий, связанных с человеческим фактором, можно

снизить внедрением наукоемких технологий эксплуатации мобильной техники и применением широкой системы мероприятий по охране труда, в частности предусматривающих углубленное обучение работников безопасным методам работы, а также внедрением технических средств безопасности, которые предохраняют работников от выполнения опасных работ [3].

Так, уменьшению уровня травматизма механизаторов и других работников сельского хозяйства будет способствовать введение регламента оперативного, технически оснащенного и систематического контроля состояния мобильной сельскохозяйственной техники [4]. Это позволит выявлять эксплуатационные дефекты в деталях узлов тракторов и мобильных машин на ранних стадиях их образования, а значит своевременно проводить техническое обслуживание соответствующих узлов (систем) с заменой поврежденных деталей в ремонтных подразделениях сельскохозяйственных предприятий. А не ремонтировать агрегат в поле или на дороге в условиях дефицита рабочего времени и отсутствия необходимого инструмента, силами механизаторов (водителей), не имеющих необходимой ремонтной квалификации [5].

Одним из направлений такого контроля при техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственной техники является использование мобильных возможностей дефектоскопов, адаптированных для оперативного диагностирования определенных деталей тракторов и мобильных машин [4]. Это должно обеспечить не только раннее диагностирование эксплуатационных дефектов опасных размеров в деталях узлов сельскохозяйственных агрегатов, но и разработку карт учета дефектности узлов тракторов и

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ МЕХАНИЗАТОРОВ ЗА ДАННЫМИ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

мобильных машин с целью документализации динамики исчерпания их эксплуатационного ресурса и оценки вероятности наступления аварийных ситуаций вследствие разрушения деталей узлов [6]. Это будет весомым аргументом для руководителей и инженерно-технических работников сельскохозяйственных предприятий по недопущению к эксплуатации тракторов или мобильных машин с поврежденными деталями.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обеспечение надлежащего технического состояния оборудования, машин, механизмов и их элементов конструкций является неизменным компонентом безопасности труда. Техническое состояние во многом определяет безопасность машин и конструкций, ведь их надежность снижает риск травмирования и профессиональной заболеваемости работников.

Энергетические мощности, сосредоточенные в сельскохозяйственных машинах и агрегатах, делают проблему безопасности машин и конструкций все более актуальной [7]. Поэтому техническую безопасность в сельском хозяйстве нужно рассматривать не только с точки зрения надежности и остаточного ресурса техники, но и учитывая безопасность работников, которые на этой технике работают, ремонтируют ее и обслуживают.

Для того чтобы оценить показатели надежности и безаварийности определенной машины или агрегата, а в дальнейшем спрогнозировать вероятность опасных (аварийных) ситуаций, в которых могут пострадать механизаторы, используют данные о режимах эксплуатации аналогичной техники, полученные согласно определенным научно-организационными предпосылкам [8]. Среди них необходимо отметить следующие: длительность эксплуатации всех сравниваемых деталей должна быть сопоставимой, а их количество заранее оговоренным, состояние деталей необходимо периодически отслеживать, чтобы фиксировать все эксплуатационные отказы, и др.

Для сельскохозяйственных мобильных машин указанные предпосылки для исследо-

вания показателей риска и безопасности труда не всегда удается реализовать [9]. Этому есть несколько причин. Так, работники инженерной службы сельскохозяйственных предприятий документируют не все случаи отказов деталей данного типа, в основном только те, что были обнаружены во время капитального ремонта. Начало эксплуатации деталей узла, отказ которого зафиксирован, может быть тоже разным, и не всегда его можно установить. При выполнении ремонтно-обслуживающих работ в сельскохозяйственном производстве часто детали переставляют с одного агрегата на другой, исходя из целесообразности выполнения сезонных работ в течение коротких сроков. Поэтому для прогнозирования показателей безопасности выполнения механизированных сельскохозяйственных работ предпочтение необходимо отдавать моделям, использующим полученные в течение ограниченного промежутка времени данные об отказах представительной группы деталей машин всех лет изготовления [10].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Сравнить подходы к построению вероятностных моделей оценки риска отказов (в теории надежности) и риска возникновения несчастных случаев (в охране труда) для обоснования применения данных дефектоскопического контроля деталей узлов сельскохозяйственных агрегатов в методиках расчета степени опасности возникновения аварийных ситуаций на механизированных и транспортных работах в сельском хозяйстве.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 1 рассмотрены в виде блок-схемы возможные виды аварийных ситуаций на механизированных процессах в сельском хозяйстве, их причины и последствия [11]. Среди причин аварийных ситуаций сельскохозяйственной техники неудовлетворительное техническое состояние часто обусловлено повреждением деталей и элементов конструкций.



Рис. 1. Причины и последствия аварийных ситуаций на механизированных процессах в сельском хозяйстве

Fig. 1. Causes and consequences of emergencies on mechanized processes in agriculture

В теории надежности машин исследования безотказности ограничиваются определением характеристик изменения состояний работоспособности и неработоспособности компонентов системы и системы в целом. В дополнение к этому, в исследованиях безопасности труда необходимо проанализировать условия перехода отказов системы в аварии и определить характеристики этого процесса. Если на этой стадии выявлена возможность возникновения аварий в системе, то исследуют риск дальнейшей эксплуатации машины, чтобы определить последствия этих аварий и оценить угрозу жизни и здоровью людей [12].

Так традиционно сложилось, что науки, описывающие предельное состояние эксплуатации системы «машина – человек – окружающая среда» («М-Ч-С»), основное внимание обращают на оценку технического состояния машины [13], оставляя без внимания аспекты непосредственной безопасности работника, выполняющего на этой машине технологические операции. Если же рассматривают вопросы безопасности работника, то прогнозирование риска возникновения аварийных ситуаций, приводящих к несчастным случаям, базируется, как правило, на анализе ошибочных действий оператора, без соотнесения их с реальным техническим со-

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ МЕХАНИЗАТОРОВ ЗА ДАННЫМИ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

стоянием машины. Указанный подход характерен для наук в области аграрного производства, в частности, применительно к механизированным сельскохозяйственным работам.

Вместе с тем, как видно на рис. 2, указанные направления (надежность техники и охрана труда) современной методологии анализа системы «машина – человек – окружающая среда» базируются на одинаковых вероятностных моделях оценки риска отказов или риска несчастных случаев.

Поэтому для оценки вероятности аварийных ситуаций необходимо привлекать развитые методологии теории надежности, основанные на статистике отказов машины или оборудования, в том числе полученные с помощью методов дефектоскопического контроля, что особенно актуально для прогнозирования технического состояния агрегатов длительной эксплуатации. Исследуя риск возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники, необходимо прежде всего выяснить: а) возможные виды аварий, в частности их угрозу жизни и здоровью механизаторов или вспомогательных работников; б) те части (узлы и системы) трактора, которые могут спровоцировать аварии и несчастные случаи; в) пределы исследования (ограничить количество контролируемых деталей).

Аварии классифицируют в соответствии с характером их последствий: а) те, которыми можно пренебречь; б) последствия которых находятся на допустимом пределе; в) с критическими последствиями; г) с катастрофическими последствиями. Эта классификация аварий не в полной мере адекватна имеющимся опасностям при выполнении механизированных работ в сельском хозяйстве. Так, катастрофическими последствиями могут характеризоваться пожары во время уборки зерновых или аварийные ситуации на дорогах с участием другой мобильной техники. Вместе с тем, пренебрежение незначительными дефектами в деталях сельскохозяйственных агрегатов может привести к серьезным проблемам как из-за отсутствия систем идентификации или контроля опасностей на сельскохозяйственной технике, так и в силу специфики выполнения механизиро-

ванных работ в растениеводстве или животноводстве.

Более приемлемой для сельского хозяйства является классификация отказов по уровням значимости:

категория 1 – отказ может привести к риску ущерба здоровью;

категория 2 – отказ может привести к невыполнению технологической операции (поставленной задачи);

категория 3 – отказ может привести к несвоевременному выполнению работы или к потере оперативной готовности (крайне актуально, учитывая сезонность сельскохозяйственного производства);

категория 4 – отказ приводит к дополнительным работам по техническому обслуживанию.

Сравним, например, отказа в результате разрушения отдельных деталей двигателя трактора. Очевидно, что разрушение базовых деталей приведет к более негативным последствиям, чем разрушение вспомогательных деталей. Так, разрушение коленчатого вала приведет окончательной остановке двигателя, а в случае разрушения шатуна двигатель может на время сохранять работоспособность. Вместе с тем при выполнении полевых механизированных работ ремонтные работы придется проводить на непригодных площадках в поле независимо от номенклатуры разрушенных деталей.

В случае выполнения механизированных сельскохозяйственных работ неприемлемым является простой техники из-за отказа узлов (систем) во время сева, уборки урожая и других сезонных работ, которые необходимо выполнить в кратчайшие сроки. Поэтому ремонтные работы часто проводят в полевых условиях при отсутствии специального инструмента, квалифицированного персонала ремонтников, с нарушением нормативов безопасности труда. Поэтому для сельскохозяйственного производства категории 2 и 3 тоже представляют угрозу для жизни и здоровья работников, задействованных на ремонтных работах. Об этом свидетельствует тот факт, что в сельскохозяйственном производстве общий (несмертельный) травматизм на ремонтных работах составляет почти половину от общего травматизма в сельскохозяйственном производстве [14].

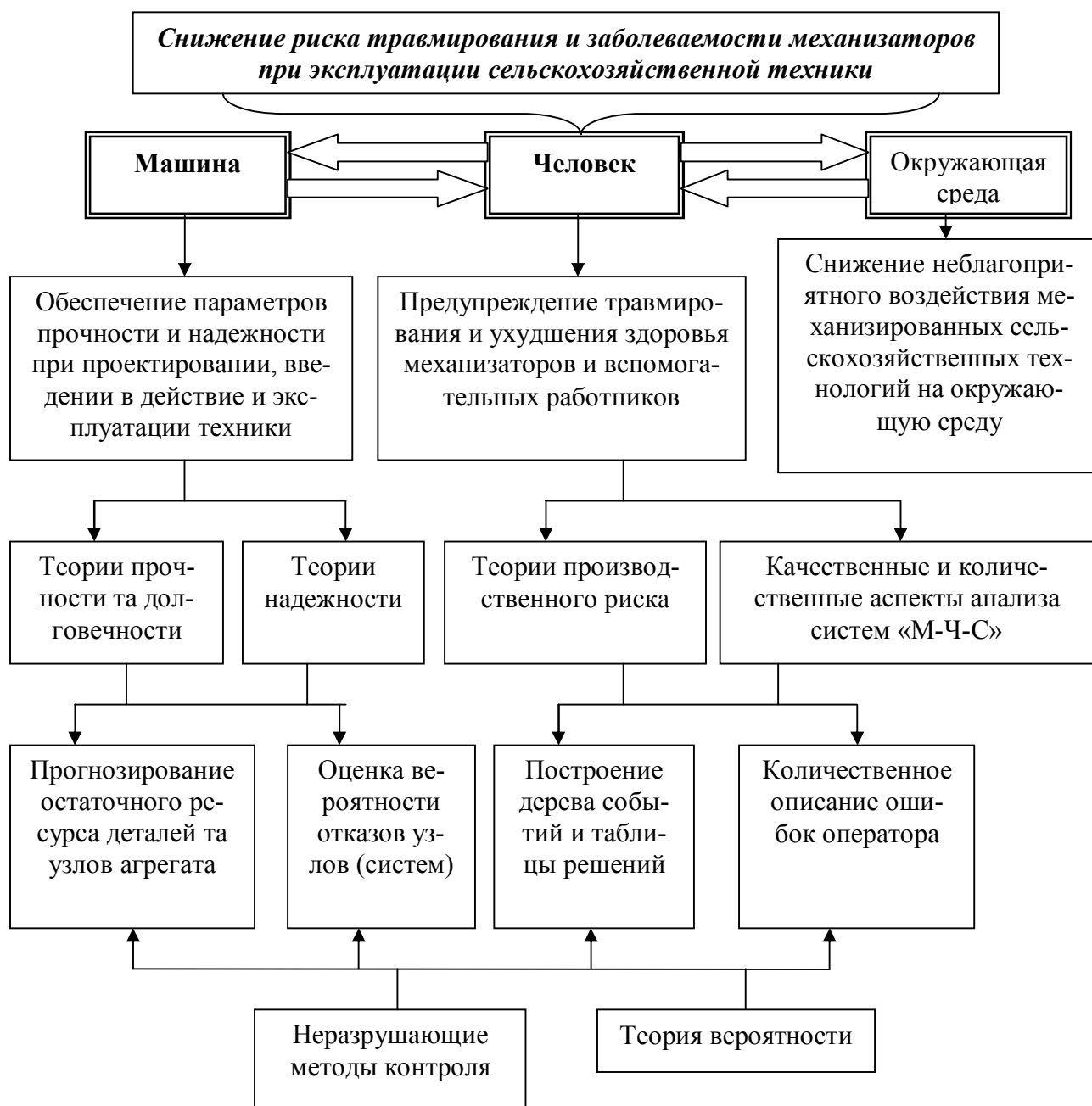


Рис. 2. Методология снижения риска травматизма и заболеваемости механизаторов при эксплуатации сельскохозяйственной техники

Fig. 2. Methodology for reducing the risk of injury and illness of the operators of agricultural machinery

С увеличением сроков эксплуатации сельскохозяйственной техники объем ремонтных работ будет расти.

Необходимо учитывать условия эксплуатации деталей узлов сельскохозяйственных агрегатов. Известно, что в деталях, подвергающихся одновременному воздействию разного рода эксплуатационной нагрузки, например механического (силового), термического или коррозионного, трещины распространяются быстрее. Но именно такими

условиями характеризуется эксплуатация сельскохозяйственной техники. Поэтому, критерии выбраковки деталей сельскохозяйственных агрегатов должны быть более жесткими, а дефектологический контроль – более массовым и тщательным. Вместе с тем своевременное выявление дефектов в деталях сельскохозяйственных машин является лишь первым этапом оценки производственной опасности. Для прогнозирования риска эксплуатации мобильных сельскохозяй-

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ МЕХАНИЗАТОРОВ ЗА ДАННЫМИ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

ственных машин длительной эксплуатации при наличии дефектов в деталях их узлов нужно разработать блок-схемы формирования опасностей с учетом вероятностного характера накопления повреждений в деталях и элементах конструкций.

В основе проанализированных методологических подходов заложено понимание того, что производственная аварийная ситуация, которая приводит к несчастным случаям, – это случайная величина, поэтому количественная оценка последствий аварийных режимов эксплуатации техники должна описываться вероятностными математическими моделями. В то же время вероятностные подходы для оценки степени опасности аварийных ситуаций при эксплуатации мобильных сельскохозяйственных машин, которые рассматривают как потенциально опасные объекты, использовали лишь в немногих работах [15].

Так, в большинстве работ, где рассматривался вопрос функционирования математической модели системы «машина - человек - окружающая среда» в сельскохозяйственном производстве, основной упор сделан на аспектах надежности мобильной техники, без рассмотрения потенциальных опасностей для механизаторов и других работников, задействованных в технологическом процессе.

В работе [16] рассмотрена проблема влияния условий эксплуатации гусеничных машин на их надежность. Предложена математическая модель, которая позволяет получить показатели надежности техники в зависимости от условий их эксплуатации. Для расчета надежности использован регрессионный полином, параметры которого рассчитаны по методу максимальной достоверности.

Инженерный метод для статистической оценки вероятности безотказной работы основных (базовых) деталей сельскохозяйственного агрегата представлен в работе [17]. Согласно с предложенной методикой, вычислив минимальные вероятности работы каждого агрегата машины, можно рассчитать эту характеристику для всего агрегата соответственно для каждого из трех типов отказов в течение заданного времени. В этой работе расчет ограничен лишь базовыми деталями, что позволяет существенно сократить

объем вычислений и оценить нижнюю границу вероятности безотказной работы агрегата.

Важным в моделях безотказной работы сельскохозяйственных машин и агрегатов является разбивка деталей узлов на отдельные группы согласно критериям значимости, степени повреждаемости и др. Так, в работе [18] для обеспечения объективности информации о влиянии продолжительности эксплуатации на состояние деталей сельскохозяйственной техники были определены характерные дефекты, которые с учетом значимости распределены на критические, значительные и малозначительные. К критическим дефектам были отнесены дефекты, опасные для жизни и здоровья человека. К значительным дефектам были отнесены повреждения, которые требуют значительных средств для их ликвидации.

В работе [18] за типичные критические дефекты принимали: некачественная сборка ступицы колеса самоходной машины; некачественная сварка рамной конструкции; чрезмерная деформация и трещины несущей рамы; утечка топлива; утечка в системах охлаждения, торможения и гидравлической системе; зацепление или заклинивание вращающихся подвижных рабочих органов машин и оборудования; непригодность к монтажу. Такая классификация позволила для оценки состояния деталей использовать статистический контроль. Но в представленной структуре формирования дефектов сельскохозяйственной техники не учтены процессы накопления дефектов при эксплуатации.

Ранжирование деталей трактора Т-150К на «слабые» (с ресурсом существенно меньше 6000 мото-часов) и с более высоким моторесурсом выполнено в работе [19]. Проведенные исследования показали, что количество «слабых» деталей в тракторе составляет около 10-15% от общего количества.

Систематизация обнаруженных трещин по их относительным размерам в деталях сельскохозяйственных машин была использована в работе [20] для определения условной вероятности отказа узлов мобильных сельскохозяйственных машин по данным дефектоскопического контроля. Было показано, что вероятность выхода из строя отдельных узлов трактора определяется ком-

плексом имеющихся трещин в деталях, а это накладывает особые требования к периодичности и тщательности проведения дефектоскопического контроля. Вместе с тем достоверность прогноза напрямую зависит от качества полученной информации о наличии дефектов в ответственных деталях и элементах конструкций таких объектов.

Вероятность аварийных ситуаций при эксплуатации тракторов МТЗ-80 вследствие разрушения деталей отдельных систем (узлов) было рассчитано с использованием статистических методов распознавания при техническом диагностировании. Дальнейшее использование логико-имитационных моделей позволило рассчитать вероятности аварийных ситуаций в целом для всего трактора.

ВЫВОД

Показано, что параметры надежности машин и аспекты охраны труда в современной методологии анализа системы «машина – человек – окружающая среда» базируются на одинаковых вероятностных моделях оценки риска отказов или риска возникновения несчастных случаев. Поэтому для оценки вероятности аварийных ситуаций на механизированных процессах в сельском хозяйстве необходимо привлекать развитые методологии теории надежности, основанные на статистике отказов машин или оборудования, в том числе полученные с помощью методов дефектоскопического контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Statistichnij 2013: Statistichnij byuleten "Travmatizm na virobnitstv u 2012 rotsi". – K.: Derzhavna sluzhba statistiki Ukrainu. – 150.
2. Capko W.G. 2013: Ochrona pracy podczas uzytkowania nowoczesnej mobilnej techniki rolniczej / W.G. Capko, A.V. Wojnalowicz, M.M. Motrich // Praktyczne problemy zwiazane z ochrona pracy w rolnictwie. Praca zbiorowa pod redakcja Leszka Soleckiego. – Instytut medycyny wsi, Lublin.–111–118.
3. Lekhman S.D. 2001: Sistema upravlin-nya profesijnim rizikom na silskogospo-darskomu pidpriyemstvi / Lekhman S.D. // Zbirnik naukovikh prats 3– mizhnarodnoyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi "Motorizatsya energetika rilnitstva". – Lyublin (Polscha). 2001 – 9–12.
4. Vojnalovich A. 2013: Primenenie defektoskopicheskogo kontrolya dlya predotvrascheniya avarijnykh situatsij na mekhanizirovannykh protsessakh v selskom khozyajstve / Aleksandr Vojnalovich, Mikhail Motrich, Dmitrij Kofto // MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. – Vol. 15. – № 3. – 157–162.
5. Vojnalovich O.V. 2012: Analiz prichin travmuvannya pratsivnikv APK na mekhanizovanikh ta transportnykh robotakh / O.V. Vojnalovich, I.M. Podobed, M.M. Motrich ta in. // Problemi okhoroni pratsi v Ukraini. Zbirnik naukovikh prats. – Vipusk 24, – 38–49.
6. Vojnalovich O.V. 2013: Algoritmi otsinyuvannya stupenya spravnosti mobilnoyi silskogospo-darskoyi tekhniki / O.V. Vojnalovich, M.M. Motrich, I.M. Podobed // Problemi okhoroni pratsi v Ukraini. Zbirnik naukovikh prats. – K.: DU "NNDIPBOP". – Vip. 25, – 112–122.
7. Kozachenko O.V. 2000: Viprobuvannya silskogospodarskikh mashin i prognozuvannya yikh tekhnichnogo stanu / O.V. Kozachenko // Visnik kharkivskogo derzhavnogo tekhnichnogo unversitetu silskogo gospodarstva. – Vip. 4. – 44–48.
8. Novitskij A.V. 2013: Pidkhid do otsniki pokaznikiv nadijnosty skladnykh tekhnichnykh sistem "lyudina-mashina" / A.V. Novitskij, Z.V. Ruzhilo // Naukovij visnik natsionalnogo unversitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya ukraini. Serya: tekhnika ta energetika APK. – Vip. 185. – Ch. 2, – 366–373.
9. Novitskij A.V. 2013: Metodichni pidkhodi otsinki nadijnosti lyudini-operatora, yak skladovoy systemy "lyudina-mashina-seredovische" / A.V. Novitskij, Z.V. Ruzhilo, O.A. Novitska // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Vip. 133.,– 243–248.
10. Vojnalovich O.V. 2011: Metodi otsinennya virobnychogo riziku na mekhanizovanikh robotakh u silskomu gospodarstv / O.V. Vojnalovich, M.M. Motrich, V.Ye. Kirdan // Visnik

- KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Vip. 107. – Т. 2., – 257–263.
11. Primirna 1999: Primirna instruktsiya z okhoroni pratsi dlya traktorista–mashinista silskogospodarskogo virobnitstva. Zatverdzhena nakazom Minagro-promu Ukraini № 110 vid 9 bereznya. – 101.
12. Khenli E. 1987: Nadijnisne proektuvannya tekhnicheskikh sistem i otsinka riziku / E. Khenli, Kh. Kumamoto. – K: Vischa shkola. – 544.
13. Bojko A.I. 2013: Matematichne modelyuvannya sistemi "lyudina-mashina" pri nakopichenni vidmov / A.I. Bojko, A.V. Novitskij // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Vip. 134. – 75–79.
14. Scherbakova E.V. 2005: Proizvodstvennyj travmatizm pri remonte i tekhnicheskomo obsluzhivanii tekhnologicheskogo oborudovaniya agropromyshlennogo kompleksa / E.V. Scherbakova, N.S. Studennikova // Fundamentalnye issledovaniya. – № 11. – 51–52.
15. Gnatyuk O.A. 2012: Modelyuvannya vplivu nebezpechnik virobnychikh chinnikov na pokazniki bezpeki mashinno-traktornikh agregativ v umovakh agropromislovogo virobnitstva imovirnsnimi metodami / O.A. Gnatyuk, V.V. Vigun // Tekhniko–tekhnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoyi tekhniki i tekhnologij dlya silskogo gospodarstva Ukraini: zbirnik naukovikh prats / DNU UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – Doslidnitske. – Vip. 16 (30). – Kn. 2., – 81–96.
16. Raskin L.G. 1999: Metodika rascheta nadezhnostnykh pokazatelej gusenichnykh mashin s uchetom uslovij ikh ekspluatatsii / L.G. Raskin, I.V. Melnikov // Vestnik kharkovskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Sistem. analiz, upr. i inform. tekhnologii. – Vup. 57, – 50–52.
17. Ruzhilo Z.V. 1997: Vudu poshkodzhen detalej vakuumnikh plastinchasto-rotornikh nasosiv ta ikh kilkisna otsinka / Z.V. Ruzhilo // Zbirnik naukovikh prats natsionalnogo agrarnogo universitetu. T. III. "Mekhanizatsiya silskogospodarskogo virobnitstva". – K.: Vidavnitstvo VAU. – T III, – 74–76.
18. Elisejkin V.A. 1993: Povyszenie bezopasnosti truda operatorov selskokhozyajstvennoj tekhniki putem identifikatsii metodov i tekhnicheskikh sredstv okhrany truda na osnove veroyatnostnykh modelej mekhanizirovannykh protsessov: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni d–ra tekhn. nauk: spets. 05.26.01 "Okhrana truda" / V.A. Elisejkin. – SPb.; Pushkin. – 35.
19. Karabinosh S.S. 2000: Kompleksnij pidkhid u pitanni pidvischennya nadijnosti silskogospodarskikh mashin / S.S. Karabnosh // Zbirnik naukovikh prats natsionalnogo agrarnogo universitetu. Mekhanzatsiya silskogospodarskogo virobnitstva. T. VII. – K.: Vidavnitstvo NAU, – 78–80.
20. Vojnalovich O.V. 2006: Otsinennya riziku nastannya avarijnykh situatsij pri ekspluatatsii traktoriv z vicherpanim resursom / O.V. Vojnalovich, Yu.B. Gnuchj, M.M. Motrich // Pratsi Tavrijskoi derzhavnoi agrotekhnichnoi akademii. – Vip. 45. – Melitopol: TDATA. – 130–137.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE RISK OF INJURY OF MEKHA NIZATORS BY DATA OF FLAW DETECTION CONTROL

Summary. The causes and consequences of emergencies on mechanized processes in agriculture are considered. The approaches to the creation of a methodology for assessing the risk of injury to workers on mechanized processes in agriculture according to flaw control are described. It is shown that the parameters of machine reliability and aspects of health and safety in the modern methodology of analysis of the "machine – human – environment" based on the same probabilistic models of risk assessment or risk failure accidents. Therefore, to assess the probability of emergencies on mechanized processes in agriculture should involve the developed methodology of reliability theory, based on the statistics of failures of machines or equipment, including those obtained by the methods of flaw detection control.

Key words: occupational injuries, the risk of injury, flaw detection control, mechanized work, agriculture, emergency situations, the causes of accidents.

ОТДЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ УКРАИНЫ

Григорий Шкариковский¹, Роман Шкариковский²

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев обороны, 15*

²*Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»*

Украина, Киевская обл., Васильковский р-н, п.г.т. Глеваха, ул. Вокзальная, 11

Grigoriy Shkarovsky¹, Roman Shkarovsky²

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

²*National Scientific Center "Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture"
Str. Vokzalna, 11, Glevaha, Vasilkovskiy District, Kiev Region, Ukraine*

Аннотация. На основании статистических данных проведен анализ вклада хозяйств различных типов в формирование валовой продукции сельского хозяйства Украины за последние годы с учетом распределения земельных ресурсов.

Ключевые слова: валовая продукция, сельское хозяйство, хозяйства различных типов, сельскохозяйственные угодья, пашня, площадь.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблемам развития сельского хозяйства Украины посвящены работы В. Власова, Б. Пасхавера, П. Саблука [1], В. Юрчишина и многих других. Одной из главных составляющих суверенитета государства является его продовольственная независимость. Те сегменты хозяйствования, которые создают эту составляющую требуют повышенного внимания и помощи со стороны государства по обеспечению надлежащей материально – технической базы. Однако, забота государства не всегда достигает необходимого качественного и количественного уровня. Поэтому актуальными являются вопросы, касающиеся обоснования целесообразности совершенствования и собственно совершенствование системы машин для эффективного функционирования хозяйств различных типов.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее достоверная информация о ситуации в аграрном секторе экономики до-

ступна для потребителя из статистических ежегодников [2]. Однако, такая информация, свободна от анализов разного уровня, которые позволили бы оценить состояние и перспективы развития той или иной отрасли, сектора и т.д. Подобные анализы проводятся учеными и излагаются в научных публикациях на основе тех же статистических данных с уклонами, характерными тематике, научной направленности исследователя и, как показывает практика, не всегда дают обобщающую картину процессов, протекающих в той или иной области. Так, в частности, в работах [2-11] уделено внимание деятельности хозяйств различных типов, преимущественно их производительности, отдельно представлены материально – техническую базу этих хозяйств. Однако трудно отслеживается взаимосвязь вноса хозяйств различных типов в валовую продукцию сельского хозяйства с их материально-техническим обеспечением.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью работы есть исследование вклада хозяйств разных типов на формирование валовой продукции сельского хозяйства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу исследований положены результаты изложенные в работах [2-7] с детальным анализом наиболее влиятельных и недавно созданных источников формирования валовой продукции сельского хозяйства.

ОТДЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ УКРАИНЫ

Учитывая изменения в сельском хозяйстве Украины, которые происходили в течение последних лет, важно дать четкое определение и классифицировать сельхозпроизводителей. В Украине принято выделять следующие три категории сельхозпроизводителей [3]:

сельскохозяйственные предприятия (большие сельхозпроизводители) – к этой категории принадлежат государственные хозяйства, акционерные компании и общества всех типов, сельскохозяйственные кооперативы, сельскохозяйственные подразделения промышленных, транспортных и других предприятий, организаций и научно-исследовательских учреждений;

фермерские хозяйства (мелкие сельхозпроизводители) – форма свободного предприятия, в котором используется собственная или арендованная земля и другое имущество. Частный фермер занимается на своем предприятии производством, иногда переработкой и сбытом сельскохозяйственной продукции, государство регистрирует его как фермера;

личные хозяйства населения (мелкие сельхозпроизводители) – к этой категории принадлежат индивидуальные или семейные хозяйства, которые имеют земельные участки, такие формы сельхозпроизводства, когда отдельная личность или семья производит продукцию для удовлетворения потребностей семьи в продуктах питания или с другой целью (личные крестьянские хозяйства, хозяйства населения (в т.ч. дачные участки), домохозяйства и тому подобное).

В целом трудно было ошибиться с оценками вклада больших сельхозпроизводителей к суммарную валовую продукцию сельского хозяйства, однако с изменениями в аграрном секторе, которые вывели на рынок сельскохозяйственной продукции фермерские хозяйства и укрепили позиции личных хозяйств населения, состоялось и перераспределение весовой доли сегментов формирования валовой продукции сельского хозяйства.

Личные хозяйства населения стали одними из основных поставщиков сельскохозяйственной продукции – табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что в последнее время доля хозяйств населе-

ния в валовой продукции сельского хозяйства, по видам продукции, находится в пределах 8,5–96,9%. В 2011 году процент хозяйств населения в валовой продукции сельского хозяйства составил 48,2%, в том числе по продукции растениеводства – 43,3%, а по продукции животноводства – 59,4%. Наибольшая часть приходится на картофель (96,9%), овощи (84,3%), плоды и ягоды (84,2%), мясо (43,3%), молоко (79,7%), яйца (37,2%) и шерсть (83,3%).

По данным статистического сборника "Сельское хозяйство Украины" в ценах 2010 года вклад хозяйств населения составил 59,4% в то время, как количество действующих хозяйств представляли в 2011 году 4359000 хозяйств со средней площадью земельных участков 1,21 гектар [12].

Передача земельных участков крестьянам дала толчок формированию частного фермерства. Согласно данным Государственного комитета статистики Украины количество независимых частных фермерских хозяйств в течение 1991–2004 годов выросли с 82 до 43016. Доля землепользования фермерских хозяйств составляла на то время 7,4%, а их доля в общем объеме производства сельскохозяйственной продукции – 2,7%. Сегодня в Украине насчитывается 41488 фермерских хозяйств [13].

В 2009 году фермерские хозяйства дали 4,7% валовой продукции сельского хозяйства, среди которых продукция растениеводства занимала 4,1%, а продукция животноводства – 0,6% [2]. В 2011 году в фермерских хозяйствах получено (по ценам 2010 года) 6,9% валовой продукции сельского хозяйства, в том числе продукция растениеводства – 9,2%, а животноводства – 1,7% [12].

Индивидуальные или семейные крестьянские хозяйства являются очень распространенными в Украине. Общая площадь земельных участков личных крестьянских хозяйств составляет около 4,9843 миллионов гектаров. Часть личных крестьянских хозяйств в производстве сельскохозяйственной продукции является достаточно значительной. Доля хозяйств населения в валовой продукции сельского хозяйства, по уточненным данным 2011 года, представляла в 1990 году – 29,6%, в 1995 году – 45,9%, а в 2000 году уже – 61,6%.

Таблица 1. Доля хозяйств населения в производстве продукции сельского хозяйства (%) [8]**Table 1.** Percentage of households in agricultural production (%) [8]

Название про- дукции	Год										
	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Валовая продук- ция сельского хо- зяйства	29,6	45,9	61,6	59,9	59,5	57,2	56,8	49,7	51,4	51,7	48,2
Продукция расте- ниеводства	18,9	36,5	50,7	50,9	51,4	49,3	49,9	42,0	45,1	46,4	43,3
Зерновые культу- ры	2,8	8,1	18,4	24,2	24,3	25,0	22,0	21,0	22,1	24,2	22,1
Сахарная свекла (фабричная)	0,0	2,6	12,2	23,1	21,5	15,1	13,0	12,2	9,1	7,9	8,5
Подсолнух	2,4	4,4	12,5	21,1	21,2	21,9	19,8	19,0	18,7	17,5	15,9
Картофель	71,4	95,8	98,6	98,7	98,8	98,6	98,0	97,8	97,4	97,4	96,9
Овощи	26,9	72,7	83,1	89,0	89,3	87,9	89,6	86,1	86,6	88,1	84,3
Плоды и ягоды	53,6	83,6	81,8	88,6	88,2	87,8	86,5	84,6	84,7	83,6	84,2
Виноград	20,5	26,5	30,0	43,3	41,8	48,5	34,7	32,0	33,9	36,3	35,4
Продукция жи- вотноводства	40,8	58,9	79,0	76,8	73,8	70,8	67,7	65,6	63,3	61,2	59,4
Мясо (в убойном весе)	28,9	51,7	73,7	67,9	63,2	57,3	21,9	48,6	46,1	44,9	43,3
Молоко	24,0	45,3	71,0	81,5	81,2	81,5	82,2	82,2	80,7	80,3	79,7
Яйца	37,8	55,6	66,2	53,7	50,5	46,4	45,9	43,4	41,8	39,9	37,2
Шерсть	11,2	30,1	61,4	75,9	78,3	78,5	78,2	78,5	79,6	83,1	83,3

Правда, начиная с 2003 года (показатель составлял в 2003 году 69,7% [3]), этот показатель несколько снизился и составлял в 2009 году – 51,4%, в 2010 году – 51,7%, а в 2011 году – 48,2% [7].

Такая динамика доли личных крестьянских хозяйств в валовой продукции была предопределена факторами, основными среди которых является [3]: падение производства на сельскохозяйственных предприятиях; незначительная эффективность деятельности фермерских хозяйств; излишек рабочей силы в сельской местности; высшая производительность производства в личных крестьянских хозяйствах сравнительно с большими сельскохозяйственными предприятиями [14, 15, 16, 17].

Кроме того, за последние годы изменилось распределение земельных ресурсов в сельской местности. В частности, средний размер частного фермерского хозяйства за период с 1991 по 2004 год увеличился с 24 до 72 гектар (в т.ч. 67 гектар пахотной земли).

Однако, именно относительно небольшой размер фермерских хозяйств стал весомой проблемой для их эффективного функцио-

нирования. Согласно статистическим данным на 1 ноября 2011 года в пользовании фермерских хозяйств находилось 4,3 млн. сельскохозяйственных угодий, в т.ч. пашни – 4,1 млн. а [2]. Это в расчете на одно хозяйство представляло 106,1 гектар сельскохозяйственных угодий, в т.ч. пашни – 103,1 гектар.

От размера хозяйства зависит эффективность использования техники, транспорта, трудовых ресурсов, размер арендной платы [18] и тому подобное. Организовать высокоэффективное производство на участках малой площади очень сложно. По данным ННЦ "Институт аграрной экономики", рациональные размеры фермерских хозяйств зернового направления специализации должны иметь площадь 300–400 гектар, зерно-свекловодческого – 150–300, овощеводческого – 25–50, виноградарского – 30–60, по производству молока – 250–400, мяса крупного рогатого скота – 350–500, свинины – 200–400, продукции овцеводства – 200–300, продукции птицеводства – 250–300 гектар [5]. Следовательно, размеры большинства фермерских хозяйств нерациональны. Средние размеры земельных участков личных

ОТДЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ УКРАИНЫ

крестьянских хозяйств сложились на протяжении многих десятилетий. Территориально они размещались преимущественно около жилищ владельцев, и, по большей части, не превышали 0,5 гектаров, однако иногда они достигали двух гектаров, и почти каждое домохозяйство имело по крайней мере один такой участок. В целом же распределение площадей личных крестьянских хозяйств имело определенную динамику. Так до 2003 года распределение площадей личных крестьянских хозяйств имело следующий характер: – размеры до 0,1 гектар имели 6,6 % общего количества личных крестьянских хозяйств; – размеры 0,11-0,15 гектар – 6,6 %; – размеры 0,16-0,50 гектар – 49,5 %; – размеры 0,51–1,0 гектар – 28,5 %; – размеры больше 1 гектар – 8,8 % личных крестьянских хозяйств [3].

В 2009 году средний размер земли личных крестьянских хозяйств составил 1,2 гектара. При этом 28,9% этих хозяйств имели площадь земли до одного гектара и 71,1% – больше одного гектара [5]. На 2011 год средний размер личных крестьянских хозяйств составил 1,21 гектара. При этом 27,9% из них имели площадь земли до одного гектара и 72,1% – больше одного гектара [12]. Исходя из изложенного можно утверждать, что эффективность деятельности фермерских хозяйств можно повысить за счет повышения эффективности использования техники (в т. ч. мобильных энергетических средств), конструкция которой создана для эффективного использования в условиях колхозно-совхозной системы ведения хозяйства, путем увеличения площадей хозяйств, их объединения, кооперации и тому подобное. Относительно же личных хозяйств населения, которые базируются преимущественно на придомовых территориях такое увеличение не приемлемо через уклад наших сел и поселков, где расстояние от дома одного хозяина к дому другого не превышает несколько десятков метров. Поэтому обеспечить эффективное использование имеющейся, на данное время, техники на таких площадях сложно и иметь удовлетворительные значения комплексного показателя эффективности системы машин [19] также сложно. Согласно статистическим данным материальная обеспеченность хозяйств населения несколько

улучшилась за последние годы. Зависимости, приведенные на рис.1 свидетельствуют о некотором улучшении обеспечения хозяйств населения техникой. Следует обратить внимание на то, что по сравнению с 2005 годом, в 2011 году количество тракторов увеличилось на 44000 штук (на 33 %), количество зерноуборочных комбайнов – на 9000 штук, т.е. на 69 %, а количество минитракторов и мотоблоков – на 43000 штук, то есть на 195 %, или почти втрое. Однако, приведенные показатели мало влияют на обеспечение хозяйств населения необходимой техникой. Кроме того, даже из приведенных данных понятно, что пока трудно говорить о достижении желаемых показателей эффективности использования техники в хозяйствах, поскольку тракторы и комбайны достигают своей проектной эффективности на больших площадях, а это значит, что их использование должно быть оптимизировано. Минитракторы и мотоблоки сравнительно недавно появились в Украине и агрегаты на их базе должны достичь широкого распространения в хозяйствах. Все эти обстоятельства приводят к тому, что в последние годы в хозяйствах населения и фермерских хозяйствах наметился спад производства продукции сельского хозяйства.

При таких условиях на фоне сравнительно высокой результативности деятельности личных крестьянских хозяйств, нельзя не назвать и негативных тенденций их развития. В первую очередь, эта форма ведения хозяйства остается мелкотоварной. Такое производство не создает необходимую основу для обновления основных фондов, внедрения новой техники и современных технологий, повышения в целом эффективности и конкурентоспособности производства. В настоящее время большинство таких хозяйств используют преимущественно ручной труд, потому что не могут удерживать даже одного условного трактора через небольшие объемы работ [6]. В таких условиях есть трудности с наличием необходимых составляющих для обеспечения техническими средствами производства [20] По этой причине 93,6% личных крестьянских хозяйств используют ручной труд для возделывания земли.

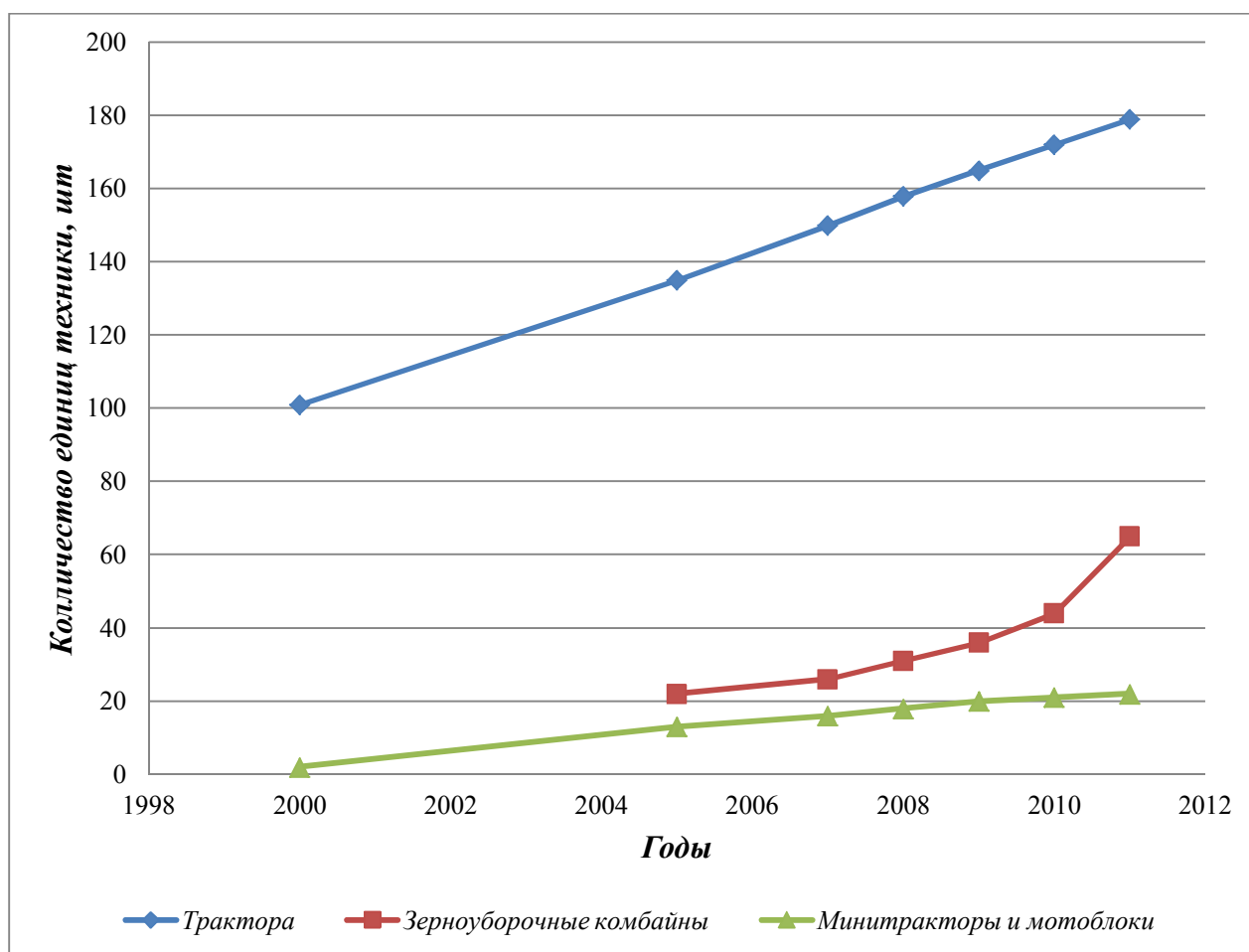


Рис. 1. Наличие сельскохозяйственной техники в хозяйствах населения
Fig. 1. Availability of agricultural equipment in households

ВЫВОД

В результате проведенных исследований установлено, что на современном этапе развития агропромышленного производства его валовая продукция формируется за счет деятельности трех типов хозяйств: сельскохозяйственных предприятий; фермерских хозяйств; личных хозяйств населения. Наибольший вклад в формирование валовой продукции сельского хозяйства вносят личные крестьянские хозяйства. Одним из основных условий поддержания высокой результативности личных крестьянских хозяйств есть снижение доли ручного труда во время производства сельскохозяйственной продукции за счет эффективного использования тракторов и комбайнов, рассчитанных на обработку больших площадей, а также широкого внедрения агрегатов на базе минитракторов и мотоблоков.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Sabluk P.T. 2009: Prodovolstvennaya bezopasnost ukrainy / P.T. Sabluk // Ekonomika apk. № 10. – 3–7.
- 2 Statistichnij. 2010: Statistichnij shhorichnik ukraini za 2009 rik / [za red. O.G. Osaulenka]. – K.: Vid-vo «Konsultant». – 567.
- 3 Morton R. 2004: Silske gospodarstvo ukraini: posibnik dlya virobnika / R. Morton, K. Sharp, B. Xomyak, N. Stepanec, O. Mulyar, N. Oleshko. – Farmhandbook–ukr. – 97.
- 4 Orlik O.V. 2010: Silskogospodarska kooperaciya v umovax rinkovix peretvoren v agrarnomu sektori / O.V. Orlik. – Zaporizhzhya: Visnik zaporizkogo nacionalnogo universitetu. – №3(7). – 207–213.
- 5 Blonar O.P. 2008: Suchasnij ekonomichnij analiz diyalnosti gospodaryuyuchix subyektiv / O.P. Blonar, N.A. Volkova, O.M. Gajdayenko ta in. – Odesa: Palmira. – 232.

ОТДЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ УКРАИНЫ

- 6 Ryabokon V.P. 2009: Viktoristannya zemelnix resursiv gospodarstv naselennya v kooperativnix umovax / V.P. Ryabokon // *Ekonomika APK*. – № 3. – 82–87.
- 7 Luchik S.D. 2009: Vpliv transformacijnix zmin na vikoristannya trudovogo potencialu sela / S.D. Luchik // *Ekonomika APK*. – №3. – 149–153.
- 8 Kurmaev P.Yu. 2013: Analiz sovremennogo sostoyaniya i prognozirovanie tendencij razvitiya selskogo xozyajstva ukrainy / P.Yu. Kurmaev // *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. – Avgust – № 8 [elektronnyj resurs]. url: <http://web.snauka.ru/issues/2013/08/25998> (data obrashheniya: 20.02.2014).
- 9 Kurmaev P.Yu. 2013: Osnovnye napravleniya formirovaniya regionalnyx innovacionnyx kompleksov / P.Yu. Kurmaev // *Sbornik nauchnyx trudov SWorld*. – Vyp. 2. Tom 31. – Odessa: KUPRIENKO. – 52–54.
- 10 Pro. 2012: Pro vnutrennee i vneshnee polozhenie Ukrainy v 2012 godu: Ezhegodnoe Poslanie Prezidenta Ukrainy k Verhovnomu Sovetu Ukrainy. – K.: NISI.
- 11 Gajduk P.I. 2010: Agrarnaya politiki v Ukraine / P.I. Gajduk, A.E. Podolena, A.A. Martynchuk — M.: Anvaprint. – 72.
- 12 Vlasenko N.S. 2012: Silske gospodarstvo ukraini / za red. N.S. Vlasenko. Derzhavna sluzhba statistiki Ukraini. – K.: – 387.
- 13 Osaulenka O.G. 2012: Statistichnij shhorichnik ukraini za 2011 rik / za red. O.G. Osaulenka. Derzhavna sluzhba statistiki Ukraini. – K.: Tov «Avgust Trejd». – 560.
- 14 Buguckij O.A. 1996: Agrarnyj trud i socialnoe razvitie sela / O.A. Buguckij, G.I. Kupala, M.K. Orlatyj i dr. pod red. P.T. Sabluka. – K.: Institut agrarnoj ekonomiki UAAN, – 302.
- 15 Buguckij O.A. 2011: Demograficheskaya situaciya i ispolzovaniya chelovecheskix resursov na sele. – M.: IAN UAAN, – 267.
- 16 Zavalnyuk A.N. 2004: Novejshaya agrarnaya istoriya ukrainy / A.N. Zavalnyuk, I.V. Rybak // *Kamenec–Podolskij gos. un-t, centr issledovanij istorii podolya*. – Kamenec–Podolskij: Azbukanova, – 288.
- 17 Lisitsa Aleksej. 2003: 10 let ekonomicheskix preobrazovanij v selskom xozyajstve ukrainy – analiz effektivnosti i produktivnosti predpriyatij, discussion paper / Aleksej Lisitsa; Martin Odening; Tamara Badieceva // *Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe*. No. 51. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:3:2-23274>.
- 18 Kischak I. 2012: Ekonomiko-matemeticheskoe modelirovanie opredelenie razmera arendnoj platy za zemelnyj uchastok. / I. Kischak, V. Gavrysh, I. Savarina. – *Motrol*. 14. Vyp. 2. – 26–33.
- 19 Dubrovin V. 2011: Kompleksnij pokaznik effektivnosti sistemi mashin u roslinnictvi / V. Dubrovin, E. Krasovski, I. Rogovskij. – *Motrol*. 13B. – 20–24.
- 20 Kischak I. 2011: Components of support of agricultural enterprises industrial hardware / I. Kischak, V. Havrysh, A. Kulik. – *Motrol*. 13A. – 153–159.

INDIVIDUAL PERFORMANCE RESULTS OF AGRICULTURAL PRODUCTION UKRAINE

Summary. Based on statistical data the analysis of the contribution of different types of farms in the formation of gross agricultural production in Ukraine in recent years, taking into account the allocation of land resources.

Key words: the gross output of agriculture, farming types, farmland, arable land area.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ МЕХАНИЗАТОРОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Олег Гнатюк¹, Александр Покутний², Тамара Билько³

¹*Министерство аграрной политики и продовольствия Украины
Украина, г. Киев, ул. Крещатик, 24*

²*Институт математики Национальной академии наук Украины
Украина, г. Киев, ул. Терещенковская, 3*

³*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Oleg Gnatyuk¹, Oleksandr Pokutniy², Tamara Bilko³

¹*Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine
Str. Khreschatyk, 24, Kiev, Ukraine*

²*Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Str. Tereschenkivska, 3, Kiev, Ukraine*

³*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В статье на примере наезда трактора на механизатора во время запуска двигателя внутреннего сгорания продемонстрировано применение непрерывных цепей Маркова для оценки риска травмирования механизаторов агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: непрерывные цепи Маркова, механизаторы агропромышленного комплекса, опасная ситуация, граф состояний процесса, потоки событий, интенсивности вероятностей перехода.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Несмотря на постоянное снижение уровня производственного травматизма, наблюдаемое в последние годы, аграрный сектор экономики государства продолжает оставаться одной из наиболее травмоопасных отраслей народного хозяйства. Среди профессий, которые применяются в агропромышленном комплексе Украины, наиболее травмоопасной является профессия тракториста-машиниста (механизатора). Это подтверждается статистическими данными Госгорпромнадзора Украины (в течение 2008-2012 годов в аграрном секторе экономики Украины было смертельно травмировано 97 механизаторов). Больше всего случаев с летальным исходом среди механизаторов произошло:

от наездов мобильных машинно-тракторных агрегатов (МТА) при маневрировании и запуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС) (44 %);

от воздействия движущихся и вращающихся деталей и механизмов рабочих органов машин и т.д. (30 %);

от опрокидывания при движении на склонах и при дорожно-транспортных происшествиях (12 %).

Существующие исследования по оценке риска травмирования механизаторов аграрного производства при эксплуатации мобильных машинно-тракторных агрегатов не позволяют провести количественный анализ прохождения травмоопасных ситуаций. Поэтому дальнейшие исследования наиболее приемлемых методов количественного определения профессионального риска нанесения вреда здоровью или смерти механизаторов агропромышленного производства остаются актуальными.

Применение имеющихся методов и способов для исследования причин производственного травматизма, в том числе и среди трактористов-машинистов, и их влияния на прохождение травмоопасных ситуаций, не дают возможность описать развитие и течение опасных процессов, снижает точность и достоверность получаемых результатов исследований, а затем и поиск адекватных путей решения проблемы безопасности труда механизаторов аграрного производства.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ МЕХАНИЗАТОРОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Именно для восполнения пробелов, обусловленных недостатками указанных методов исследований производственного травматизма, в данной работе применено соответствующую методику, в основу которой положен математический аппарат марковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем. Это позволило основательно проанализировать в динамике процесс течения травмоопасной ситуации со всеми возможными ее последствиями.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проблема риска травмирования работников различных отраслей производства и снижение его уровня до приемлемых границ привлекает внимание многих специалистов. Изучая научные публикации как отечественных, так и зарубежных авторов, можно отметить существование многих подходов и способов исследования проблематики профессионального риска и производственного травматизма. В то же время, среди этих исследований ученые сосредотачивают свое внимание только на причинах нанесения производственных травм, не раскрывая их сути, не проводя качественного и количественного анализа процесса прохождения травмоопасной ситуации, что может привести к негативному последствию – производственной травме [1–6].

Кроме того, преимущественно исследования аварий и травм на производстве проводились на предприятиях промышленности, в частности, химической и нефтегазодобывающей, атомной энергетики, транспорта и связи и т.д. [7–9]. В аграрной отрасли такие исследования имели менее интенсивный характер.

В последнее время для исследования указанных явлений стали шире использовать методы логического и математического моделирования. Они позволяют точнее определять риск возникновения аварий и получения производственных травм, что позволяет разрабатывать и внедрять эффективные меры по их предупреждению.

Наиболее широкое применение для исследования аварий и травм в ведущих отрас-

лях экономики нашли вероятностные методы анализа, где количественные и качественные характеристики риска травмирования определяются с помощью метода «дерева отказов» [10–13]. Этот метод по оценке риска травмирования является достаточно эффективным и удобным, однако он имеет определенное ограничение в применении относительно количественного и качественного анализа прохождения травмоопасной ситуации в динамике. В частности, он не позволяет определять вероятности переходов системы «механизатор-МТА-производственная среда» из одного состояния в другое, возвращение системы в прежнее состояние, приблизительное время пребывания указанной системы в том или ином состоянии и т.д., что позволяют делать методы теории дифференциальных уравнений. В свою очередь, методы теории дифференциальных уравнений не позволяют определять степень влияния каждого первичного события-причины на главное событие-следствие. Таким образом, только сочетание метода «дерева отказов» с методами теории дифференциальных уравнений позволит точно исследовать процессы зарождения, формирования и наступления травмоопасных ситуаций в последовательности «первичные причины – поверхностные причины – непосредственные (прямые) причины» в терминологии [14, 15].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью исследований является вероятностный анализ системы «механизатор-МТА-производственная среда», а также количественная и качественная характеристика процесса прохождения травмоопасной ситуации при эксплуатации механизаторами агропромышленного производства мобильных МТА.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глубокое и всестороннее изучение причин несчастных случаев, которые произошли с трактористами-машинистами агропромышленного производства при эксплуатации различной сельскохозяйственной техники указывает на определенные закономерности их прохождения. С другой стороны, исходя

из системного подхода к исследованию явления производственного травматизма, изучаем машинно-тракторный агрегат любой конфигурации и механизатора, а в отдельных случаях и факторы производственной среды как элементы целостной системы, которые находятся в постоянном взаимодействии друг с другом. Поэтому, учитывая указанное, изменение состояния любого из элементов этой системы под влиянием различных производственных факторов непременно приведет к изменению ее первоначального состояния [16].

Для математического описания прохождения процесса зарождения, формирования и наступления несчастного случая был применен математический аппарат, разработанный в теории вероятностей для марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем, при котором переход системы «механизатор-МТА-производственная среда» из одного состояния в другое возможен в любой, заранее не известный, случайный момент времени t .

При рассмотрении случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем удобно представлять переходы системы S из одного состояния в другое как такие, которые происходят под влиянием определенных потоков событий или в материализованном представлении производственных опасных факторов как «опасных воздействий энергии» [14]. При этом плотности вероятностей перехода λ получают содержание интенсивностей соответствующих

потоков событий. Процесс, протекающий в системе S , будет марковским, если все указанные потоки событий будут пуассоновскими (ординарные, без последствия, с постоянной или зависимой от времени интенсивности) [17–21].

Для примера было избрано одно из самых типичных нежелательных событий, которые случаются с механизаторами агропромышленного производства при эксплуатации различных МТА и самоходных сельскохозяйственных машин, а именно наезд машинно-тракторного агрегата на механизатора во время запуска двигателя внутреннего сгорания за пределами кабины, последствиями чего могут стать несчастные случаи различной степени тяжести.

Граф состояний процесса прохождения указанного нежелательного события представлен на рис. 1.

С рис. 1 видно, что с момента введения МТА в эксплуатацию система работает в исправном состоянии S_0 , в котором она может находиться весь период своей работы, вплоть до вывода из эксплуатации. Однако, на практике, через некоторый период времени, под воздействием потоков событий с интенсивностью λ_{01} система может перейти в неисправное состояние S_1 (в данном случае, например, работать без электростартерного запуска ДВС). Впрочем, это еще не влияет на ее работоспособность и она может продолжать работать в штатном режиме.

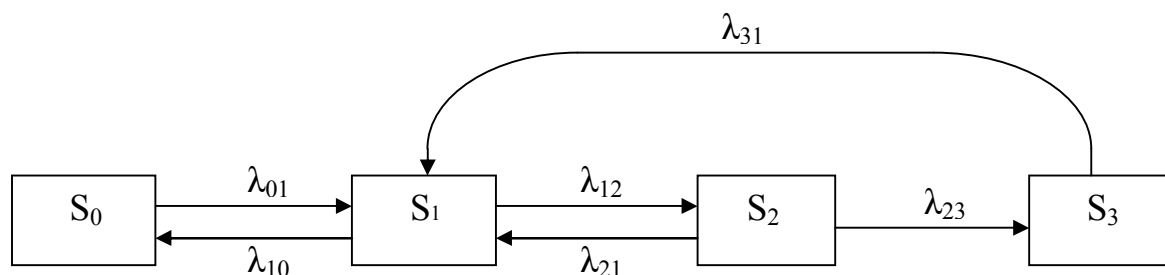


Рис. 1. Граф состояний процесса прохождения нежелательного события «наезд машинно-тракторного агрегата на механизатора при запуске ДВС за пределами кабины»:

S_0 – система работает в исправном состоянии; S_1 – система работает в неисправном состоянии (без электростартерного запуска ДВС); S_2 – попадание механизатора в опасную ситуацию (движение МТА при запуске ДВС за пределами кабины на включенной передаче); S_3 – переход опасной ситуации в критическую ситуацию (наезд МТА на механизатора с последующим его повреждением)

Fig. 1. State graph of the passage of undesirable events "hitting machine-tractor unit on the machine operator when starting engine outside the cabin"

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА
ТРАВМИРОВАНИЯ МЕХАНИЗАТОРОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Работая в состоянии S_1 под воздействием потоков событий с интенсивностью λ_{10} , система может вернуться через некоторое время назад в состояние S_0 (восстановление электростартерного запуска ДВС).

С другой стороны, через определенные ошибки механизатора, под воздействием потоков событий с интенсивностью λ_{12} , система может перейти в состояние S_2 , который характеризуется попаданием механизатора в опасную ситуацию (движение МТА при запуске ДВС за пределами кабины на включенной передаче). Далее существуют несколько вариантов развития нежелательного события:

а) под воздействием потоков событий с интенсивностью λ_{21} система возвращается в состояние S_1 , в котором может остаться работать и в дальнейшем, или впоследствии под воздействием потоков событий с интенсивностью λ_{10} возвращается в состояние S_0 ;

б) под воздействием потоков событий с интенсивностью λ_{23} система переходит в состояние S_3 , которое характеризуется переходом опасной ситуации в критическую (наезд МТА на механизатора с последующим его повреждением) и возвращением под воздействием потоков событий с интенсивностью λ_{31} в состояние S_1 , в котором система, подобно к обстоятельствам согласно пункту а, может работать и в дальнейшем, или впоследствии под воздействием потоков событий с интенсивностью λ_{10} вернуться в состояние S_0 . Зная размеченный граф состояний, можно определить вероятности состояний $P_0(t), P_1(t), P_2(t)$ и $P_3(t)$ как функции времени. А именно, указанные вероятности удовлетворяют системе дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена, в которых неизвестными функциями являются вероятности состояний системы [17-18]:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_{01}P_0(t) + \lambda_{10}P_1(t), \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{01}P_0(t) - (\lambda_{10} + \lambda_{12})P_1(t) + \lambda_{21}P_2(t) + \lambda_{31}P_3(t), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{12}P_1(t) - (\lambda_{21} + \lambda_{23})P_2(t), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{31}P_3(t), \end{cases}$$

с нормировочным условием:

$$P_0(0) + P_1(0) + P_2(0) + P_3(0) = 1.$$

Вводя к рассмотрению вектор-функцию $\vec{P}(t) = (P_0(t), P_1(t), P_2(t), P_3(t))$ и матрицу интенсивностей

$$\Lambda = \begin{pmatrix} -\lambda_{01} & \lambda_{10} & 0 & 0 \\ \lambda_{01} & -\lambda_{10} - \lambda_{12} & \lambda_{21} & \lambda_{31} \\ 0 & \lambda_{12} & -\lambda_{21} - \lambda_{23} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{23} & -\lambda_{31} \end{pmatrix},$$

можем переписать систему уравнений Колмогорова в виде следующей линейной матричной системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\vec{P}(t)}{dt} = \Lambda \vec{P}(t), \\ i\vec{P}(\cdot) = \sum_{i=0}^3 P_i(0) = 1, P_i(0) \geq 0. \end{cases} \quad (1)$$

Для решения системы (1) можно применять преобразования Лапласа. Согласно [20] для функции $f(t)$ ее преобразование Лапласа имеет вид $F(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} f(t) dt$. Тогда про-

изводной $f'(t)$ будет соответствовать функция $pF(p) - f(0)$.

Обратное преобразование Лапласа осуществляется следующим образом:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{t-i\infty}^{t+i\infty} e^{pt} F(p) dp.$$

Пусть вектор-функция $\vec{\pi}(p)$ имеет следующий вид:

$$\vec{\pi}(p) = (\pi_0(p), \pi_1(p), \pi_2(p), \pi_3(p)), \quad \text{где}$$

$\pi_i(p), i = \overline{0,3}$ – соответствующие образы

функций состояний $P_i(t), i = \overline{0,3}$ в случае преобразования Лапласа. Тогда дифференциальная система (1) превратится в линейную алгебраическую систему:

$$\vec{\pi} = Q\vec{\pi} + \vec{g}, \quad (2)$$

где матрица Q и вектор \vec{g} соответственно

$$\text{имеют вид } Q = \frac{1}{p} \Lambda,$$

$\vec{g} = \frac{1}{p} (P_0(0), P_1(0), P_2(0), P_3(0))$ или в развер-

нутом виде:

$$\begin{cases} \pi_0(p) = -\frac{\lambda_{01}}{p} \pi_0(p) + \frac{\lambda_{10}}{p} \pi_1(p) + \frac{P_0(0)}{p}, \\ \pi_1(p) = \frac{\lambda_{01}}{p} \pi_0(p) - \frac{(\lambda_{10} + \lambda_{12})}{p} \pi_1(p) + \\ + \lambda_{21} \pi_2(p) + \lambda_{31} \pi_3(p) + \frac{P_1(0)}{p}, \\ \pi_2(p) = \frac{\lambda_{12}}{p} \pi_1(p) - \frac{(\lambda_{21} + \lambda_{23})}{p} \pi_2(p) + \frac{P_2(0)}{p}, \\ \pi_3(p) = \frac{\lambda_{23}}{p} \pi_2(p) - \frac{\lambda_{31}}{p} \pi_3(p) + \frac{P_3(0)}{p}, \end{cases}$$

с условием $\sum_{i=0}^3 \pi_i(p) = \frac{1}{p}$.

Преобразуем систему (2) к виду:

$$(I - Q)\vec{\pi} = \vec{g}. \quad (3)$$

Возможны два случая:

1) $\det(I - Q) \neq 0$.

Тогда существует единственное решение матричной системы (3) в виде $\vec{\pi} = (I - Q)^{-1} \vec{g}$. Выполнение нормировочного условия проверяют непосредственной подстановкой полученного решения;

2) $\det(I - Q) = 0$.

В этом случае решение матричной системы (3) существует не для всех правых частей \vec{g} , а лишь для тех и только для тех \vec{g} , что удовлетворяют условию $P_{N((I-Q)^T)} \vec{g} = \vec{0}$. При выполнении этого условия множество решений данной системы будет иметь вид:

$$\vec{\pi} = (I - Q)^+ \vec{g} + P_{N(I-Q)} \vec{c},$$

для произвольного вектора $\vec{c} \in R^4$, где матрица $(I - Q)^+$ – псевдообратная за Муром-Пенроузом матрице $(I - Q)$ [15].

Выполняя обратное преобразование Лапласа и проверяя условие нормированности, находим искомое распределение состояний.

Для примера покажем расчет вероятностных функций состояний системы, состоящей из следующих элементов: «механизатор-МТА-производственная среда».

Для расчета коэффициентов интенсивностей переходов указанной системы использовались усредненные статистические данные: Госстата Украины относительно общего количества тракторов, которые находятся на

балансе сельскохозяйственных предприятий; Госсельхозинспекции Украины по количеству тракторов, эксплуатация которых запрещена из-за отсутствия электростартерного запуска ДВС; Госгорпромнадзора Украины о случаях травмирования механизаторов при эксплуатации технически неисправных тракторов, а также экспертные оценки специалистов относительно вероятностей отдельных состояний процессов прохождения травоопасных ситуаций.

В результате анализа соответствующих соотношений, характеризующих каждое состояние исследуемой системы, были получены следующие коэффициенты интенсивностей:

среднестатистическое количество тракторов – 149720 единиц;

количество исправных тракторов – 147474 единицы ($\lambda_{00} = 0,985$);

количество тракторов, запрещенных к эксплуатации – 2246 единиц ($\lambda_{01} = 0,015$);

количество тракторов, на которых восстановлен электростартерный запуск ДВС – 1123 единицы ($\lambda_{10} = 0,5$);

количество тракторов, продолжающих работать без электростартерного запуска – 898 единиц ($\lambda_{11} = 0,4$);

количество тракторов, которые привели к наступлению опасных ситуаций – 225 единиц ($\lambda_{12} = 0,1$);

количество опасных ситуаций, которые перешли в критические – 2 случая ($\lambda_{23} = 0,01$);

возвращение из опасных ситуаций в неисправное состояние – 223 случая ($\lambda_{21} = 0,99$);

возвращение из критических ситуаций в неисправное состояние – 2 случая ($\lambda_{31} = 1,0$).

Решая уравнение Колмогорова-Чепмена и учитывая нормировочное условие, получаем трехпараметрическую семью вероятностей состояний системы.

Вычисления проводились с округлением до сотых.

Полученные приближенные результаты можно использовать для многолетнего прогнозирования.

Приближенные функции состояний можно представить в следующем виде:

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА
ТРАВМИРОВАНИЯ МЕХАНИЗАТОРОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

$$\begin{aligned}
 P_0(t) &= 0.969 + (0.630 + a_{11})0.312^t + (-0.059 + a_{12})0.364^t + (-1.54 + a_{13})0.645^t, \\
 P_1(t) &= 0.028 + (-1.446 + a_{21})0.312^t + (0.116 + a_{22})0.364^t + (1.302 + a_{23})0.645^t, \\
 P_2(t) &= 0.003 + (0.871 + a_{31})0.312^t + (-1.106 + a_{32})0.364^t + (0.232 + a_{33})0.645^t, \\
 P_3(t) &= (-0.052 + a_{41})0.312^t + (1.048 + a_{42})0.364^t + (0.004 + a_{43})0.645^t,
 \end{aligned}$$

где коэффициенты находятся следующим образом:

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= -0.628c_1 - 0.735c_2 - 0.039c_3, & a_{12} &= 0.061c_1 + 0.039c_2 + 0.061c_3, \\
 a_{13} &= 1.567c_1 + 0.674c_2, & a_{21} &= 1.444c_1 + 1.688c_2 + 0.101c_3, \\
 a_{22} &= -0.117c_1 - 0.117c_2 - 0.112c_3, & a_{23} &= -1.277c_1 - 0.571c_2 + 0.011c_3, \\
 a_{31} &= -0.869c_1 - 1.015c_2 - 0.061c_3, & a_{32} &= 1.105c_1 + 1.117c_2 + 1.06c_3, \\
 a_{33} &= -0.236c_1 - 0.102c_2 + 0.001c_3, & a_{41} &= 0.052c_1 + 0.06c_2 + 0.004c_3, \\
 & & a_{42} &= -1.048c_1 - 1.058c_2 - 1.004c_3, & a_{43} &= -0.004c_1 - 0.002c_3,
 \end{aligned}$$

а постоянные c_1, c_2, c_3 можно выбирать произвольным образом лишь с учетом того требования, чтобы функции состояний были неотъемлемыми.

Спрогнозируем, например, в доленом отношении (с округлением до третьего знака после запятой) вероятность попасть в одно из состояний через пять лет.

Для этого постоянные c_1, c_2, c_3 положим нулями, а время t положим равным 1825 дней (5 лет). Тогда получим следующие значения вероятностей состояний нашей системы $P_0(1825) = 0.969$, $P_1(1825) = 0.028$, $P_2(1825) = 0.003$, $P_3(1825) = 0$. Эти показатели показывают какая доля тракторов окажется в каждом из состояний через пять лет.

Кроме того, данные вычисления показывают, что для достаточно большого времени t полученные вероятности будут стремиться к стационарному состоянию $P_0(t) = 0.969$, $P_1(t) = 0.028$, $P_2(t) = 0.003$, $P_3(t) = 0$, что говорит о том, что полученные количественные показатели являются достаточно стабильными.

Посчитаем теперь матрицу переходных вероятностей для рассматриваемого нами случая:

$$P = \begin{pmatrix} 0.985 & 0.015 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.99 & 0 & 0.1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Далее, посчитаем, как будут меняться интенсивности матрицы переходных вероятностей через k шагов (в данном случае шаги – это дни), согласно уравнению Колмогорова-Чепмена:

$$k=2, P^2 = \begin{pmatrix} 0.977 & 0.021 & 0.002 & 0 \\ 0.6925 & 0.2665 & 0.04 & 0.001 \\ 0.495 & 0.406 & 0.099 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$k=365, P^{365} = \begin{pmatrix} 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \end{pmatrix},$$

$$k=731, P^{731} = \begin{pmatrix} 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \end{pmatrix},$$

$$k=1066, P^{1066} = \begin{pmatrix} 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \end{pmatrix},$$

$$k=1431, P^{1431} = \begin{pmatrix} 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \\ 0.968 & 0.0291 & 0.0029 & 0 \end{pmatrix}$$

где: k – количество дней. Понятно, что при малых k погрешность будет очень большой, и прогноз будет достаточно неточным. Но уже в конце года мы видим, что показатели этой матрицы стабилизируются и поэтому через пять лет прогноз не изменится. Мы снова приходим и при таких расчетах к стационарному состоянию.

Указанные результаты расчетов показывают, что из всего количества технически исправных тракторов 96,8 процента через год останутся в этом состоянии, а 2,91 процента перейдут в состояние S_1 .

Если начальный вектор распределения был $(1, 0, 0, 0)$ (что соответствует ситуации исправности всех тракторов), то он будет перераспределяться следующим образом:

$$v = (1, 0, 0, 0), \quad k = 1, \quad vP = (0.985, 0.015, 0, 0),$$

$$k = 2, \quad vP^2 = (0.977, 0.021, 0.002, 0),$$

$$k = 365, \quad vP^{365} = (0.968, 0.0291, 0.0029, 0),$$

$$k = 731, \quad vP^{731} = (0.968, 0.0291, 0.0029, 0),$$

$$k = 1066, \quad vP^{1066} = (0.968, 0.0291, 0.0029, 0),$$

$$k = 1431, \quad vP^{1431} = (0.968, 0.0291, 0.0029, 0).$$

Опять для малых k (одного и двух дней) прогноз будет очень неточным (и его лучше не учитывать), но уже в конце первого года показатели стабилизируются и могут быть использованы при достаточно достоверном прогнозе на будущее. Для пяти лет показатели не изменятся и будут говорить о процентном соотношении тракторов, которые окажутся в одном из четырех состояний. Следует также отметить, что моделирование непрерывным марковским процессом (что задается дифференциальными уравнениями) дает почти такие показатели (с погрешностью до тысячных), что говорит о согласованности в моделировании.

ВЫВОД

1. Применение непрерывных цепей Маркова как одного из методов вероятностного анализа случайных событий позволяет количественно оценивать риск травмирования трактористов-машинистов при эксплуатации мобильных машинно-тракторных агрегатов и позволяет находить искомые вероятности состояний системы в динамике (через определенное время) на всех этапах развития процесса прохождения нежелательного события.

2. Изложенный методический подход вероятностной оценки травмирования механизаторов потенциально можно применять к анализу других производственных опасностей с расширением масштаба их идентификации вне производственной среды. Например, относительно рисков техногенных или экологических опасностей производственной деятельности, на территориях с негативными

последствиями производственных аварий и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lapin A., Studennikova N., Orlov V. 2008: Travmatizm so smertelnym i tyazhelym iskhodom v krestyanskikh (fermerskikh) khozyaystvakh, yego prichiny i preduprezhdeniye // Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti v selskom khozyaystve. – М. – № 4. – 23–28.
2. Ponomarenko V. 2002: Prichiny travmatizmu ta yego profilaktika na pidpriyemstvakh APK // Okhorona pratsi. – К. – № 4. – 18–21.
3. Faktorov I. Travmatizm v selskom khozyaystve i yego profilaktika // Okhrana truda. – К. 1995. – № 7. – 22–24.
4. Tewari V.K., Ashish Kr. Shrivastava. 2013: An Industry Perspective of Tractor Safety against Rollover. // Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America. Vol. 44, – № 3, Summer. – 61–69.
5. Bugayev S.S. 2001: Statisticheskiye metody analiza prichin travmatizma. // Bezopasnost truda v promyshlennosti. – М. – № 1. – 41–43.
6. Burenko L., Ivleva I., Zotov N. 2008: Trebovaniya tekhnicheskoy, ekologicheskoy bezopasnosti i okhrany truda pri ekspluatatsii i obsluzhivanii traktorov i samokhodnykh selskokhozyaystvennykh mashin. // Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti v selskom khozyaystve. – № 6. – 48–52.
7. Lysyuk S.D. 2005: Raschet veroyatnosti otravleniya khlorgazom s ispolzovaniyem koda IRRAS // Problemi okhoroni pratsi v Ukraini. – К.: NNDIOP. – 46–55.
8. Imovirnisniy 2000: Imovirnisniy analiz bezpeki atomnikh stantsiy (IAB): Navch. posibnik / V.V. Byegun, O.V. Gorbunov, I.M. Kashchenko ta in. – К. – 568.
9. Antonov G.N., Mozhayev A.S. 1999: O novikh podkhodakh k postroyeniyu logiko-veroyatnostnykh modeley bezopasnosti strukturno-slozhnykh sistem // Problemy bezopasnosti pri chrezvychnykh situatsiyakh. – М.: VINITI. – Vyp. 9. – 14–27.
10. Novitskiy A.V., Banniy O.M. 2011: Analiz nadiynosti zasobiv dlya prigotovannya i rozdavannya kormiv metodom dereva vidmov. / A.V. Novitskiy, O.M. Banniy // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Tom 13B. Lublin. – 117–124.

11. Belov P.G. 1999: Modelirovaniye opasnykh protsessov v tekhnosfere. Metodicheskoye posobiye. – K.: KMUGA. – 124.
12. Ryabinin I.A. 2000: Nadezhnost i bezopasnost strukturno-slozhnykh sistem. – SPb.: Politekhnik. – 248.
13. Grazhdankin A.I., Lisanov M.V., Pecherkin A.S. 2001: Ispolzovaniye veroyatnostnykh otsenok pri analize bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'yektov // Bezopasnost truda v promyshlennosti. – M. – № 5. – 33–36.
14. Levashov S. 2013: Tekhnologiya analiticheskogo rassledovaniya prichin neschastnykh sluchayev i intsidentov // Okhorona pratsi. Na dopomogu spetsialistu z okhoroni pratsi. – K. – № 3. – 50–52.
15. Lekhman S. 2013: Osobennosti vzaimodeystviya transportnykh sredstv, kak ergaticheskikh sistem, pri vzniknovenii DTP / Stepan Lekhman, Mariya Panfilova // MOTROL. Motoryzatsiya i energetyka rolnictva. – Lublin. T. 15C. – 343–347
16. Gnatyuk O.A. 2008: Metodika zastosuvannya neperervnykh lantsyugiv Markova dlya otsinki profesiynogo riziku operatoriv mobilnykh mashinno-traktornikh agregativ (MTA) na virobnichikh protsesakh v APK Ukraini / Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva im. Petra Vasilenka. Vip. 75 Mekhanizatsiya 2008: «Mekhanizatsiya silskogo-spodarskogo virobnitstva». T. 2. – Kharkiv. – 347–351.
17. Buslenko N.P. 1978: Modelirovaniye slozhnykh sistem. – M.: Nauka. – 355.
18. Venttsel Ye.S. 1972: Issledovaniye operatsiy. – M.: Sov. radio. – 551.
19. Venttsel Ye.S., Ovcharov L.A. 1991: Teoriya sluchaynykh protsessov i yeye inzhenernyye prilozheniya. – M.: Nauka. – 383.
20. Karlin S. 1971: Osnovy teorii sluchaynykh protsessov. – M.: Mir. – 536.
21. Boychuk A.A., Zhuravlev V.F., Samoylenko A.M. 1994: Obobshchenno-obratnyye operatory i neterovy krayevyye zadachi. – K.: Naukova dumka. – 315.

**APPLICATION FOR EVALUATION
PROBABILISTIC ANALYSIS OF RISK
OF INJURY TO MACHINE OPERATORS
AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

Summary. In paper for collision tractor mechanic during the launch of internal combustion engine demonstrated the application of continuous Markov chains to evaluate the risk of injury mechanization of agriculture.

Key words: continuous Markov chain, machanizators of agro-industrial complex, dangerous situation, the state graph process streams of events, the intensity of the transition probabilities.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СМЕСИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ МОЩНОСТИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ РАБОЧИХ ЦИКЛОВ

Юрий Герасимчук

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Yuriy Gerasymchuk

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Определен оптимальный состав топливо-воздушной смеси и подобрана цикловая подача для рабочего цикла при регулировании мощности отключением рабочих циклов, чтобы обеспечить работу бензинового двигателя с минимальным содержанием вредных веществ в отработавших газах в учетом топливной экономичности.

Ключевые слова: бензиновый двигатель, двигатель с регулированием мощности отключением отдельных рабочих циклов, отработавшие газы, электромагнитный газотборочный клапан, математическая модель, частей на миллион (млн⁻¹), оксиды азота, экологические показатели.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблемы загрязнения окружающей среды и энергосбережение, возникшие за последние десятилетия, дают толчок для решения первоочередных задач существования человечества.

Мировой автомобильный транспорт, который в начале XXI-го столетия насчитывает более 700 млн. единиц техники, отыгрывает доминирующую роль в образовании и решении этой проблемы. По расчетам специалистов США, годовой выброс вредных веществ в атмосферу двигателями внутреннего сгорания (ДВС) составляет: 144500 тыс. т CO, 27345 тыс. т C_mH_n и 14740 тыс. т NO_x. До 2020 года эти показатели увеличатся в несколько раз, что подчеркивают остроту проблемы загрязнения атмосферы Земли вредными выбросами [13, 14, 21].

Загрязнение атмосферы токсичными веществами (ТВ) подталкивает к проведению работ по созданию малотоксичных энергетических установок для транспортных средств. Работы проводятся по двум основным

направлениям: уменьшение токсичности и снижение потребления топлива традиционных ДВС (бензиновых та дизельных поршневых), а также создание принципиально новых энергетических установок (двигатели Стирлинга, газотурбинные, электрические с питанием от аккумуляторных батарей, роторно-поршневые двигатели Ванкеля, водородные двигатели на топливных элементах).

Создание конкурентоспособных электромобилей препятствует отсутствие надежных источников питания для электродвигателя. К сожалению, современные источники питания еще далеки от совершенства, очень тяжелы, имеют ограниченный ресурс и малые показатели накопления энергии, чем ограничивают пробег автомобиля до полного разряда батареи.

А такие недостатки, как высокая стоимость, высокие требования к материалам при изготовлении, сложность кинематического механизма, отсутствие заправочных станций и станций технического обслуживания сдерживают внедрение и использование альтернативных энергетических установок в качестве двигателей для транспортных средств.

В последние десятилетия на транспортные средства устанавливаются поршневые бензиновые двигатели и дизели, которые составляют более 90% (из них 70% бензиновые ДВС) от общего количества тепловых двигателей.

Поэтому в ближайшее время существенное уменьшение загрязнения воздуха и снижение потребления топлива, возможно, достичь путем проектирования менее токсичных бензиновых двигателей, производство которых отлажено и полностью отработано [5].

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СМЕСИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ МОЩНОСТИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ РАБОЧИХ ЦИКЛОВ

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

си с учетом содержания вредных веществ в отработавших газах.

Вопросами снижения выбросов ТВ и улучшение топливной экономичности бензиновых ДВС занимались ученые В.И. Крутов, В.А. Звонов, Ю.Ф. Гутаревич, В.В. Фурса, В.М. Малахов, А.М. Воинов, А.З. Филиппов, Н.Н. Патрахальцев, К.А. Морозов, В.Ф. Кутенев.

Значительного распространения и внимания из всех ранее предложенных разработок следует выделить такие разработки: регулирование мощности двигателя отключением группы цилиндров; использование разделенной камеры сгорания (форкамерно-факельное сгорание предложенное профессорами А.Н. Воиновым и Л.А. Гуссаком); расслоение смеси и повышение интенсификации турбулентности заряда разработанной фирмой Mitsubishi на двигателях GDI (Gasoline Direct Injection) и фирмой Volkswagen FSI (Fuel Stratified Injection).

Проведя анализ перечисленных способов для снижения токсичности отработавших газов (ОГ) и уменьшения потребления топлива следует обратить внимание на то, что все они в большей или меньшей мере направлены на возможность работы ДВС при составе смеси с $\alpha > 1$ [4, 8, 9].

Из рассмотренных ранее перспективных транспортных энергетических установок, следует выделить двигатель с принципиально новым методом регулирования мощности – отключением отдельных рабочих циклов (ДРЦ), который был предложен профессором Андрусенком П.И. и усовершенствованный профессором Филипповим А.З. [4, 5].

ДРЦ снижает на частичных нагрузках расход топлива на 20...25% с одновременным существенным уменьшением, в 2,5-4 раза, токсичности отработавших газов. На холостом ходу – уменьшение расхода топлива до 45 %.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Улучшение экологических показателей и топливной экономичности бензинового ДВС с регулирование мощности методом отключения отдельных рабочих циклов путем оптимизации состава топливо-воздушной сме-

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сущность метода ДРЦ заключается в том, что по мере уменьшения (или увеличения) нагрузки путем прекращения подачи топлива в цилиндры отключается часть рабочих циклов, обеспечивающих получение необходимой мощности. Реализуется же столь мгновенное прекращение подачи топлива с помощью электромагнитных форсунок. На рис. 1 представлена система питания бензинового ДРЦ.

К особенностям регулирования мощности двигателя отключением циклов относятся также постоянно открытое положение дроссельной заслонки во всем диапазоне изменения нагрузок двигателя, что ведет к увеличению индикаторного и механического КПД двигателя.

Учитывая особенности работы ДРЦ и его сложный физико-химический процесс сгорания обедненной топливо-воздушной смеси при постоянном коэффициенте избытка воздуха ($\alpha \approx 1,0...1,2$), концентрация CO и C_mH_n в ОГ будут на очень низком уровне, тогда как концентрации NO_x имеют максимальные значения при $\alpha \approx 1,05...1,15$. С дальнейшим увеличением значения α в бензиновых двигателях с традиционной формой камеры сгорания нарушается процесс сгорания, что приводит к возникновению пропусков зажигания переобедненной топливо-воздушной смеси, повышаются выбросы несгоревших углеводородов и существенно увеличивается удельный расход топлива g_e [17].

Поэтому актуальными есть теоретические и экспериментальные исследования для более детального изучения образования оксидов азота в цилиндре двигателя, в данном случае ДРЦ, и поиск оптимальных регулировочных параметров системы питания на всех нагрузочных и скоростных режимах ДРЦ. Также до этого времени остается не исследован по параметру “токсичность” рабочий цикл ДРЦ, следующий за отключенным (продувочным) циклом. На актуальность этого исследования также повлияла большая сложность нейтрализации оксидов азота и введение жестких мировых норм, ограничивающих выбросы ТВ в бензиновых двигателях автомобилей.

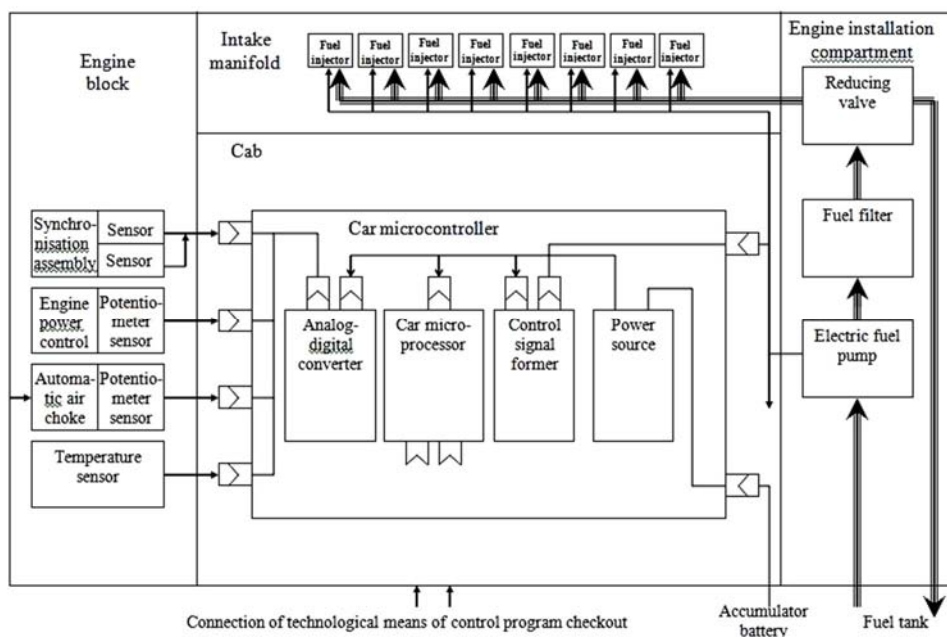


Рис. 1. Схема системы питания 8-ми цилиндрового бензинового ДВС с регулированием мощности методом отключения отдельных рабочих циклов
Fig. 1. Scheme of power system of 8-cylinder internal combustion engine with regulation of power using individual cycle cut-off

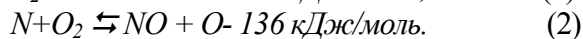
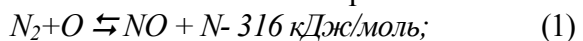
В основе теоретических расчетов была использована математическая модель проф. Филиппова А.З., усовершенствованная и трансформирована к поставленной в данной работе задаче – на предмет определения концентрации оксидов азота в рабочих циклах ДРЦ. На основе математической модели определены параметры (максимальная температура цикла T_z и др.) рабочих циклов ДРЦ, включая рабочий цикл, следующий после 1-го, 2-х и более подряд отключенных циклов.

При этом необходимо иметь в виду, что увеличение коэффициента избытка воздуха с 1,10 до 1,317, в принципе, вело бы к увеличению продолжительности сгорания, а также к изменению угла опережения зажигания. Более того, при таком значении $\alpha > 1,3$ рабочая смесь (свежий заряд) не возгорится, или будет присутствовать сгорание с “хлопками” и нерегулируемыми пропусками рабочих циклов. Поэтому в этих случаях необходимо “обогащать” рабочую смесь до $\alpha \leq 1,0 \dots 1$, и длительность процесса сгорания будет такой же, как и рабочих циклах ДРЦ. Таким образом, при работе ДРЦ необходимо после одного отключенного цикла увеличить количество топлива на 10...15%, после второго и третьего – на 15...20%. При этих условиях

коэффициент избытка воздуха составляет $\alpha \approx 1,05 \dots 1,15$ (при соответствующем увеличении индикаторной работы). Уместно отметить, что для полной оценки тепловых потерь в рабочем цикле ДРЦ, следующем после отключенных рабочих циклов, следует также учесть локальные уменьшения температур в камере сгорания.

Программа расчета рабочего процесса ДРЦ написана на языке программирования Fortran, а управляющая программа данным, которые получены в процессе расчета – на языке программирования FoxPro.

В расчетной модели определения NO в рабочих циклах ДРЦ включая рабочий цикл, следующий за отключенным, основными являются цепные реакции Семенова Н.Н. [1, 2], скорость которых зависит от концентрации атомарного кислорода, который определяется в условиях равновесия с молекулярным кислородом согласно реакции в уравнении (3). Поскольку в этой реакции должен участвовать атомарный кислород, предполагаем, что процесс образования NO начинается только после полного сгорания топлива.



$$r_0 = K_0 \sqrt{r_{O_2}}, \quad (3)$$

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СМЕСИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ МОЩНОСТИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ РАБОЧИХ ЦИКЛОВ

где: K_0 – коэффициент равновесия атомарного кислорода; r_0 и r_{O_2} – соответственно концентрации атомарного и молекулярного кислорода.

Кинетика реакции рассчитывалась по формуле Зельдовича Я.Б. [8].

В формулу (4) входят концентрации NO , O_2 , N_2 а также температура (при фиксированном объеме). Приведенная формула для обедненной смеси, когда после сгорания остается некоторое количество кислорода. В этом случае массы кислорода и азота в формуле (4) приравняем к постоянным величинам.

$$\frac{dNO}{dt} = \frac{5 \cdot 10^{11}}{\sqrt{O_2}} \cdot e^{-\frac{86000}{RT}} \left(O_2 \cdot N_2 \cdot \frac{64}{3} e^{-\frac{43000}{RT}} - NO^2 \right). \quad (4)$$

Поскольку в ходе кинетики поршень движется в цилиндре и изменяется объем V , а следовательно и концентрации всех веществ для количеств атомов: $N_{NO} = n_{NO} \cdot V$, которая представлена формулами (5, 6):

$$\frac{d}{d\phi} N_{NO} = V \cdot \sqrt{\frac{V}{NO_{O_2}}} \cdot 5 \cdot 10^{11} \cdot e^{-\frac{86000}{RT}} \left(\frac{N_{O_2} \cdot N_{N_2}}{V^2} \cdot \frac{64}{3} e^{-\frac{43000}{RT}} - \frac{N_{NO}^2}{V^2} \right) = A - B \cdot N_{NO}^2, \quad (5)$$

$$\text{где: } A = \frac{1.07 \cdot 10^{13} \sqrt{N_{O_2}} \cdot N_{N_2}}{\sqrt{V}} \cdot e^{-\frac{129000}{RT}},$$

$$B = \frac{5 \cdot 10^{11}}{\sqrt{N_{O_2}} \cdot \sqrt{V}} \cdot e^{-\frac{86000}{RT}}. \quad (6)$$

Для уточненной математической модели по определению концентрации NO_x в рабо-

чих циклах ДРЦ с применением квантово – механического расчета определен коэффициент равновесия атомарного кислорода, где температура T выражено на в K и представлена формулой (7):

$$K_0 = 3 \cdot 10^{15} \cdot \left(\frac{T}{2000} \right)^{1/4} \cdot \sqrt{\text{sh}\left(\frac{11000}{T} \right)} \cdot \exp\left(\frac{30000}{T} \right). \quad (7)$$

Эксперимент по определению оксидов азота проводился на ранее согласованном режиме работы ДРЦ как в рабочем цикле так и в рабочем цикле, следующем за отключенным при $n_{к.в.} = \text{const} = 1500 \pm 50 \text{ мин}^{-1}$. Экспериментально определялись концентрации TV , эффективная мощность, и удельный расход топлива CO , $C_m H_n$, NO_x , N_e , $g_e = f(a)$.

Пробу газа отбирали специальным зондом, который был изготовлен из специальной нержавеющей жаростойкой стали. Зонд разместили в выпускном коллекторе на расстоянии 50 мм от выпускного клапана. ОГ после зонда проходили через влагоудерживающее устройство, и дальше специальной помпой подавались по газовым магистралям в газоанализаторы (см. рисунок 2) [16].

Для проведения этой части эксперимента была учтена специфика работы ДРЦ, которая заключается в том, что коэффициент остаточных газов в рабочем цикле после первого отключенного (продувочного) цикла уменьшается в 7 раз, то есть камера сгорания почти полностью очищалась от остаточных газов.

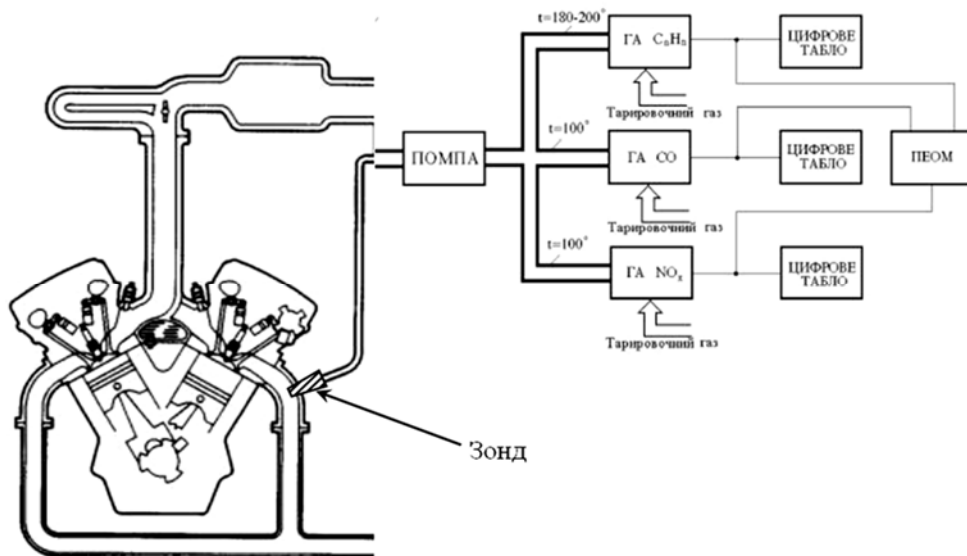


Рис 2. Схема газоотборного комплекса для исследования ДВС

Fig. 2. Scheme of gas sampling complex for ICE research

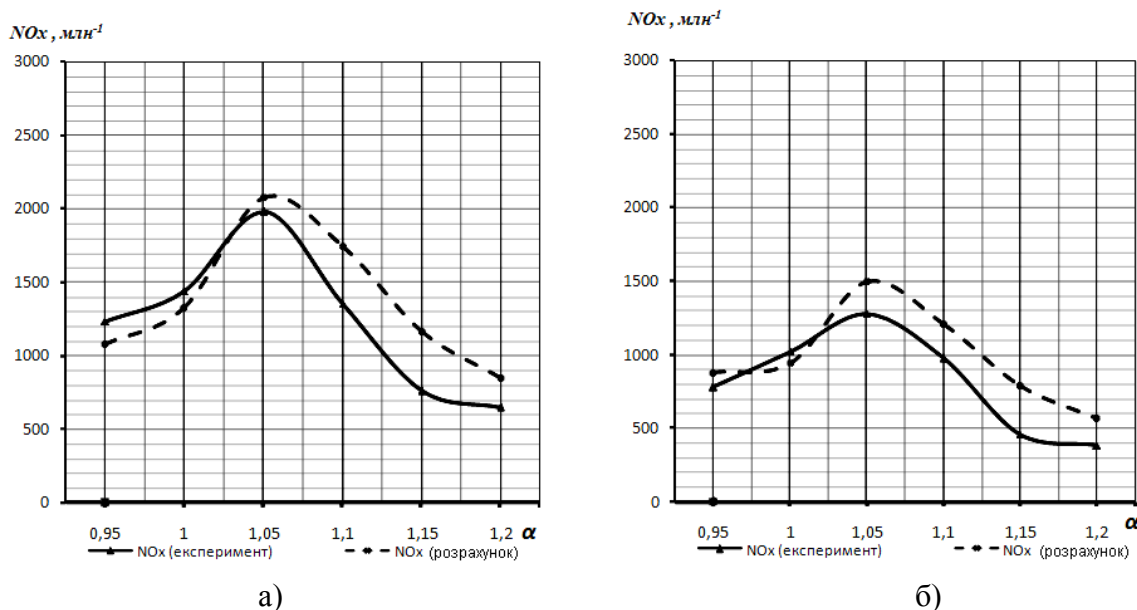


Рис. 3. Оценка адекватности математической модели выхода оксидов азота в рабочем цикле ДРЦ (а) и в рабочем цикле, следующем за отключенным (б)

Fig. 3. Analyzing the adequacy of the mathematical model of the discharge of nitric oxide in working cycle of internal combustion engines (ICE) with control of power by cycles cut-off (a) and working cycle, following the cut-off (b)

Коэффициент избытка воздуха в рабочем цикле следующем после первого отключенного цикла также увеличился на 18 % (с 1,05 до 1,3). Поэтому в этих случаях необходимо "обогащать" топливо-воздушную смесь, чтобы достичь значений от $\alpha=1,3$ до $\alpha=1,0...1,2$, при этом продолжительность процесса сгорания будет такой же, как и в рабочем цикле ДРЦ. С помощью программы, "обогащение" происходило изменением (увеличением) цикловой подачи топлива $q_{ци}$.

На рис. 3 представлены результаты расчетно-экспериментального исследования содержания оксидов азота в рабочем цикле ДРЦ, а также в рабочем цикле следующем за отключенным, при различных коэффициентах избытка воздуха α .

Для получения более подробной информации работы ДРЦ по основным токсичным компонентам, мощности и расходу топлива были сняты ряд нагрузочных характеристик на различных скоростных режимах от ХХ до максимальной нагрузки, то есть, это зависимости концентраций CO , C_mH_n , NO_x и удельного расхода топлива g_e от изменения нагрузки. На рис. 4 представлена зависимость топливо-экономических и экологических показателей от нагрузки двигателя 8Ч

9,2/8 с серийной системой питания и ДРЦ при $n_{к.в.} = 1500 \text{ мин}^{-1}$.

Проанализировав характеристики по параметру токсичности серийного двигателя и ДРЦ можно сделать вывод по выбросам основных токсических веществ:

Оксид углерода CO на всех нагрузочных режимах ДРЦ будет значительно ниже по сравнению с серийным двигателем 8Ч 9,2 / 8;

Концентрации несгоревших углеводородов C_mH_n также имеют значения ниже. Исключение имеет только режим работы ДРЦ с обогащенным рабочим циклом, следующим за отключенным;

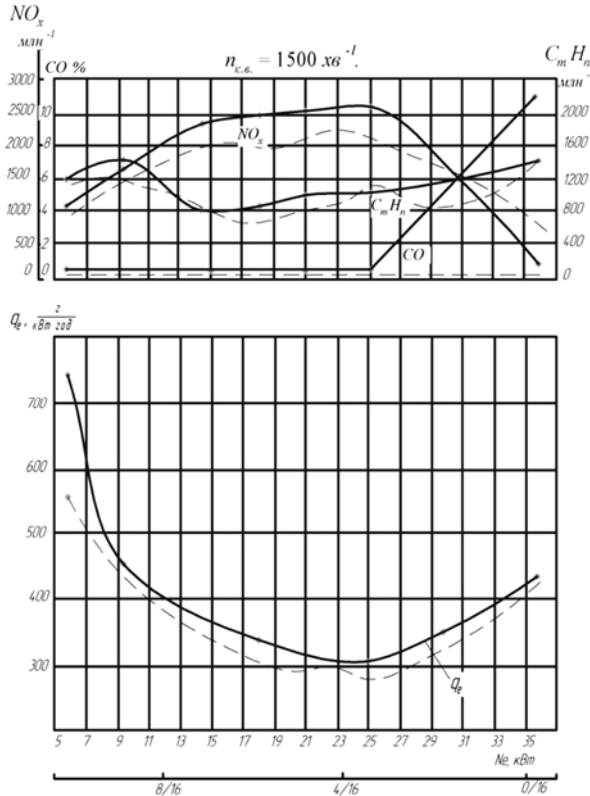
Оксиды азота NO_x при работе ДРЦ значительно меньше, чем при серийной системе, кроме максимального нагрузочного режима.

Проанализировав результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований ДРЦ, определено, что основным фактором, который влияет на концентрацию оксидов азота и других вредных компонентов в рабочих циклах ДРЦ и рабочем цикле, следующем за отключенным циклом, является состав топливо-воздушной смеси. При работе двигателя на оптимально обедненной топливо-воздушной смеси с $\alpha \geq 1,1...1,15$ концентрация NO_x существенно ниже, чем при сгорании смеси близкого к стехиометри-

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СМЕСИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ МОЩНОСТИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ РАБОЧИХ ЦИКЛОВ

ческому, а концентрации CO та $C_m H_n$ незначительны, кроме того, достигается минимальный удельный расход топлива.

Для достижения стабильных значений рабочего цикла ДРЦ, следующего за отключенным, необходимо увеличить цикловую подачу топлива на 10...15%. При этом коэффициент избытка воздуха составит $\alpha \geq 1,1$.



Серийный двигатель

ДРЦ

Рис. 4. Зависимость топливно-экономических и экологических показателей от нагрузки двигателя 8Ч 9,2/8 с серийной системой питания и ДРЦ ($n_{к.в.} = 1500 \text{ мин}^{-1}$)

Fig. 4. Dependence of the fuel-economic and ecological indexes of 8cylinder engine load with serial power system and working cycle of internal combustion engines (ICE) with control of power by cycles cut-off ($n = 1500 \text{ rpm}$)

ВЫВОД

1. Совершенствование рабочего процесса ДВС путем применения метода регулирования мощности отключением отдельных рабочих циклов является одним из направлений одновременном улучшении экологических показателей и топливную экономичность бензинового двигателя.

2. Определен механизм образования NO_x в соответствии с математической модели ДРЦ. С применением детального квантово-механического расчета определена формула константы равновесия атомарного кислорода K_0 .

3. Для реализации метода регулирования мощности отключением отдельных рабочих циклов на базе бензинового двигателя 8Ч 9,2/8 создана система питания с электронным блоком управлением и отработан алгоритм его работы.

4. На основе теоретических расчетов и экспериментальных исследований с учетом топливной экономичности и экологических показателей бензинового ДВС разработаны рекомендации, согласно которым установлен оптимальный состав топливо-воздушной смеси с $\alpha \geq 1,1 \dots 1,15$ для рабочих циклов ДРЦ. Для достижения стабильных значений рабочего цикла ДРЦ, следующего за отключенным, необходимо увеличить цикловую подачу топлива на 10...15%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Biljavskij G.O. 2005: Osnovi ekologii: pidruchnik dlja stud. vuziv / G.O. Biljavskij, R.S. Furduj, I.Iu. Kostikov. – [2-ge vid.] – K.: Libid'. – 408.
2. Velichko O.M. 2001: Ekologichnij monitoring: [Navch.posib] / O.M. Velichko, D.V. Zerkalov; Nac. transport. un-t. – K.: "Nauk. svit". – 205.
3. Voinov A.N. 1977: Sgoranie v bystrohodnyh porshnevnyh dvigateljah. / A.N. Voinov – M.: Mashinostroenie. – 174–175.
4. Gorbunov V.V. 2006: Toksichnost dvigatelej vnutrennego sgoranija / V.V. Gorbunov, N.N. Patrahalev – M.: FGUP «NAMI». – 123.
5. Gutarevich Iu.F. 1989: Ohrana okruzhajushhej sredy ot zagrjaznenija vybrosami dvigatelej / Iu.F. Gutarevich. – K.: Urozhaj. – 224.
6. Djakov A.K. 1989: Ekologicheskaja bezopasnost transportnyh potokov / Djakov A.K., Ignatev Iu.V., Koshkin E.P. – M.: Transport – 128.
7. Ekologija 2002: Ekologija avtomobilnogo transportu: [Navch. posibnik] / [Gutarevich Iu.F., Zerkalov D.V., Govorun A.G., Korpach A.O., Merzhiyevska L.P.]; Za red.

- Iu.F. Gutarevich, D.V. Zerkalov ta in. – K.: Osnova. – 311.
8. Zvonov V.A. 1981: Toksichnost dvigatelej vnutrennego sgoranja / V.A. Zvonov– [2-e izd., pererab.] – M.: Mashinostroenie. – 160.
9. Kovbasenko S.V. 1999: Pokrashhennja ekologichnih ta ekonomichnih pokaznikov avtomobiliv / S.V. Kovbasenko // Visn. Shidnoukr. derzh. un-tu. – №1. – 85–88.
10. Kulchickij A.R. 2000: Toksichnost avtomobilnyh i traktornyh dvigatelej. / A.R. Kulchickij – Vladimir: Vladim. gos. un-t. – 256.
11. Kucenko A.S. 1988: Modelirovanie rabochih processov dvigatelej vnutrennego sgoranja na IeVM / A.S. Kucenko – K.: Naukova dumka. – 104.
12. Lukanin V.M. 1993: Postanovka optimizacionnyh zadach v sisteme «Avto-transportnyj kompleks – okružhajushhaja sreda» / V.M. Lukanin, Iu.V. Trofimenko, A.V. Efremov // Transport, nauka i tehnika, upravlenie. – № 5 – 5-12.
13. Lukanin V.N. 1993: Ekologicheskoe vozdejstvie avtomobilnyh dvigatelej na okružhajushhiju sredu / V.N. Lukanin, Iu.V. Trofimenko // Itogi nauki i tehniki. – Tom 17. – 128–136.
14. Markov V.A. 2002: Toksichnost otrabotavshih gazov dizelej: nauchno-populjarnaja literatura / V.A. Markov, R.M. Bashirov, I.I. Gabitov. – [2-e izd., pererab. i dop.] – M. : Izd-vo Mosk. gos. tehn. un-ta im. N. Ie. Baumana., – 376.
15. Pavlova E.I. 1998: Ekologija transporta / E.I. Pavlova, Iu.V. Buralev. – M.: Transport. – 232.
16. Patent 2005: Patent 72969 Ukraina, MKI4 F 02 V 71/00. Gazovidbirnij kompleks dlja viznachennja osnovnih parametriv i toksichnosti dviguniv vnutrishnogo zgorjannja / A.Z. Filippov, M.Ye. Atamanenko, Iu.A. Gerasimchuk, V.V. Derevjanko – №2002118985; Zajav. 12.11.2002; Opubl. 16.05.2005, Bjul. № 5.
17. Filippov A.Z. 1995: Promislova ekologija (transport) / A.Z. Filippov. – K.: Vishha shkola. – 82.
18. Filippov A.Z. 1998: Toksichnist teplovih dviguniv. Suchasnij stan ta shljahi її zmeshennja / A.Z. Filippov, S.D. Vojtjuk, Iu.A. Gerasimchuk // Mehanizacija silskogo-spoda-

- rskogo virobництва: Zb. nauk. prac Nacionalnogo agrarnogo un-tu.–T. IV. – K.: Vidavnicтво NAU. – 177–184.
19. Filippov A., Beshun O., Krasowski E. 2001: Pro mozhlivist reguljuvannja potuzhnosti bagatocilindrovih dizelnih dviguniv metodom vidkljuchennja okremih robochih cikliv // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, Nacionalnij agrarnij universitet, Kiev, Polska Akademia Nauk Oddzial w Lublinie. – Lublin. – 2001, T. 1. – 33–37.
20. Anatolij Filippov. 2005: Dinamika dizelnogo DRC (dvigatelja s regulirovaniem moshhnosti otkljucheniem otdelnyh robochih ciklov) / Anatolij Filippov, Aleksey Beshun, Yuriy Gerasimchuk, Olga Gluhovska, Ludmila Evchenko // Lublin: MOTROL [Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa]. – T. 7. – 83–91.
21. Sullivan I.L. 1998: Modifying automotive life-cycle assessment / I.L. Sullivan, M.M. Costic, W. Han. // Automotive Engineering International. – № 7. – 69–71.

OPTIMIZATION OF FUEL MIXTURE IN REGULATION OF POWER OF GASOLINE ENGINE BY METHOD OF CUT-OFF OF WORKING CYCLES

Summary. The subject of this research is finding of the optimum composition of a fuel-air mixture and built up cyclic input for working cycle of internal combustion engines (ICE) with control of power by cycles cut-off in order to provide ICE work with a minimum content of harmful substances in the exhaust gases and consequently, fuel economy.

Key words: petrol engine, engine capacity power control, switching off of working cycles, exhaust gas, electromagnetic gas sampling valve, mathematical model, parts per million, nitrogen oxides, ecological indexes.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ СОЛОМЫ ЛЬНА

Виктор Василенков, Максим Гудзенко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Viktor Vasilyenkov, Maksym Gudzenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Обоснованы калориметрические исследования для определения удельной теплоты сгорания твердого топлива. Представлены результаты экспериментального исследования определения энергетической ценности соломы льна.

Ключевые слова: солома, лен, теплота сгорания, калориметрическая бомба, эксперимент.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Топливо является одним из источников тепловой энергии. Под топливом понимают вещество, при горении которого выделяется значительное количество тепла и которое по техническим, санитарно-гигиеническим и экономическим соображениям выгодно сжигать в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте.

В Украине и других странах мира довольно актуальным стал вопрос замены традиционных ископаемых видов топлива на альтернативные. Это обусловлено прежде всего исчерпаемостью ресурсов традиционных энергоносителей, а также необходимостью охраны окружающей среды [1]. Развитие биоэнергетики очень актуально для Украины с ее значительным потенциалом биомассы, доступной для получения энергии. Экономически целесообразен потенциал биомассы оценивается до 27 млн. т.у.т./год. [2, 3].

Среди альтернативных источников энергии, важное место занимает твердое биотопливо, в частности солома сельскохозяйственных культур [4, 5]. Отечественный потенциал по соломе огромен. Необходимо учесть, что солома представляет собой очень дешевый возобновляемый источник энергии, причем сырье это появляется в большом ко-

личестве при переработке сельскохозяйственной продукции. Говоря о соломе, мы имеем в виду не только пшеничную солому, но и все виды отходов растениеводства такого рода. Учитывая то, что такие отходы возникают ежегодно в больших объемах и используются крайне ограниченно и нерационально (предварительно измельченная солома просто запахивается или сжигается на поле) довольно актуальным становится вопрос применения соломы как энергетического сырья.

О достоинствах соломы как топлива, в настоящий момент научные сотрудники заявляют все больше. В мировой практике уже накоплен значительный опыт по внедрению различных технологий приготовления соломы к сжиганию. Рационально солому сжигать в виде брикетов, прессованных рулонов или тюков [3, 6, 7]. Сегодня это – новый и прибыльный бизнес, ведь рынок сбыта такой продукции очень широк – от охвата отечественных потребителей до экспорта в страны ЕС, где их используют на протяжении длительного времени [8].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Большой ассортимент соломы и прессованной биомассы из различных видов сырья представленный сегодня на рынке на выбор потребителя имеет как и любой другой товар свою цену и качественную оценку.

Основным показателем экономической оценки топлива вместе с другими данными технического анализа является его теплота сгорания.

Теплота сгорания топлива – основная теплотехническая характеристика, определяющая его энергетическую ценность и

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ СОЛОМЫ ЛЬНА

представляет собой количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании единицы массы твердого или жидкого топлива, или единицы объема газообразного топлива [9].

Теплоту сгорания определяют двумя методами: расчетным и экспериментальным. Расчетный метод определения теплотворной способности топлива, основанный на элементном составе образца, рассчитываемый по эмпирической формуле Д.И. Менделеева [10–12]. Однако, расчетные методы определения удельной теплоты сгорания для твердого и жидкого топлива рекомендуется использовать только для оценочных расчетов и для контроля качества результатов экспериментального метода, так как применение этой формулы дает приближенный результат [10].

В настоящее время отечественных печатных научных работ по экспериментальному определению теплотворной способности исследуемых образцов биомассы практически нет. В основном представлены работы в которых упоминаются общие значения теплотворной способности конкретных исследуемых образцов [13]. Следует отметить, что калориметрические измерения более широко применяются в российских университетах при проведении научных и учебных лабораторных работ [14–18].

Предложенная в работе [18] методика экспресс-анализа жидких и газообразных топлив для оперативной оценки теплотворной способности любого вида топлива, как полученного из нефти, так и топлив, получаемых из растительного сырья или органических продуктов. Однако, эта методика не применяется для оценки теплотворной способности твердого топлива, а всего лишь представлена как альтернатива дорогостоящим калориметрам.

В предыдущей работе [19] авторами указывались причины ограниченного использования калориметрических бомб и потери базовых знаний навыков работы с ними.

В Украине благодаря деятельности компании Linen of Desna ("Деснянский лен") Мишеля Терещенко инициирован проект по возобновлению выращивания и переработки льна. Компания «Linen of Desna» – одно из крупнейших предприятий Украины, работа-

ющих по полному циклу производства, начиная с выращивания льна, первичной переработки льнотресты и заканчивая производством натурального льняного шпагата и веревки.

Лен это еще и костра – стебли и листья, которые составляют 60-65% объема растения [20]. Из костры можно получать биомассу, которая используется на льнозаводах, как топливо для котельных установок, а также на хозяйственные нужды населения. Такой высокий процент образования костры предполагает её дальнейшее эффективное использование на топливные пеллеты, мульчу для садоводства, подстилку для лошадей и других домашних животных.

Перспективным производством в компании рассматривают производство топливных брикетов из костры льна [21].

Учитывая последние тенденции наращивания мощностей компании по выращиванию и переработки льна, мы сочли актуальным провести исследования по определению теплотворной способности стеблей льна на предмет использования в качестве твердого биотоплива.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью наших исследований является определение теплотворной способности исследуемых образцов льна на предмет использования в качестве твердого биотоплива.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальный метод определения энергетической ценности топлива или его теплоты сгорания является наиболее точным способом, который производится в лабораторных условиях с использованием специального прибора, так называемой калориметрической бомбе. На кафедре теплоэнергетики в Национальном университете биоресурсов и природопользования Украины для научных исследований по определению энергетической ценности (теплоты сгорания) твердого и жидких топлив используется экспериментальная лабораторная калориметрическая установка.

Описание экспериментальной лабораторной калориметрической установки.

Экспериментальная установка для определения теплоты сгорания твердого и жидкого топлива состоит из следующих деталей и узлов (рис. 1): калориметрической бомбы 1; калориметрического стакана 15; оболочки калориметра 2 с укрепленной на ней мешалкой 6 и передаточным механизмом, подставки для калориметрического стакана 16; щитка панели с электромотором, реостата, трансформатора, контрольной лампочки и выключателя, метастатического термометра (термометра Бекмана) 14; кислородного баллона с манометром и редуктором, соединительных трубок. Калориметрическая оболочка 2 является массивным двустенным с двойным дном баком. Стенки и днище бака изготовлены из латунного листа толщиной 1,2 мм. Поверхность внешнего цилиндра оболочки и поверхность внутреннего цилиндра служит для помещения калориметрического стакана 16, отполированные и никелированные с глянцем для уменьшения теплообмена посредством излучения с окружающей средой.

Внутреннее пространство оболочки 2, образованное внешним и внутренним цилиндрами, заполняется водой. Вода предназначена для уменьшения теплообмена сосуда с внешней средой и предохранения от случайных неправильных температурных изменений во внешней среде. Для наполнения оболочки водой на ее верхней поверхности имеется специальное отверстие, служащее также для размещения термометра. Обода обеспечены крышкой 4, изготовленной из гетинакса. Крышка сделана из двух половин, в месте стыка их три отверстия, предназначенные для метастатического термометра, стержня мешалки и токоподводящих проводов.

На оболочке установлены две втулки 3, которые служат для размещения в них стойки 6, кронштейна 9. Кронштейн служит для закрепления механизмов и приспособлений, приводящие в движение вертикальную мешалку 6.

Мешалка служит для перемешивания воды в калориметрическом стакане. Мешалка получает поступательное движение от шатуна 11 укрепленного на эксцентрике 10, который жестко связан с маховиком 8. Стержень мешалки через муфту соединен со стержнем

7, который свободно движется в направляющих отверстиях кронштейна 9 и связан с шатуном 11 с помощью муфты 12 и закрепляющих винтов.

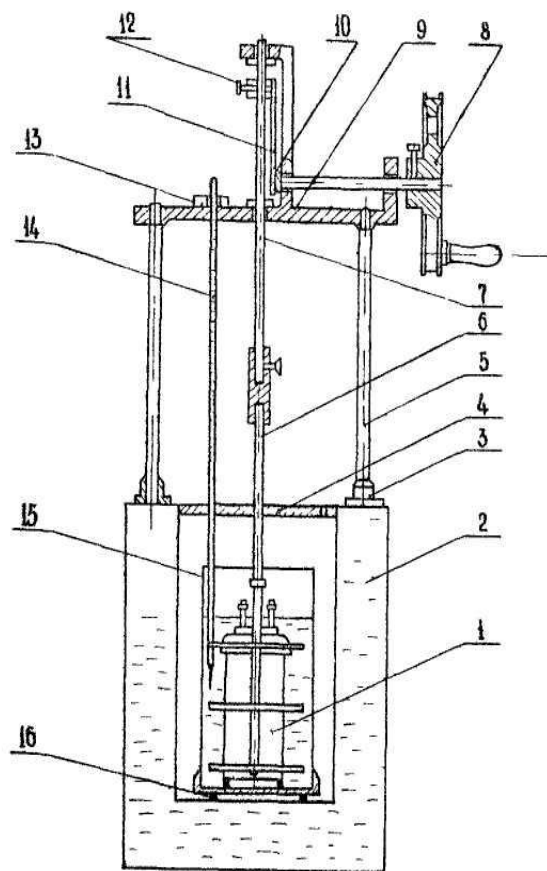


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – калориметрическая бомба; 2 – оболочка калориметра; 3 – втулка; 4 – крышка; 5 – стойка; 6 – мешалка; 7 – стержень; 8 – маховик; 9 – кронштейн; 10 – эксцентрик; 11 – шатун; 12 – муфта; 13 – зажим; 14 – метастатический термометр; 15 – калориметрический стакан; 16 – подставка

Fig. 1. The experimental setup

Калориметрический стакан 16 является мягким тонкостенным металлическим стаканом правильной цилиндрической формы, в который наливается дистиллированная вода и погружается калориметрическая бомба 1. Калориметрический стакан помещается в оболочку на специальной подставке 16, изготовленной из теплоизоляционного материала фибры и эбонита. Подставка позволяет создать хорошую теплоизоляцию калориметрического стакана от оболочки.

Описание процесса калориметрического опыта. Калориметрические измерения, как правило, состоят в наблюдении за изменени-

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ СОЛОМЫ ЛЬНА

ем температуры калориметрической системы во время опыта.

При проведении опытов испытывались четыре образца льна: костра льна, солома льна, треста льна, волокна льна.

Результаты определения теплотворной способности исследуемых образцов льна записывались согласно описанной методике в работе [19]. В таблице 1 представлены результаты протокола опыта показаний по шкале термометра в периодах для волокна льна. Соответственно на рисунке 2 представлены результаты изменения температуры в ходе калориметрического опыта для волокна льна.

Из представленных результатов видно, что опыт делится на три этапа: начальный (служит для учета теплообмена калориметрической системы с окружающей средой в условиях начальной температуры испытания); главный (в течение которого происходит сгорание навески и передача тепла калориметрической системе); конечный (определяли теплообмен установки с окружающей средой в условиях конечной температуры испытания).

Установлено, что при температуре 25,8 °С происходит выравнивание температуры калориметрической системы и окру-

жающей среды. Эта температура является началом главного периода, когда воспламеняется испытуемый образец из навески льна. Из таблицы видно, что главный период длится 11 полуминутных периодов, что составляет 330 секунд. Рисунок 2 показывает, что температурный скачок для навески льна составляет 0,95 °С, что указывает на то что данный вид биотоплива будет быстро сжигаться (быстрое поднятие температуры (более 0,3 °С) наблюдается только в двух полуминутных отрезках от 25,8 до 26,1 и от 26,1 до 26,5°С). Конечный период характеризуется спокойным уравниванием температур с окружающей средой.

Результаты определения теплотворной способности всех исследуемых образцов льна показаны в таблице 2. Анализ таблицы показывает, что наибольшую теплотворную способность имеет костра льна, что составляет 13501 кДж/кг. Наименьшую теплотворную способность имеют треста льна 8302 кДж/кг. Поэтому рекомендуется в качестве исходного материала для твердого биотоплива использовать костру льна. Также рекомендуется с целью организации безотходного производства указанные образцы смешивать между собой и получать многокомпонентное биотопливо.

Таблица 1. Протокол опыта показаний по шкале термометра в периодах для волокна льна
Table 1. Protocol of experience of testimonies on the scale of thermometer in periods for flax fiber

Номер измерения	Показания по шкале термометра в периодах, °С		
	Начальный период	Главный период	Конечный период
0	26,20	25,80	26,75
1	26,00	26,10	26,75
2	25,90	26,50	26,75
3	25,90	26,70	26,70
4	25,90	26,70	26,70
5	25,85	26,70	26,70
6	25,80	26,70	26,70
7	25,80	26,70	26,70
8	25,80	26,75	26,70
9	25,80	26,75	26,70
10	25,80	26,75	26,70
11	–	–	–

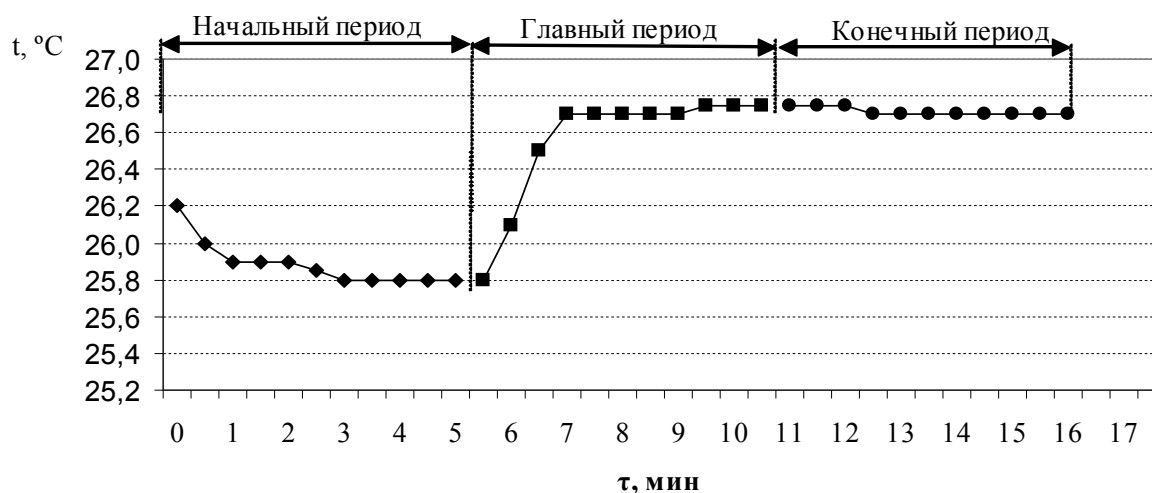


Рис. 2. Результаты изменения температуры в ходе калориметрического опыта для волокна льна

Fig. 2. The results of temperature change during the calorimetric experiment for flax fiber

Таблица 2. Результаты определения теплотворной способности исследуемых образцов льна
Table 2. The results determine the calorific value of the samples of flax

Название образцов	Наименование показателей, единицы измерений	
	Высшая теплота сгорания рабочего образца, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ $\frac{\text{кКал}}{\text{кг}}$	Низшая теплота сгорания рабочего образца, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ $\frac{\text{кКал}}{\text{кг}}$
костра льна	14697	13501
	3514	3230
солома льна	14482	12678
	3463	3034
треста льна	9407	8302
	2249	1986
волокна льна	10806	9186
	2584	2198

ВЫВОД

Наибольшую теплотворную способность имеют костра льна что составляет 13501 кДж/кг. Наименьшую теплотворную способность имеют треста льна 8302 кДж/кг. Поэтому рекомендуется в качестве исходного материала для твердого биотоплива использовать костру льна. Также рекомендуется с целью организации безотходного производства указанные образцы смешивать между собой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Biomasa plan dlya Ukraini (proekt). 2008: K. NTC – "Biomasa". 43. Yermilov S.F. Derzhavna energetychna polityka v ukrainskomu ta evropejskomu konteksti / S.F. Yermilov //

Rezhym dostupu: http://www.ief.org.ua/Arjiv_EP/Ermilov.

2. Jech J. 2008: Suszenie ziarna energia uzyskana ze spalania biomasy // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 10. – 60–66.
3. Bioenergiya 2009: Bioenergiya v Ukraini – Naukovo-metodichni rekomendatsii shchodo vprovadzhennya peredovogo dosvidu agramikh pidpriemstv Polshchi, Litvi ta Ukraini zi stvorennya novitnikh obyektiv bioenergetiki, yefektivnogo virobnitstva i vikoristannya biopaliv: [Nauk.- metod. rekomend.] / [V.O. Dubrovin, M.D. Melnichuk, Yu.F. Melnik, V.G. Mironenko ta in.]. – K.: NUBiP Ukraini; Institut budivnitstva, mekhanizatsii ta yelektrifikatsii silskogo gospodarstva, Polshcha, Institut agrarnoi inzhenerii, Litva. – 122.
4. Boyarchuk V. 2012: Ocinka energoefektyvnosti tehnologii vykorystannia solomy ripaku v

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ СОЛОМЫ ЛЬНА

- energetychnykh ciliah. // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 14. No.4. – 11–15
5. Kravchuk V.I., Posibnyk. 2013: Tehnologii ta obladnannya, dlya vykorystannya ponovlyuvalnykh dzherel v silskogospodarskomu vyrobnyctvi – Doslidnycke: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – 184.
6. Biopaliva 2004: Biopaliva (tehnologii, mashini i obladnannya) / [Dubrovin V.O., Korchemniy M.O., Maslo I.P. ta in]. – K.: Tsentr tekhnichnoi informatsii „Energetika i yelektrifikatsiya”. – 256.
7. Polishchuk V., Dubrovin V., Polishchuk A. 2012: Aternativnyye dizelnyye topliva // Motrol. Commission of motorization and Energetics in agriculture. – Lublin-Kiev – Simferopol–Mykolaiv–Lviv–Rzeszow. – Vol. 14, No 3,–20–31.
8. Pellety iz solomy. Rezhym dostupu: <http://ekoterm-krym.com.ua/a52830-pellety-solomy.html>
9. Grigoryev K.A., Rundygin Yu.L., Trichenko A.L. 2006: Tekhnologiya szhiganiya organicheskikh topliv. Energeticheskiye topliva: Ucheb. posobiye. – SPb.: Izd-vo Politekhn. unta. – 92.
10. Zikeyev T.A., Korelin A.I. 1948: Analiz energeticheskogo topliva. – M.-L.: Gosenergoizdat. – 328.
11. Mendeleev D.I. Sochineniya: nauchnoye izdaniye. 1949: T. Khl / D.I. Mendeleev; red. V.G. Khlopin; Akademiya nauk SSSR. – L.; M.: Akademiya nauk SSSR. – 584.
12. Teplotekhnika 1976: Teplotekhnika / I.T. Shvets, V.I. Tolubinskiy, A.I. Alabovskiy i dr.-K.: Vyssh. shk. – 518.
13. Rod'kin O.I. Jekologicheskaja ocenka i potencial ispolzovaniya solomy zernovykh kultur v kachestve biotopliva. Rezhym dostupu: <http://economics.ihbt.ifmo.ru/file/article/7067.pdf>
14. Kiryanov K.V. 2007: Kalorimetricheskiye metody issledovaniya. Uchebno-metodicheskiy material po programme povysheniya kvalifikatsii «Sovremennyye metody issledovaniya novykh materialov elektroniki i optoelektroniki dlya informatsionno– telekommunikatsionnykh sistem». – Nizhniy Novgorod. – 76.
15. Laboratornaya 2011: Laboratornaya rabota po kursu: Osnovy khimicheskoy fiziki. Termokhimiya. Opredeleniye teploty sgoraniya organicheskikh soyedineniy / Prostov V.N., Zubtsov D.A., Zubtsova Zh.I., Yavorskiy V.A. M.: Moskovskiy fiziko-tekhnicheskii institut. – 16.
16. Kalorimetriya 2001: Kalorimetriya. Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot po fizicheskoy khimii / Gorokhovskiy A.V., Yefanova V.V., Simakov V.V., Seryanov Yu.V. – Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. – 12.
17. Vorobyev L.I., Grishchenko T.G., Dekusha L.V. 1997: Bombovyeye kalorimetry dlya opredeleniya teploty sgoraniya topliva // Inzhenemo-fizicheskii zhurnal. – Tom 70, №5. – 828–839.
18. Holmanski A.S. Jekspress-analiz teplotvornoj sposobnosti topliv. Rezhym dostupu: <http://technic.itizdat.ru/Uploads/aholy/FIL13606659670N051887001.pdf>
19. Vasilenkov V., Gudzenko M. 2013: Usovershenstvovanie analiza i obrabotki poluchennykh dannykh pri kalorimetricheskikh issledovaniyakh // Motrol. Commission of motorization and Energetics in agriculture. – Lublin-Kiev–Simferopol–Mykolaiv–Lviv–Rzeszow. – Vol. 15, No 3,–125–130.
20. Kostra. Rezhym dostupu: <http://linenofdesna.com/ru/produkcziya/kostra.html>
21. Toplivnyye brikety iz kostry l'na. Rezhym dostupu: <http://linenofdesna.com/ru/produkcziya/iz-kostrilna.html>

**RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES
DETERMINING THE ENERGY VALUES
STRAW FLAX**

Summary. Substantiated calorimetric studies to determine the specific heat of combustion of solid fuels. Experimental results on determining the energy value of straw.

Key words: straw, flax, heat of combustion, bomb calorimeter experiment.

ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ ЭНЕРГОСРЕДСТВ НА КОМПЛЕКТОВАНИЕ АГРЕГАТОВ НА ИХ БАЗЕ

Григорий Шкариевский

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев обороны, 15*

Grigoriy Shkaryvsky

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Изложены результаты исследований относительно оценивания с помощью критериев собираемости агрегата, его ремонтпригодности и функциональной насыщенности энергосредства влияния конструктивно-компоновочных схем энергосредств на комплектование агрегатов на их базе.

Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, машинно-тракторный агрегат, комплектование, оценка, конструктивно-компоновочная схема, критерий

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Энергетическая составляющая себестоимости продукции сельскохозяйственного производства существенно влияет на ее конкурентоспособность. Названную составляющую себестоимости формирует состав и использование машинно-тракторных парков хозяйств, а именно мобильных энергетических средств (МЕЗ) сельско-хозяйственного назначения и агрегатов на их базе. Сегодня можно услышать много нареканий на несовершенство конструкций машин отечественного производства, которое практически привело к остановке тракторостроительной промышленности, потери контроля над ней со стороны государства, потери стратегических позиций в обеспечении села энергетическими средствами и других негативов. В последнее время, с целью исправления положения, внедряется практика создания МЕЗ с использованием комплектующих лучших производителей мира, создаются энергосредства с двигателями повышенной мощности, более комфортными условиями труда оператора, улучшенным дизайном и тому подобное, вплоть до создания машин новых конструкций, что не всегда обеспечивает

желаемый результат. При таких условиях имеет место острая необходимость оценки потенциала машины в вопросах реализации как уже существующих, так и новейших технологий еще на стадии ее проектирования.

Одним из важных этапов при этом является оценка общей конструкции машины, то есть ее конструктивно-компоновочной схемы [1, 2].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мобильное энергетическое средство – многофункциональная машина, в процессе использования которой деятельность человека осуществляется по двум направлениями, а именно: – обеспечение эксплуатации собственно энергетического средства; – обеспечения выполнения технологической операции, или технологического процесса.

В соответствии с этим в работах [3, 4, 5] различается техническая и технологическая эксплуатация МЕЗ. Автором работ [3, 4, 5] предложено оценивать степень технологичности энергосредства по трем обобщенным показателям: производительностью, агротехническим качеством выполнения технологической операции и себестоимостью работ. Кроме того, в работах приведенные зависимости для определения технологической универсальности и эффективности использования энергетического средства. Однако, приведенные автором работ [3, 4, 5] функциональные зависимости не позволяют конкретизировать оценку конструкции машины с тем, чтобы ее оптимизировать, и могут служить лишь в качестве рамок обобщенных требований.

В работе [6] перспективность конструкций сельскохозяйственной техники рекомен-

ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ ЭНЕРГОСРЕДСТВ НА КОМПЛЕКТОВАНИЕ АГРЕГАТОВ НА ИХ БАЗЕ

дуются оценивать коэффициентом универсализации K_y по сводному количественному показателю:

$$K_y = K_p + K_k + K_a, \quad (1)$$

где: K_p , K_k , K_a – коэффициенты соответственно разноиспользования машин, комбинированности и агрегатируемости.

Недостатками этой методики является нечеткая дифференциация конструктивных возможностей и их фактическая реализация в показателе разноиспользования и т. п.

Авторами работы [7] предложенная методика определения коэффициента универсальности конструкции согласно зависимости:

$$K_{yк} = \sum_i^j Z_{ji} / \sum_i^m Z_{i max}, \quad (2)$$

где: $K_{yк}$ – коэффициент универсальности конструкции; i, j – соответственно i -й репрезентативный показатель j -а машина, а также общее число показателей i в i -й машине; Z_{ji} – количественная оценка i -го репрезентативного показателя в j -й машине; $Z_{i max}$ – максимальная оценка i -го показателя в баллах; m – общее количество показателей для машины данного типа.

Методика определения коэффициента универсальности конструкции за приведенной зависимостью (2) предусматривает определение соотношения между суммами реальных показателей и их максимальными оценками в баллах. Основным недостатком этой методики, по нашему мнению, является использование балльных оценок, которое вносит определенный субъективизм в конечный результат, а также при применении таких оценок оценочные значения $K_{yк}$ могут достигать значений, сравнение которых некорректно. Кроме того, такая методика усложняет оценку конструкции МЕЗ при его дальнейшем использовании в составе МТА разной комплектации и назначения, то есть при условии рассмотрения нескольких технологических процессов.

В работе [8] предложено проводить оценку общей конструкции энергосредства по трем критериям, а именно:

- критерий собираемости МТА:

$$K_c = \frac{m(P)_c + 1}{m(P_n)}, \quad (3)$$

где: K_c – критерий собираемости; $m(P)_c$ – количественный состав множества возмож-

ных подмножеств МТА, которые можно получить при составлении агрегата; $m(P_n)$ – количественный состав множества степени МТА, подсчитанный, выходя только из его состава:

$$m(P_n) = 2^n, \quad (4)$$

где: n – количество модулей, из которых состоит МТА;

- критерий ремонтпригодности МТА:

$$K_p = \frac{m(P)_p + 1}{m(P_n)}, \quad (5)$$

где: K_p – критерий ремонтпригодности; $m(P)_p$ – количественный состав множества возможных подмножеств, которые можно получить при любой последовательности разборки МТА на определенном уровне;

- критерий функциональной насыщенности энергосредства:

$$K_\phi = \frac{M_\phi}{M}, \quad (6)$$

где: M_ϕ – фактическое количество технологических операций, обеспечиваемое энергосредством; M – общее количество операций в технологическом процессе, на которых используется энергосредство.

Однако предложенная в работе [8] методика не была апробирована на реальных технологических процессах, что сделало невозможным дать оценку ее эффективности.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью работы является оценка конструкций энергосредств в реальном технологическом процессе с использованием критериев собираемости, ремонтпригодности и функциональной насыщенности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились с учетом комплексных показателей эффективности машин [9] для агрегатов созданных на базе энергосредств двух наиболее распространенных конструктивно-компоновочных схем, а именно классической и интегральной. Для проведения исследований был принят технологический процесс выращивания зерновых культур, а в нем выделены главные операции, которыми стали: внесение минеральных удобрений; основная обработка почвы; предпосевная обработка почвы; сев; опрыс-

кивание посевов и уборка урожая. Состав агрегатов определяли с учетом исследований ряда авторов [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18], направлениях на обеспечение сельскохозяйственного производства эффективными техническими средствами и с учетом отдельных результатов изложенных в работе [19]. Для каждого варианта определяли значения критериев собираемости и ремонтпригодности в разрезе названных технологических операций и усредняли их в разрезе технологического процесса. Определяли значения критерия функциональной насыщенности энергосредства (в разрезе выше названных операций). Далее на основе полученных значений критериев определяли перспективность исследуемых конструктивно-компоновочных схем для реализации данного технологического процесса. Кроме того, перед проведением исследований условились, что элементами множества-степени некоторого множества модулей, которое характеризует состав МТА, могут быть все существующие реально, хотя бы в стационарных условиях, соединения модулей, которые входят в данный агрегат, за исключением тех, которые получены путем дополнительных (не характерных для данного типа агрегата) разборочно-сборочных операций.

В табл. 1 приведен перечень выше названных операций и для каждой из них приведена компоновочная схема МТА составленного на базе энергосредства классической конструктивно-компоновочной схемы. Схемы агрегатов выбраны те, которые чаще всего используются. Для каждой операции приведено значение критериев собираемости и ремонтпригодности, определенные с использованием зависимостей (3) и (5), а в конце таблицы (последняя строка) – значение критерия функциональной насыщенности энергосредства, определенного согласно зависимости (6) лишь в разрезе технологических операций, принятых к рассмотрению.

Так агрегат для внесения минеральных удобрений состоит из энергетического модуля – *a* (трактора классической конструктивно-компоновочной схемы) и еще двух модулей: технологического – *b*, который предназначен для накопления (кузов) и разбрасывания (тарельчатый раскидывающий орган)

удобрений, а также вспомогательного – *c* (ходовая часть разбрасывателя).

Модули *b* и *c* принадлежат одной машине и являются неразделимыми, то есть, если считать разбрасыватель минеральных удобрений каким-то множеством модулей *M*, то он может быть представлен следующим образом:

$$M = \{b, c\}.$$

При этом МТА, как множество модулей, представлен следующим образом:

$$MTA = \{a, \{b, c\}\}.$$

Такая запись значит, что согласно отношения принадлежности $a \in MTA$; $\{b, c\} \in MTA$; $b, c \in \{b, c\}$, но $b, c \notin MTA$ [20].

В таком случае количественный состав множества реальных подмножеств МТА, получаемый путем сборки (разборки) последнего, при условии, что $P = \{a\}; \{b, c\}; \{a, \{b, c\}\}$ равняется $m(P)_C = m(P)_P = 3$. При этом количественный состав множества-степени $m(P_n) = 2^3 = 8$.

Определенные с помощью зависимостей (3) и (5) количественные значения критериев собираемости и ремонтпригодности равны между собой и равняются 0,5. Это говорит о том, что проанализированный агрегат для внесения минеральных удобрений, созданный по приведенной схеме, владеет низкой собираемостью и ремонтпригодностью из-за наличия в его составе дополнительного модуля – ходовой части, которая не принимает непосредственного участия в обеспечении выполнения технологической операции. Ходовая часть такого исполнения не может быть использована при выполнении другой операции, но отвлекает внимание при обслуживании агрегата и может нуждаться в создании отдельных ремонтных участков.

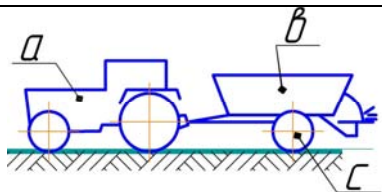
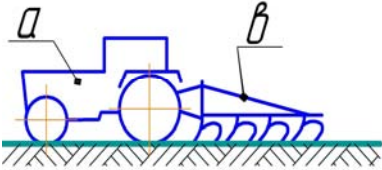
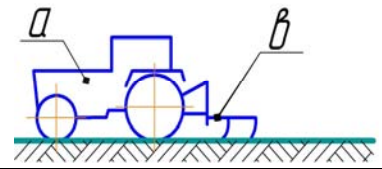
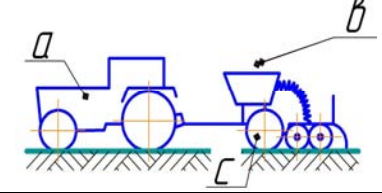
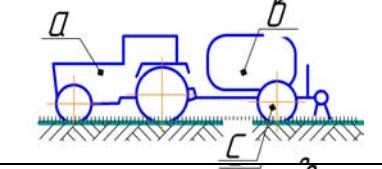
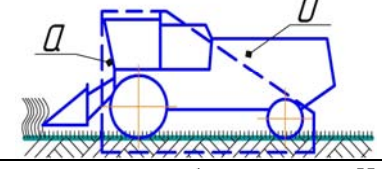
Агрегат для основной обработки почвы (табл. 1) состоит из двух модулей: энергетического – *a* (трактор) и технологический – *b* (плуг). В таком случае агрегат для основной обработки почвы, как множество модулей, может быть записан следующим образом:

$$MTA = \{a, b\}.$$

Тогда реальное количество подмножеств при сборке (разборке) МТА при условии $P = \{a\}; \{b\}; \{a, b\}$ равняется $m(P)_C = m(P)_P = 3$. Количественный состав множества-степени этого агрегата $m(P_n) = 2^2 = 4$.

**ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ
ЭНЕРГОСРЕДСТВ НА КОМПЛЕКТОВАНИЕ АГРЕГАТОВ НА ИХ БАЗЕ**

Таблица 1. Оценка реализации технологического процесса выращивания зерновых культур агрегатами на базе трактора классической конструктивно-компоновочной схемы
Table 1. Evaluation of the implementation process of growing crops on the basis of the tractor aggregates klassicheskoy design-layout scheme

Название технологической операции	Компоновочная схема МТА*	Значение критериев и характерных величин для их определения
Внесение минеральных удобрений		$m(P)_3 = m(P)_p = 3$ $m(P_n) = 8$ $K_3 = K_p = 0,5$
Основная обработка почвы		$m(P)_3 = m(P)_p = 3$ $m(P_n) = 4$ $K_3 = K_p = 1$
Предпосевная обработка почвы		$m(P)_3 = m(P)_p = 3$ $m(P_n) = 4$ $K_3 = K_p = 1$
Сев		$m(P)_3 = m(P)_p = 3$ $m(P_n) = 8$ $K_3 = K_p = 0,5$
Опрыскивание посевов		$m(P)_3 = m(P)_p = 3$ $m(P_n) = 8$ $K_3 = K_p = 0,5$
Уборка урожая		$m(P)_3 = m(P)_p = 1$ $m(P_n) = 4$ $K_3 = K_p = 0,5$
Усредненные значения критериев собираемости K_c и ремонтоспособности K_p		0,70
Критерий функциональной насыщенности энергосредства K_ϕ		0,83

* *a* – энергетический модуль (трактор); *b* – технологический модуль; *c* – вспомогательный модуль

В таком случае значения критериев собираемости и ремонтпригодности равны между собой и равняются 1, что говорит о максимальной собираемости и ремонтпригодности агрегата для основной обработки почвы.

Используя изложенную методику определили значение критериев собираемости и ремонтпригодности и для последних четырех операций (см. табл. 1). Усредненное значение по операциям, где задействованно энергосредство, равно 0,7, что ниже максимально возможного значения равного 1.

Технологический процесс реализован на базе трактора классической конструктивно-компоновочной схемы предусматривает использование самоходного зерноуборочного комбайна, что негативно влияет на значение критерия функциональной насыщенности энергосредства. Согласно зависимости (6) он будет равен $K_{\phi} = 0,83$, что ниже максимального возможного значения равного 1.

Результаты подобных исследований проведенных для аналогичного технологического процесса реализованного агрегатами на базе энергосредства интегральной конструктивно-компоновочной схемы представлены в табл. 2. Во время проведения исследований с энергосредством интегрального типа учитывалась возможность создания комбинированных агрегатов, способных выполнять несколько технологических операций за один проход и возможность агрегатирования с зерноуборочным комбайном прицепным, или таким, у которого жатка и молотильный аппарат навесные, а очиститель прицепной (по образцу КЗР-10).

Результаты проведенных исследований, даже при условии существенного сокращения перечня технологических операций, указывают на то, что конструктивно-компоновочная схема энергосредства вносит значительное влияние на показатели, которые характеризуют эффективность комплектования агрегатов на его базе. Следует заметить, что для выбранных нами технологических операций критерий функциональной насыщенности энергосредства мало информативен. Самые низкие значения этого критерия получены для энергосредства классической схемы, однако, если бы мы не учитывали принятые ранее допущения относительно использования самоходных уборочных машин, то его значения были бы аналогичны тем, что получены для интегральной схемы энергосредства, или наоборот. В таком случае можно утверждать, что анализ с использованием критерия функциональной насыщенности энергосредства за сокращенным перечнем технологических операций является не корректным.

Другая ситуация с критериями собираемости и ремонтпригодности. Их значения существенно зависят от наличия в агрегате

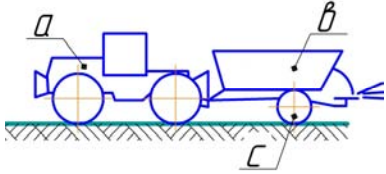
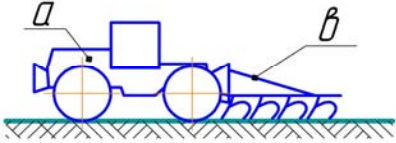
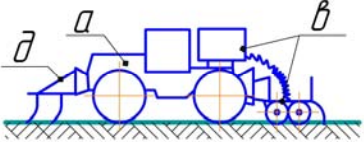
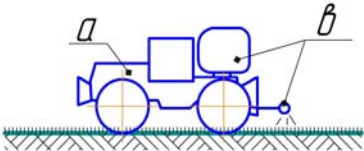
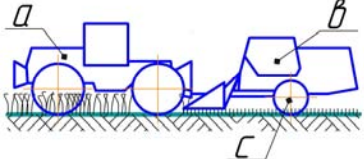
дополнительных модулей, таких как ходовая часть прицепной машины, дополнительные опорные колеса и тому подобное. И при условии рассмотрения всех технологических операций в процессе, значения этих критериев были бы более информативными. Полученные результаты позволяют определить перспективность компоновочных схем энергосредств в минимизации расходов на производство сельскохозяйственной продукции и путей их совершенствования.

В частности, энергосредства интегральной конструктивно-компоновочной схемы имеют лучшие потенциальные возможности в реализации рассмотренного технологического процесса, поскольку значения критериев собираемости и ремонтпригодности находятся на уровне 0,80 против 0,70 для классической конструктивно-компоновочной схемы. Однако, для достижения позитивного результата необходимо обеспечить эффективность функционирования комбинированных агрегатов на их базе и наличие машин и орудий для создания необходимых агрегатов, что и стало одной из основных проблем внедрения в производство тракторов ЛТЗ-155, ХТЗ-120, ХТЗ-16131 и других. При других условиях разница в компоновочных схемах во время рядовой эксплуатации не будет ощутимой.

Таким образом на значение критериев собираемости и ремонтпригодности существенно влияет наличие дополнительных модулей. В таком случае нужно направлять научные и конструкторские работы в направлении минимизации количества этих модулей путем передачи их функций энергосредствам. Например, функции ходовой части прицепной, или полу-прицепной машины должны перейти к ходовой части энергосредства, для чего необходимо работать в направлении оптимизации конструктивно-компоновочной схемы энергосредства и создания эффективных устройств для агрегатирования с тем, чтобы обеспечить возможность энергосредства принять на свою ходовую часть тот или другой технологический модуль.

**ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ
ЭНЕРГОСРЕДСТВ НА КОМПЛЕКТОВАНИЕ АГРЕГАТОВ НА ИХ БАЗЕ**

Таблица 2. Оценка реализации технологического процесса выращивания зерновых культур агрегатами на базе трактора интегральной конструктивно-компоновочной схемы
Table 2. Evaluation of the implementation process of growing crops based on tractor units integrated design-layout scheme

Название технологической операции	Компоновочная схема МТА**	Значение критериев и характерных величин для их определения
Внесение минеральных удобрений		$m(P)_3 = m(P)_P = 3$ $m(P_n) = 8$ $K_3 = K_P = 0,5$
Основная обработка почвы		$m(P)_3 = m(P)_P = 3$ $m(P_n) = 4$ $K_3 = K_P = 1$
Предпосевная обработка почвы и сев		$m(P)_3 = m(P)_P = 7$ $m(P_n) = 8$ $K_3 = K_P = 1$
Опрыскивание посевов		$m(P)_3 = m(P)_P = 3$ $m(P_n) = 4$ $K_3 = K_P = 1$
Уборка урожая		$m(P)_3 = m(P)_P = 3$ $m(P_n) = 8$ $K_3 = K_P = 0,5$
Усредненные значения критериев собираемости K_C и ремонтпригодности K_P		0,80
Критерий функциональной насыщенности энерго-средства K_Φ		1.00

** *a* – энергетический модуль (трактор); *β, δ* – технологические модули; *γ* – вспомогательный модуль

ВЫВОД

В результате проведенных исследований установлено, что конструктивно-компоновочная схема энергосредства имеет значительное влияние на показатели, которые характеризуют эффективность комплектования агрегатов на его базе. Для технологического процесса выращивания зерновых культур установлено, что использование энергосредств интегральной конструктивно-компоновочной схемы, при условии эффективного функционирования комбинированных агрегатов на их базе и наличии ма-

шин и орудий для создания необходимых агрегатов позволит получить лучшие результаты в сравнении с энергосредствами классической схемы, поскольку значения критериев собираемости и ремонтпригодности находятся на уровне 0,80 против 0,70 соответственно. С целью совершенствования конструкций энергосредств нужно ориентировать научные и конструкторские работы в направлении минимизации количественного состава дополнительных модулей путем передачи их функций энергосредству.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pogorilij L.V. 2004: Suchasni problemi zemlerobskoye mexaniki i mashinoznavstva pri stvorenii silskogospodarskoi texniki novogo pokolinnya / L.V. Pogorilij // *Texnika APK*. – №1–2. – 6–7.
2. Libis S.E. 1990: Tendencii razvitiya komponovochnyx sxem i osnovnyx parametrov selskoxozyajstvennyx traktorov za rubezhom: obzornaya informaciya / S.E. Libis, Yu.S. Shapovalov, V.K. Degtyarev. – M.: CNIITEI traktoroselxozmash.. – 86.
3. Kutkov G.M. 2006: O texnologicheskix svojstvax mobilnyx energeticheskix sredstv / G.M. Kutkov // *Praci Tavrijskoi derzhavnoi agrotexnichnoi akademii. naukovе faxove vidannya. Vip. 40. Melitopol*. – 140–148.
4. Kutkov G.M. *Texnologicheskie osnovy mobilnyx energeticheskix sredstv: uchebnoe posobie po kursu «traktory i avtomobili»* / G.M. Kutkov. V 2–x t. Ch. 1. – M.: MGAU im. V.P. Goryachkina, 1999. – 150.
5. Kutkov G.M. *Traktory i avtomobili. teoriya i texnologicheskie svojstva* / G.M. Kutkov. – M.: KolosS, 2004. – 504.
6. Nelyubov A.I. *Universalizaciya selxozmashin* / A.I. Nelyubov, A.M. Kruglyakov // *Traktory i selskoxozyajstvennye mashiny*. №12, 1977 – 28–30.
7. Kalchenko B.I. 1997: *Analiz universalnosti traktorov i samoxodnyx mashin* / B.I. Kalchenko, A.E. Pisarenko, O.M. Sidorenko, V.G. Evtenko // *Traktory i selskoxozyajstvennye mashiny*. – №1, – 21–23.
8. Shkarivskij G.V. 2001: *Do pitannya ocinki konstruktivno-komponovalnix sxem ennergozasobiv* / G.V. Shkarivskij // *Visnik agrarnoi nauki*. – №9, – 52–54.
9. Dubrovin V. 2011: *Kompleksnij pokaznik effektivnosti sistemi mashin u roslinnictvi* / V. Dubrovin, Ye. Krasovski, I. Rogovskij. – *Motrol*. 13B, – 20–24.
10. Belyaev V.I. 2002: *Vliyanie razlichnyx variantov komponovki pochvoobrabatyvayushhego posevnogo agregata na vyhodnye pokazateli* / V.I. Belyaev, S.M. AVdeenko // *Vestnik AGAU. Barnaul: AGAU*,– №2 – 158–159.
11. Belyaev V.I. 2004: *Sovremennye tendencii razvitiya konstrukcij pochvoobrabatyvayushhej i posevnoj texniki* / V.I. Belyaev, N.F. Karpov // *Vestnik AGAU. Barnaul: AGAU*. – №2, – 132–134.
12. Kischak I. 2011: *Components of support of agricultural enterprises industrial hardware* / I. Kischak, V. Havrysh, A. Kulik. – *Motrol*. 13A. – 153–159.
13. Lyubushko N.I. 1997: *Novye tendencii v sozdanii i ispolzovanii kombinirovannyx agregatov* / N.I. Lyubushko, V.N. Zvolinskij // *Traktory i selskoxozyajstvennye mashiny*. – №9, – 7–11.
14. Lyubushko N.I. 1997: *Novye tendencii v sozdanii i ispolzovanii kombinirovannyx agregatov* / N.I. Lyubushko, V.N. Zvolinskij // *Traktory i selskoxozyajstvennye mashiny*. – №10. – 14–16.
15. Rekubrackij G.M. 1986: *Sostoyanie i tendencii razvitiya texnologij i sredstv mexanizacii poseva* / G.M. Rekubrackij. – M.: Vniiteisx. – 60.
16. Roslavcev A.V. *Rasshirenie sfery primeneniya kolesnyx traktorov kl. 3 na osnove tyagovo-energeticheskoy koncepcii* / A.V. Roslavcev // *Traktory i selskoxozyajstvennye mashiny*. – №10, 1998 – 9–12.
17. Semenov V.F. 2006: *Universalnye nesushhie sistemy blochno-modulnogo tipa dlya poverxnostnoj obrabotki pochvy* / V.F. Semenov, G.M. Taran. *Alt. gos. texn. un-t im. Polzunova. Barnaul: Izd-vo ALGTU*. –171.
18. Sinicyn K.D. 1995: *Perspektivy vosproizvodstva «unimogov» v rossii* / K.D. Sinicyn // *Traktory i selskoxozyajstvennye mashiny*. – №12, – 336.
19. Antroshhenkov R. 2013: *Teoreticheskie issledovaniya dinamicheskoy modeli kolesnogo traktora 30 kN* / R. Antroshhenkov. – *Motrol*. 15/7 – 170–175.
20. Sigorskij V.P. 1977: *Matematicheskij aparat inzhenera* / V.P. Sigorskij // – K.: *Texnika*. – 768.

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF
STRUCTURAL-LAYOUT CIRCUITS
POWER UNIT ON ACQUISITION OF
UNITS IN THEIR BASE**

Summary. The results of studies on the evaluation criteria through the collection unit, its maintainability and functional saturation power unit influence constructively layout schemes on the power unit acquisition units on their base.

Key words: mobile energy-parameter means, tractor units, acquisition, evaluation, design-layout scheme, the criterion.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ЗЕРНА УДАРОМ

Валерий Соломка, Алексей Соломка

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Valeriy Solomka, Aleksey Solomka

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. В работе проанализированы различные способы разрушения зерна с учетом его физико-механических свойств, определены аналитические зависимости для расчета основных параметров измельчителей разных типов.

Ключевые слова: разрушение, удар, истирание, скалывание, раздавливание, разрезание, поверхностная теория измельчения, объемная теория измельчения, параметры.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Под измельчением понимают процесс разделения твердого тела на части механическим путем под действием внешних сил, превышающих силы молекулярного сцепления. Энергоемкость измельчения зерновых компонентов составляет от 40 до 70 % общих затрат энергии на процесс приготовления концентрированных кормов [21] и зависит от способа измельчения и физико-механических свойств зерновых материалов, в первую очередь показателей прочности и влажности сырья.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ последних исследований и публикаций свидетельствует, что наиболее перспективным направлением использования концентрированных кормов является организация изготовления комбикормовых смесей непосредственно в хозяйствах из зерна собственного производства и закупленных белково-витаминно-минеральных добавок [7, 8, 12]. При незначительных объемах работ рациональным путем развития отрасли кормопроизводства является разработка малогабаритных фермских агрегатов, в первую очередь, измельчителей, способных удовлетворить потребности мелких хозяйств в ка-

чественных концентрированных кормах соответствующего фракционного состава для различных видов животных с возможностью его регулирования. К сожалению, конструкции современных измельчителей зерновых материалов не позволяют обеспечить надлежащее качество выполнения процесса при малых подачах и его экономичность, в основном, за счет неравномерного поступления материала в камеру измельчения и его интенсивного истирания при вращении в рабочей зоне, что приводит к снижению равномерности дробления и образованию значительного количества мучнистой фракции [2, 3, 7, 8, 10].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение рационального типа и параметров измельчающего устройства малой производительности путем анализа процесса разрушения зерна ударом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как и любой растительный материал, зерно злаковых культур характеризуется высокой нестабильностью физико-механических свойств, особенно показателей прочности, что имеет существенное значение при исследовании процесса его измельчения. Эти свойства меняются в широких пределах в зависимости от культуры, сорта, степени созревания, условий выращивания, влажности и ряда других факторов, не позволяет отнести его к конкретной группе материалов: при различных комбинациях свойств зерно можно классифицировать как упругий, или как пластичный материал.

Учитывая эти особенности, ряд ученых [7, 11, 12, 18] предлагают рассматривать зерно как материал, состоящий из двух основных компонентов: упругого скелета и пла-

стического наполнителя. Под действием внешней нагрузки элементы скелета деформируются, а наполнитель оказывает вязкое сопротивление перемещению частиц скелета, увеличивая тем самым общую прочность и жесткость тела. Предел прочности скелета не зависит от времени действия статической нагрузки, а величина сопротивления вязкого наполнителя со временем уменьшается и прочность зерна определяется только прочностью скелета. При кратковременном воздействии внешней силы (удар) вязкое сопротивление наполнителя достаточно большое, поэтому при динамических нагрузках для разрушения зерна необходимо приложить большую нагрузку, чем при разрушении статическими силами.

Пластическая деформация зерна характеризуется появлением трещин скелета, дальнейшее развитие которых приводит к обособлению отдельных частей зерна. В результате образуется множество мелких частиц с развитой поверхностью. Другими словами, измельчение зерна можно классифицировать как процесс прироста новых поверхностей.

Зерна злаковых культур относятся к капиллярно-пористым коллоидным телам, отдельные части которых (оболочки, зародыш) имеют различную структуру, различные физические и химические характеристики. В отличие от идеально твердых тел, механические свойства зерен в различных направлениях неодинаковы. Кроме того, зерна злаковых культур относятся к органическим телам и имеют сложное строение и конфигурацию. Указанные особенности структуры зерна существенно влияют на механические свойства и на его поведение в процессе деформации и разрушения под действием внешних нагрузок.

Если внешние силы, приложенные к зерну, не превышают определенного предела, то смещение частиц с равновесных положений и возникающие деформации будут обратимыми. После завершения воздействия внешних сил зерно под действием сил межатомного взаимодействия возвращается в первоначальное состояние (упругая деформация).

При нагрузках, превышающих предел упругости, проявляются пластические деформации, сопровождающиеся так называемым «перетеканием» вещества зерна без нарушения его целостности. Пластические деформации, в отличие от других видов деформаций, являются деформациями большого масштаба и развиваются с очень малой скоростью.

Успешное проектирование машин, предназначенных для измельчения зерновых материалов, необходимо осуществлять с учетом их физико-механических и технологических свойств, которые влияют на гранулометрический состав и качество готовой продукции, а также на удельные энергетические затраты.

Как уже упоминалось выше, в технологии приготовления концентрированных кормов самым распространенным и наиболее важным является процесс механического измельчения зерна. Под измельчением понимают разделение материала на мелкие составные части под действием внешних сил. В зависимости от способа действия рабочего органа на материал и вида деформаций, возникающих в нем, измельчение фуражного зерна, аналогично другим материалам [11, 14, 16], может осуществляться в результате удара, истирания, скалывания, раздавливания и разрезания (рис. 1). Следует отметить, что такое деление способов измельчения достаточно условно и в некоторых литературных источниках оно подается несколько иначе [11, 20].

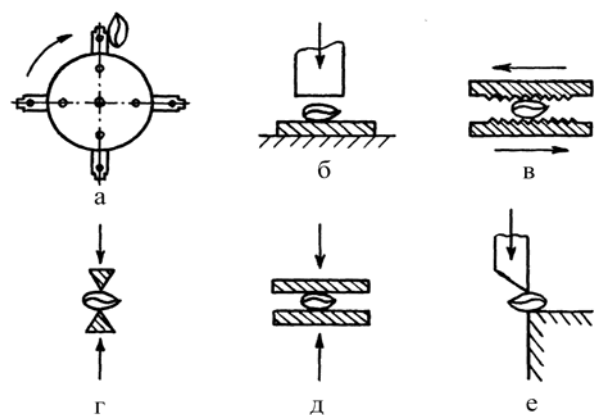


Рис. 1. Основные способы измельчения фуражного зерна [7]:

а, б – удар; в – истирание; г – скалывание; д – раздавливание; е – резание

Fig.1. Basic methods of growing of feed-stuff grainshallow [7]:

а, б – blow; в – detrition; г – chipping; д – flatten; е – shredding

Удар – наиболее распространенный способ измельчения. Различают разрушения свободным ударом (рис. 1,а) и ударом между двумя рабочими органами (рис. 1,б). Эффективность такого способа разрушения материала зависит от кинетической энергии тела, совершающего удар. Стирание (рис. 1,в) – достаточно древний, и наиболее распространенный способ измельчения зерновых материалов, разрушающихся под действием сил сжатия, растяжения и срезания. При скалывании зерно разрушается на части в местах концентрации нагрузок (рис. 1,г), а в процессе раздавливания – под действием нагрузок по всему объему в случае, когда внутреннее напряжение в нем превысит предел прочности сжатия (рис. 1,д).

При разрезании зерно делится на части заданной формы и размеров в результате разрушающего действия режущих рабочих органов (рис. 1, е).

Целесообразность и эффективность применения того или иного способа разрушения определяется физико-механическими свойствами зернового материала и требованиями к его гранулометрическому составу.

В зависимости от конструктивного оформления рабочих органов измельчителей их технологический процесс может осуществляться по одному, или одновременно по нескольким из указанных способов. Измельчения прочных и хрупких материалов целесообразно осуществлять раздавливанием и изломом, а крепких и вязких – раздавливанием и истиранием. Крупное измельчение мягких и хрупких материалов желателно выполнять скалыванием, среднее и мелкое – ударом.

В промышленности измельчение материалов проводят, как правило, сухим способом. Реже применяют влажный способ измельчения, когда в загрузочные устройства машин распыляют воду для уменьшения пылеобразования [13].

Как правило, в измельчителях зерна применяют следующие комбинации различных способов его разрушения: разрушение ударом и истиранием при воздействии на объект рабочих органов, которые быстро вращаются; разрушение сжатием и сдвигом (скалыванием или крошением) при воздействии на объект двух поверхностей, одна из которых

движется быстро, а другая движется с незначительной скоростью, или остается неподвижной; разрушение сжатием, смещением и растиранием при воздействии на объект двух поверхностей, одна из которых подвижная, а другая неподвижная; разрушение раздавливанием или прокаткой (сжатием) частиц между двумя поверхностями, движущимися с одинаковой скоростью. При выборе конкретной комбинации способов измельчения фуражного зерна с целью приготовления концентрированных кормов выходят из необходимого модуля помола с минимально возможным отклонением размера отдельных частиц от номинального значения и отсутствии пылевидной фракции в измельченном продукте.

Разрушение ударом и истиранием характеризуется высокой универсальностью как в отношении возможности измельчения различных видов материалов, так и в отношении степени их измельчения. Оно нашло широкое применение в угольной, комбикормовой, химической, строительной и других отраслях промышленности и при измельчении и смешивании силосованных кормов [3,4,6,13,18]. К недостаткам этого принципа следует отнести сравнительно высокие удельные затраты энергии (в основном, на вращение и удаление продукта) и наличие в измельченном продукте значительного количества пылевидной фракции [2,8,10]. В связи с этим, применение данного принципа с целью производства концентрированных кормов не всегда является рациональным.

Разрушение сжатием, смещением и растиранием характерно для жерновых мельниц и позволяет получить различную степень измельчения сухого зерна. Оно применяется для измельчения сухих не маслянистых зерновых материалов и мокрого измельчения, например, для изготовления соевого молока, в сахароваренной и целлюлозно-бумажной отраслях промышленности. Конструктивно жерновые мельницы очень простые, но громоздкие, малопродуктивные, приводят к слишком высокому нагреву продукта и значительно переизмельчают зерновой материал. Поэтому, при приготовлении концентрированных кормов они практически не применяются [3, 8, 10, 18]. Различают две концепции измельчения – поверхностную и объ-

емную. Основы поверхностной концепции в 1867г. были заложены немецким ученым П. Риттенгером [14], согласно которой работа измельчения прямо пропорциональна площади вновь образованной поверхности [12], а удельная работа, необходимая для измельчения тела, пропорциональна поверхностной энергии измельчаемого тела [11]. Работа, затраченная на измельчение тела определяется за выражением [18]:

$$A_R = K_R \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \cdot M, \quad (1)$$

где: K_R - коэффициент пропорциональности Риттенгера, Дж м;
 D – средний размер частиц до измельчения, м;
 d – средний размер измельченных частиц, м;
 M – количество измельчаемых частиц, шт.

Экспериментальные исследования показали, что поверхностная теория адекватно описывает процесс лишь при тонком измельчении, когда в результате образуется продукт с высокоразвитой удельной площадью поверхности [11]. Для грубого измельчения В.Л. Кирпичев в 1874г. предложил объемную теорию, согласно которой работа измельчения прямо пропорциональна объему деформированной части тела [13]. В литературных источниках данную теорию еще называют гипотезой немецкого профессора Ф. Кика [14], который опубликовал свой труд в 1885 году. Согласно объемной теории, работа, затраченная на измельчение тела составляет [18]:

$$A_K = K_K \cdot \left(\lg\left(\frac{1}{d}\right) - \lg\left(\frac{1}{D}\right) \right) \cdot M, \quad (2)$$

где: K_K -коэффициент пропорциональности Кирпичева – Кика, Дж.

Объемная теория Кирпичева – Кика дает более точные результаты при расчетах процессов грубого измельчения, при которых энергия, в основном, расходуется на упругие деформации тела, а удельная площадь поверхности изменяется незначительно [17]. Обе теории достаточно односторонние и не учитывают влияния конкретных условий процесса измельчения на его энергоемкость. В связи с этим, в 1952г. Ф. Бонд предложил

комбинированную теорию измельчения. Он предположил, что работа, которая затрачена на измельчение тела, пропорциональна среднему геометрическому из его объема и площади поверхности [18]:

$$A_B = K_B \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right), \quad (3)$$

где: K_K – коэффициент пропорциональности Бонда, Дж.

Позже ученые А.К. Рундквист и Р. Чарльз общими усилиями нашли эмпирическую зависимость, которая позволила несколько усовершенствовать рассмотренные теории:

$$\begin{aligned} A_R &= K_R \cdot D^2, \\ A_K &= K_K \cdot D^3, \\ A_B &= K_B \cdot D^{2,5}. \end{aligned} \quad (4)$$

Полученные эмпирические зависимости многозначные, но не инвариантны по отношению к условиям эксперимента и выражают лишь определенные варианты протекания процесса измельчения. Учитывая, что при измельчении одновременно получаем частицы различных размеров, П.А. Ребиндер в 1928г. предложил объединить обе концепции в одну и рассматривать общую работу измельчения как сумму двух составляющих [14]:

$$A_{RB} = \omega \cdot \Delta S + A_D \cdot \Delta V, \quad (5)$$

где: ω – отношение удельной энергии к единице поверхности тела, Дж/м²;
 ΔS – площадь поверхности частиц, образованных в процессе измельчения, м²;
 A_D – отношение удельной работы упругой и пластической деформации в единице объема твердого тела, Дж/м³;
 ΔV – объем тела, подлежащего деформации, м³.

Первая составляющая выражения (5) представляет собой энергию, которая расходуется на образование новых поверхностей при разрушении тела, а второй элемент выражения отображает работу деформации в объеме тела [18].

В развернутом виде формула закона измельчения П.А. Ребиндера имеет следующий вид [12]:

$$A_{RB} = A_0 + p \cdot \frac{\sigma_p^2 \cdot V}{2 \cdot E} + \omega \cdot \Delta S \cdot i^n, \quad (6)$$

где: A_0 – работа, затраченная на деформацию и износ рабочих органов дробильных машин, Дж;

p – количество циклов деформации (разрушения) частиц материала;

σ_p – разрушающее напряжение измельчаемого материала;

E – модуль упругости измельчаемого материала;

V – объем измельчаемого материала;

ω – отношение удельной энергии к единице поверхности тела;

ΔS – площадь поверхности частиц, образованных в процессе измельчения;

i^n – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности дробильных машин и условия процесса измельчения.

Приведенные выше выражения нельзя использовать при расчетах, в результате которых необходимо найти абсолютное значение работы, так как неизвестны значения коэффициентов пропорциональности. Эти формулы применяют лишь для сравнительных расчетов с целью выявления относительной величины работы, которая расходуется на измельчение [19].

В 1952 г. С.В. Мельников, опираясь на основной закон измельчения П.А. Ребиндера, предложил эмпирическую зависимость для определения общей работы, которая расходуется на измельчение зерна [14]:

$$A_M = C_{np} [C_v \cdot \lg \eta^3 + C_s (\eta - 1)] , \quad (7)$$

где: C_{np} – безразмерный коэффициент, зависящий от принципа действия и конструктивных особенностей измельчителя (определяется экспериментально);

C_v – коэффициент, определяющий работу упругих деформаций на единицу массы материала, кДж/кг;

η – степень измельчения материала;

D – средний размер зерна до измельчения, мм;

d – средний размер частицы зерна после измельчения, мм;

C_s – коэффициент, определяющий работу по созданию новых поверхностей при измельчении на единицу массы материала, кДж/кг.

Значения коэффициентов в выражении (7) выбирают из справочной литературы с учетом свойств материала и его влажности [1,9,12]. На их величину оказывают значительное влияние структурно-механические свойства зерна, особенно его размеры и плотность.

Выражение (7) предназначено только для определения величины работы измельчения с целью использования ее значения как критерия энергоемкости при сравнении дробильных машин, а также при выборе наиболее эффективных технологических режимов их работы [20].

Анализ теоретических исследований показал, что существующие выражения для определения работы измельчения зернового материала не могут быть использованы для определения ее абсолютных значений.

Пропускная способность молотковых дробилок определяется выражением [7]:

$$Q_p = L \cdot l_p \cdot \gamma_{ш} \cdot I , \quad (8)$$

где: Q_p – пропускная способность дробилки, кг/с;

L – ширина рабочей камеры, м;

l_p – длина развертки решетчатой поверхности, м;

$\gamma_{ш}$ – плотность перерабатываемого слоя сырья, кг/м³;

I – интенсивность просеивания готового продукта через сито, м/с;

$d_{от}$ – размер отверстий сита, м;

$i_{от}$ – количество отверстий на единицу площади решета, м²;

v_r – радиальная скорость сырья в камере, м/с;

f_p – степень заполнения камеры измельчения сырьем;

φ – угол наклона абсолютной скорости сырья к радиусу камеры.

$$I = d_0^2 \cdot i_0 \cdot v_r \cdot (1 - f_p) \cdot (1 - 0,215 \cos \varphi) .$$

Современные молотковые дробилки обеспечивают эффективную работу с пропускной способностью от 0,15 до 6,0 кг/с при скорости вращения ротора в пределах 35...120 м/с [14, 18, 20, 23]. Качество работы дробилок существенно зависит от формы и параметров молотков [5], их массы и скорости [15, 17, 22], размеров камеры измельчения [5] и ряда других факторов.

Количество молотков на роторе характеризуется коэффициентом плотности K_r , который определяет их общую толщину, которая приходится на единицу ширины камеры измельчения [15]:

$$K_r = \frac{\delta \cdot Z_m}{L}, \quad (9)$$

где: δ – толщина молотка, м;

Z_m – количество молотков на роторе, шт.

L – ширина камеры измельчения, м.

Повышение качества измельчения достигается уменьшением зазора между концами молотков и решетом до минимального значения [2, 5], но с точки зрения безопасности работы дробилки он не должен быть меньше 20 мм [13, 15, 16, 19]. В процессе работы молотки изнашиваются, их масса меняется и зазор растет, что негативно влияет на качество измельчения и динамику дробилки в целом. Для уменьшения износа молотков предложен ряд технических решений [5,6,8,14], однако их эффективность недостаточно высока.

Процесс измельчения зернового материала молотковой дробилкой с учетом положений марковских процессов можно описать математической моделью [15]:

$$P_n(t) = e^{-\lambda \cdot \ln t} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot \ln t})^{n-1}, \quad (10)$$

где: $P_n(t)$ – вероятность образования n частиц измельченного зерна за время t ;

e – основание натурального логарифма;

λ – константа процесса.

Применение молотковых дробилок при малой подаче зерна неэффективно и сопровождается образованием значительного количества пылевидной фракции. Кроме того, их конструкция не учитывает физико-механические особенности различных видов зерновых материалов.

ВЫВОДЫ

Способ измельчения и тип измельчителя, а также параметры и режимы его работы существенно зависят от физико-механических свойств зерновых материалов и определяются из условий минимизации затрат энергии при разрушении. Наиболее существенно на процесс разрушения зерна влияют его механические свойства, которые зависят от культуры, сорта, влажности, размеров и степени созревания, а также способа

приложения механической нагрузки (удар, сжатие, истирание и т.д.).

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показал, что измельчение ударом с минимизацией трения зерна по рабочим органам измельчителя значительно уменьшает содержание пылевидной фракции в готовом продукте и является наиболее энергосберегающим способом по сравнению с другими. Возникла необходимость в проведении дополнительных исследований по обоснованию конструкции, параметров и режимов работы измельчителя зерна, способного обеспечить необходимое качество измельчения согласно зоотехнических требований при минимальных энергетических затратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adler Yu.P. 1986: Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh resheniy / Yu.P. Adler, Ye.V. Makarov, Yu.V. Granovskiy. – М.: Nauka. – 215.
2. Aleshkin V.R. 1999: Issledovaniye vozdushnogo rezhima drobilki furazhnogo zerna / V.R. Aleshkin, N.F. Barnakov, M.S. Poyarkov // Energoberegayushchiye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva mekhanizatsii zhivotnovodstva Severo-Vostoka Rossii: Mater. nauchno-prakt. konf. – Kirov, – Т.2. – 57–63.
3. Altshteyn O.Ya. 1937: Razmolno-drobnilye mashiny kombikormovogo proizvodstva / O.Ya. Altshteyn, V.I. Fedeyev. – М. – 165.
4. Belyankin F.P. 1957: Deformativnost i soprotivlyayemost drevesiny kak uprugovyazko-plastichnogo tela / F.P. Belyankin, V. F. Yatsenko. – К.: Izd. AN. USSR. – 200.
5. Boyko A.I. 1992: Povysheniye dolgovechnosti rabochikh organov kormoizmelchayushchikh mashin konstruktorskotekhnologicheskimi metodami: dis. kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / A.I. Boyko. – К.: – 411.
6. Bondarenko O., Rakul O. 2008. Obosnovaniye kinematiceskikh parametrov pochatkotdelitel'nogo apparata passivnogo vibratsionnogo deystviya // MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa.–Lublin,–№10V. 124–132.
7. Borshchov V.Ya. 2004: Oborudovaniye dlya izmelcheniya materialov: drobilki i melnitsy:

- uchebnoye posobiye / V.Ya. Borshchev.– Tambov: izd. TGTU. – 75.
8. Butkovskiy V.A. 1981: Tekhnologiya mukomolnogo, krupyanogo i kombikormovogo proizvodstva / V.A. Butkovskiy. – M., Kolos. – 256.
9. Vrasskiy N.V. 1968: Issledovaniya nekotorykh standartnykh sortov pshenits SSSR na prochnost zerna pri razdavlivanii / N.V. Vrasskiy // Sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot Rostovskogo otdeleniya VNIIZ, 1938, vyp. 2.
10. Danilin A.S. Proizvodstvo kombikormov za rubezhom / A.S. Danilin. – M.: Kolos,. – 336.
11. Demidov P.G. 1968: Tekhnologiya kombikormovogo proizvodstva / P.G. Demidov. – M.: Kolos. – 224.
12. Zavrazhnov A.I. 1990: Mekhanizatsiya prigotovleniya i khraneniya kormov: [Uchebniki i ucheb. posobiya dlya studentov vyssh. ucheb. zavedeniy] / A.I. Zavrazhnov, D.I. Nikolayev. – M.: Agropromizdat. – 336.
13. Kirpichev V.L. 1874: / V.L. Kirpichev // Zhurnal Russkogo khimicheskogo obshchestva i fizicheskogo obshchestva, gl. VI, otdel 1. Chast fizicheskaya, vyp. №IX.
14. Melnikov S.V. 1967: Issledovaniye protsessa razrusheniya zerna udarom / S.V. Melnikov, F.G. Plokhov // Zap. LSKhI – T.108. – Vyp. 2. – 212–218.
15. Revenko Yu.I. 2007: Udoskonalennyya tekhnologichnogo protsesu aparatu dlya prigotovannyya kombikormiv v umovakh gospodarstv: dis. kandidata tekhn. nauk : 05.05.11 / Revevenko Yuliy Ivanovich. – K.: – 154.
16. Sidenko P.M. 1977: Izmelcheniye v khimicheskoy promyshlennosti / P.M. Sidenko. – [2-e izd., pererab]. – M.: Khimiya. – 368.
17. Solomka O.V. 2009: Analiz protsesu podribnennyya zernovikh materialiv / O.V. Solomka, V.P. Kovbasa // Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka: Vdoskonalennyya tekhnologiy ta obladnannyya virobnitstva produktsii tvarinnitstva. – Kharkiv. – Vip. 78. – 132–140.
18. Syrovatka V.I. 1963: Issledovaniye osnovnykh zakonomernostey protsessa izmelcheniya zerna v molotkovoy drobilke kormov: dis. kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / V.I. Syrovatka – M. – 129.
19. Timoshenko S.P. 1975: Teoriya uprugosti / S.P. Timoshenko, Dzh. Gudyer. – M.: Nauka. – 575.
20. Shagdyrov I.B. 2001: Osnovnyye trebovaniya k izmelcheniyu furazhnogo zerna pered vskarmlivaniyem. / I.B. Shagdyrov, A.I. Darkhanov, M.B. Baldanov // Buryatskiye agrarnyye informatsionnyye novosti. – №5. – 34–38.
21. Shpakov A.S. 1993: Energeticheskaya effektivnost zernovykh kultur / A.S. Shpakov, N.V. Grishina // Kormoproizvodstvo. – №1. – 5–6.
22. Lasher R.E. 1959: Hammer mill / R.E. Lasher // American miller. – №3. – 18.
23. Cherednichenko I. 2009: Effektivnost raboty pnevмотransportiruyushchikh mashin pri vibratsionnom vozdeystvii na aerodnishche smesitelnykh kamer // MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa.– Simferopol – Lublin, – №11B. – 156–163.

FAILURE ANALYSIS OF GRAIN BLOW

Summary. This paper analyzes different ways of destroying grain based on its physical and mechanical properties are determined according to the analytical calculation of the basic parameters of different types of shredders.

Key words: destruction, impact, abrasion, chipping, crushing, cutting, surface grinding theory, body theory grinding parameters.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВРАЩАТЕЛЕЙ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА

Анатолій Панченко, Анжела Волошина, Ігорь Панченко
Таврический государственный агротехнологический университет
Украина, г. Мелитополь, просп. Богдана Хмельницкого, 18
Anatoliy Panchenko, Angela Voloshina, Igor Panchenko
Taurian State Agrotechnological University
Avenue Bogdan Khmelnytskoho, 18, Melitopol, Ukraine

Аннотация. Рассматривается методология проектирования гидравлического вращателя планетарного типа с учетом методик определения геометрических параметров элементов его вытеснительной и распределительной систем, позволяющих определять количественную характеристику изменения зазоров между зубьями вытеснителей на основании изменения геометрических параметров элементов вытеснительной системы и количественную характеристику изменения площади проходного сечения его распределительной системы на основании изменения геометрических параметров элементов распределительной системы.

Ключевые слова: гидравлический вращатель планетарного типа, вытеснительная система, распределительная система, методика проектирования.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Непрерывно возрастающие масштабы производства мобильной техники делают особенно актуальным вопрос, гидрофикации ее активных рабочих органов. В мировой и отечественной практике создания гидравлических систем определилась тенденция применения высокомоментных низкооборотных гидровращателей вместо высокооборотных гидромоторов с редукторами.

Современные высокотехнологичные гидравлические вращатели нашли применение в приводах погрузчиков, гидравлических кранов, эвакуаторов, экскаваторов, бульдозеров, горных, лесозаготовительных, сельскохозяйственных, дорожных машин и другой техники. Так же они широко применяются для бурения в широком спектре строительных работ.

Анализ гидравлических схем гидроагре-

гатов различных типов мобильной техники показал [1], что как правило, такие гидроагрегаты представлены тремя основными гидравлическими элементами: насос, высокомоментный низкооборотный гидромотор и предохранительный клапан. При этом, в качестве высокомоментного гидромотора используются различные типы гидромашин, в том числе гидравлические вращатели планетарного типа.

Использование гидравлических вращателей планетарного типа в приводах активных рабочих органов мобильной техники ограничено невысокими выходными параметрами существующих гидравлических вращателей, основным недостатком которых являются низкие значения выходных параметров, обусловленные несовершенством конструкции элементов вытеснительной и распределительной систем.

Улучшение выходных характеристик гидровращателей планетарного типа во многом зависит от рационального проектирования их вытеснительных и распределительных систем.

В этой связи разработка методологии проектирования гидравлических вращателей планетарного типа с учетом методик проектирования элементов их вытеснительных и распределительных систем является одной из важнейших задач при проектировании гидровращателей.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования причин неудовлетворительной работы гидровращателей планетарного типа [6–9], обусловленных несовершенством конструкции формы элементов вытеснительной системы [6–10], а также геомет-

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВРАЩАТЕЛЕЙ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА

рии проточных частей в распределительной системе [6–8, 11] позволили выявить две основные системы, лимитирующих их эффективную работу: вытеснительную и распределительную системы.

Анализ кинематики движения вытеснительных элементов [2–5] гидровращателей планетарного типа (шестерни и направляющей) при распределении потоков рабочей жидкости в рабочие камеры гидровращателя, показывает, что качественная работа вытеснительной системы определяется величиной зазоров между зубьями вытеснителей, образующими рабочие камеры. Поэтому, при проектировании элементов вытеснительной системы гидровращателей планетарного типа большое значение имеет определение рациональных значений зазоров (определяющихся геометрическими параметрами самих вытеснителей – шестерни и направляющей). Одним из основных требований к проектированию распределительных систем гидровращателей планетарного типа является соответствие площади проходного сечения объему рабочих камер гидровращателя (определяющийся геометрическими параметрами распределительной системы – крышек и шестерни).

Таким образом, при проектировании высокомоментного гидровращателя планетарного типа необходимо определить геометри-

ческие параметры элементов вытеснительной системы с целью улучшения заполнения рабочих камер, образованных вытеснителями, рабочей жидкостью и распределительной системы с целью увеличения пропускной способности непосредственной распределительной системы.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Улучшение выходных характеристик гидровращателя планетарного типа путем разработки методологии их проектирования с учетом методик проектирования элементов вытеснительной и распределительной систем для улучшения заполнения рабочей жидкостью рабочих камер гидровращателя планетарного типа и увеличения его пропускной способности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ конструктивных особенностей [12] показывает (рис. 1), что если не считать уплотнительных и соединительных элементов, то гидровращатель состоит из четырех основных деталей – охватывающего вытеснителя 3 (направляющей), установленного эксцентрично внутри направляющей охватываемого вытеснителя 2 (ротора) и двух крышек 4 и 11.

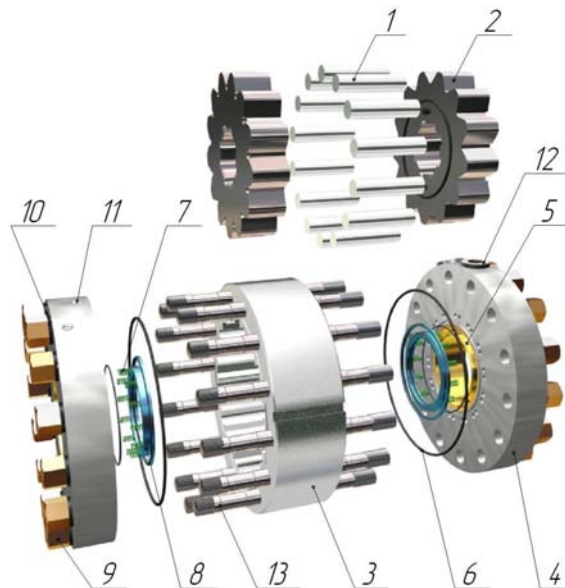


Рис. 1. Гидравлический вращатель планетарного типа:

1 – ролики; 2 – ротор; 3 – направляющая; 4, 11 – крышка; 5 – втулка; 6 – уплотнительное кольцо; 7 – пружины; 8 – втулка; 9 – гайки; 10 – шайбы; 12 – пробки; 13 – стяжные болты

Fig. 1. Hydraulic rotator planetary type

Охватывающий вытеснитель 3 (направляющая) с охватываемым вытеснителем 2 (ротором) образуют зубчатую пару с внутренним гипоциклоидальным зацеплением, выполняющую две функции: обкатки и герметизации зоны слива от зоны нагнетания. Профиль зубьев шестерни круговой. Между зубьями охватываемого вытеснителя 2, который выполняет роль распределителя, выполнены углубления (окна). Крышка 4, на которой выполнены распределительные окна, выполняет функцию золотникового устройства. Крышки 4 и 11 прикреплены к направляющей 3 стяжными болтами 13 с гайками 9. Торцевой зазор между охватываемым вытеснителем 2 и крышками 4, 11 уплотнен резиновыми и чугунными кольцами 6.

Основным отличием гидровращателя от гидромотора является [12] эксцентричное движение направляющей (корпуса). Вращатель не имеет выходного вала, и конструктивно выполнен таким образом, что соединяется с валом активного рабочего органа гидрофицируемой машины при помощи шлицевого отверстия выполненного в охватываемом вытеснителе (роторе).

Отличительной особенностью гидровращателей планетарного типа является то, что в этих гидромашинах вытеснительная и распределительная системы выполнены так, что элементы вытеснительной системы одновременно являются элементами распределительной системы [2–5] (рис. 2). Охватывающий вытеснитель 1 (направляющая) с охватываемым вытеснителем 2 (шестерней) образуют зубчатую пару с внутренним гипоциклоидальным зацеплением (рис. 2), выполняющую две функции: обкатки и герметизации зоны слива от зоны нагнетания. Профиль зубьев шестерни круговой.

Планетарное движение гидровращателя представлено следующим образом [2–5]: внутри неподвижного вытеснителя 1 (направляющей) вращается охватываемый вытеснитель 2 (шестерня). Происходит вращение за счет действия гидравлического поля, которое поджимает шестерню. Двигается гидравлическое поле в сторону противоположную движению шестерни и за один оборот гидравлического поля шестерня поворачивается на один зуб относительно направляющей.

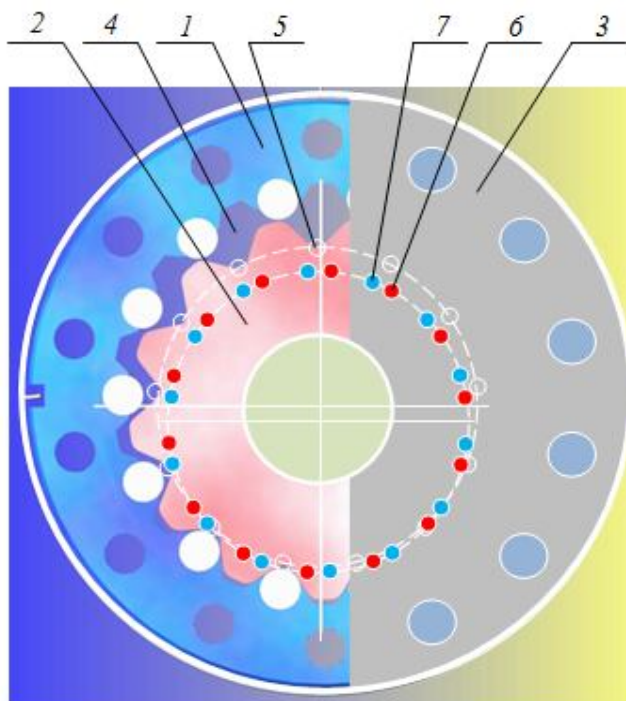


Рис. 2. Элементы вытеснительной и распределительной систем гидравлического вращателя планетарного типа:

1 – корпус (направляющая); 2 – ротор (шестерня); 3 – крышки; 4 – рабочие камеры; 5 – окна распределительного устройства; 6 – окна нагнетания; 7 – окна слива золотникового устройства

Fig. 2. Elements of exclusion and distribution systems hydraulic rotator planetary type

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВРАЩАТЕЛЕЙ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА

Шестерня 2 движется параллельно направляющей, по окружности, которую образует направляющая 1.

Работу непосредственной распределительной системы схематично можно представить следующим образом: рабочая жидкость под давлением поступает в отверстия нагнетания 6 (рис. 2), выполненные в правой и левой крышках 3. Далее жидкость через распределительные отверстия 5, выполненные в шестерни поступает в рабочие камеры 4, которые образованы внутренней поверхностью направляющей 1 с роликами и внешней поверхностью шестерни 2. Под действием давления жидкости направляющая 1 начинает осуществлять сложное плоскопараллельное движение, обкатываясь по шестерне 2 и одновременно сообщая ей вращательное движение.

Крышки 3 (рис. 2) представляют собой многофункциональное устройство, образующее торцевые замыкатели с элементами распределения рабочей жидкости (золотниковое устройство). Для обеспечения фазной подачи рабочей жидкости в рабочие камеры внутренние поверхности золотникового устройства (крышек 3) имеют зеркальное отражение. Характерное (плоскопараллельное с вращением) движение шестерни 2 относительно торцевых поверхностей золотникового устройства (крышек 3) обуславливает перемещение распределительных отверстий 5, выполненных в шестерни 2 (распределительное устройство) по торцевой поверхности крышки 3, в котором выполнены отверстия нагнетания 6 и слива 7 золотникового устройства. Все это и представляет собой непосредственную распределительную систему.

При проектировании высокомоментного гидровращателя планетарного типа необходимо определить геометрические параметры элементов вытеснительной и распределительной систем с целью улучшения заполнения рабочих камер, образованных элементами его вытеснительной системы, рабочей жидкостью, а также увеличения пропускной способности непосредственной распределительной системы.

1. Задавшись количеством зубьев Z_u шестерни и $Z_{напр}$ направляющей определя-

ются углы расположения (рис. 3):

– зубьев шестерни

$$\gamma_{u_i} = \gamma_{1u} + \frac{2\pi}{Z_u}(i-1), \quad (1)$$

– зубьев направляющей

$$\gamma_{n_i} = \frac{2\pi}{Z_{напр}}(i-1). \quad (2)$$

2. Задавшись радиусом расположения центров зубьев шестерни R_u определяется радиус R_n расположения центров зубьев направляющей

$$R_n = R_u + \frac{1}{2} \cdot [r_u + r_n + \sqrt{(r_n + r_u)^2 - \left(R_u \cdot \sin \frac{\pi}{Z_u}\right)^2} - R_u \cdot \left(1 - \cos \frac{\pi}{Z_u}\right)]. \quad (3)$$

Считая, что зазор между соответствующими зубьями шестерни и направляющей в точках контакта K (рис. 3) равен нулю определяются радиусы:

– зубьев шестерни:

$$r_u = R_u \cdot \sin \frac{\pi}{Z_u} - r_n; \quad (4)$$

– зубьев направляющей:

$$r_n = \sqrt{R_u^2 + (R_n - e)^2 - 2 \cdot (R_n - e) \cdot R_u \cdot \cos \frac{\pi}{Z_u}} - r_u. \quad (5)$$

Определив геометрические параметры шестерни и направляющей определяется эксцентриситет:

$$e = R_n - R_u - \sqrt{(r_n + r_u)^2 - \left(R_u \cdot \sin \frac{\pi}{Z_u}\right)^2} + R_u \cdot \left(1 - \cos \frac{\pi}{Z_u}\right). \quad (6)$$

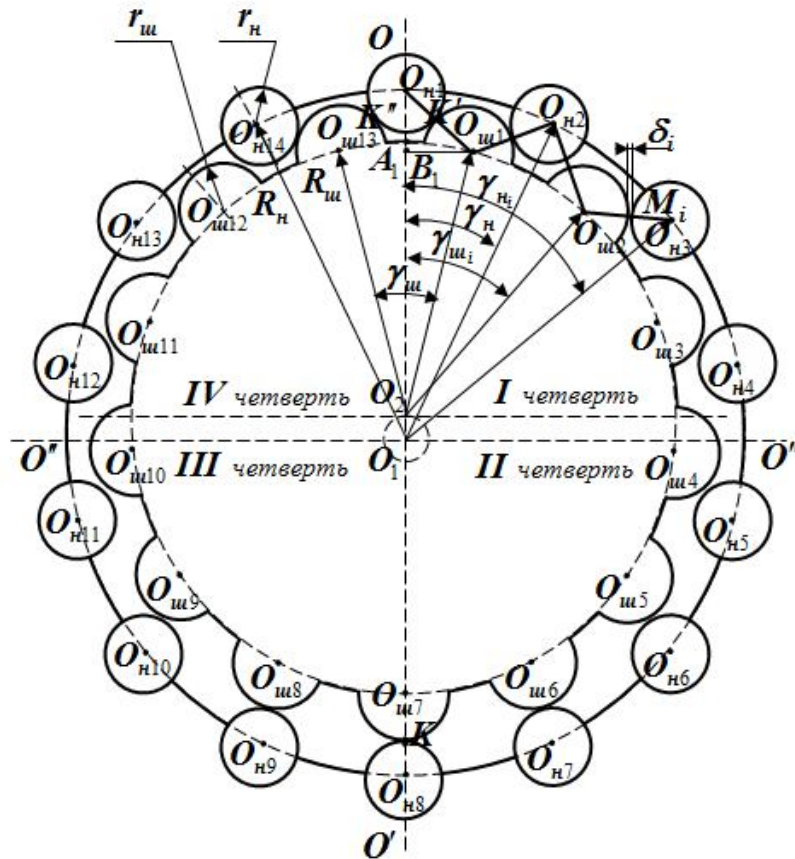


Рис. 3. Расчетная схема определения геометрических параметров вытеснительной системы (направляющей и шестерни) гидравлического вращателя планетарного типа
Fig. 3. Design scheme of the geometric parameters displacement system (guides and gears) hydraulic planetary rotator

и зазоры между контактирующими зубьями элементов вытеснительной системы:

$$\delta_i = M_i - (r_n + r_{ш}), \quad (7)$$

где: M_i – межцентровое расстояние между центром зуба направляющей и центром зуба шестерни, зависящее от четверти в которой расположены зубья направляющей и шестерни [13].

Причем, если $\delta \leq 0$, то направляющая и шестерня соединяются с натягом, а если $\delta > 0$ – с зазором.

Межцентровое расстояние между центром зуба направляющей и центром зуба равняется [14]:

$$M_i = \sqrt{A_i^2 \pm B_i^2}, \quad (8)$$

где: $A_i = R_n \cdot \cos \gamma_{нi} \mp R_{ш} \cdot \cos \gamma_{шi} \mp e$,

$$B_i = R_n \cdot \sin \gamma_{нi} \mp R_{ш} \cdot \sin \gamma_{шi}.$$

3. После того как все геометрические параметры элементов вытеснительной си-

стемы определены необходимо определить геометрические параметры элементов распределительной системы (рис. 4).

4. Зная радиус $R_{ш}$ расположения центров зубьев шестерни определяется радиус $R_{ш}^0$ расположения распределительных окон:

$$R_{ш}^0 = R_{ш} - r_p. \quad (9)$$

5. Радиусы r_p распределительных окон шестерни и r_n окон нагнетания и $r_{сл}$ слива золотника выбираются так, чтобы выполнялось условие $M_i' \geq r_p + r_{сп} + 0,02$ для разграничения зоны нагнетания и слива.

6. Зная количество зубьев $Z_{ш}$ шестерни, и соответственно, количество распределительных окон $Z_{ш} = Z_p$ шестерни, а также $Z_{напр}$ направляющей, и соответственно, количество окон $Z_{напр} = Z_n$ нагнетания и $Z_{напр} = Z_{сл}$ слива крышки определяются углы

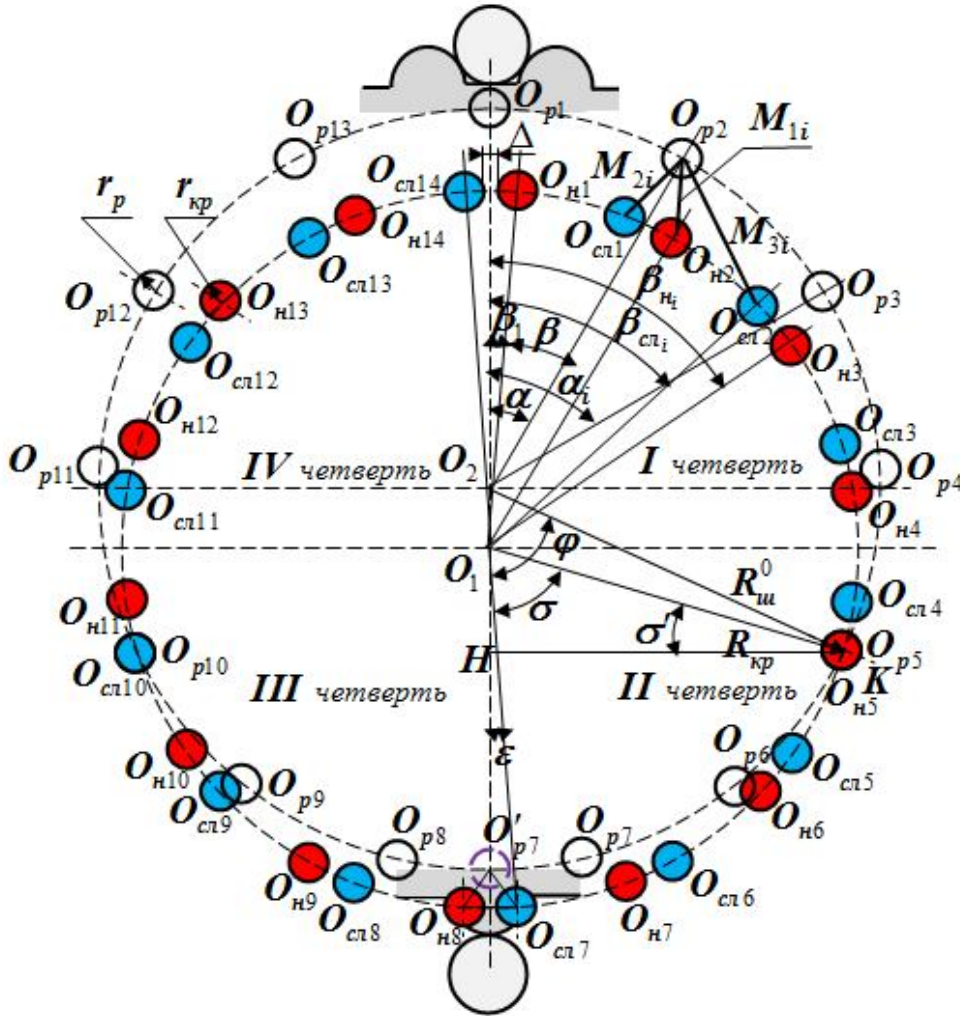


Рис. 4. Расчетная схема определения геометрических параметров распределительной системы (крышек и шестерни) гидравлического вращателя планетарного типа

Fig. 4. Design scheme of the geometric parameters distribution system (caps and gears) hydraulic planetary rotor

расположения:

– распределительных окон шестерни:

$$\alpha_i = \frac{2\pi}{Z_p}(i-1), \quad (10)$$

– окон нагнетания крышки:

$$\beta_{н_i} = \beta_1 + \frac{2\pi}{Z_n} \cdot (i-1), \quad (11)$$

– окон слива крышки:

$$\beta_{сл_i} = \frac{2\pi}{Z_{сл}} \cdot (i-1) - \beta_1. \quad (12)$$

7. Зная радиус $R_{ш}^0$ расположения распределительных окон шестерни определяется радиус $R_{кр}$ расположения окон нагнетания и слива крышки:

$$R_{кр} = \sqrt{R_{ш}^{02} - 2R_{ш}^0 \cdot \cos(\pi - \alpha_i) \cdot e + e^2}. \quad (13)$$

8. Определив геометрические параметры элементов распределительной системы определяется ее пропускная способность:

$$S_{н.с.} = \sum S_i,$$

$$S_i = \frac{r_p^2}{2} \cdot \left[2 \arccos \left(\frac{M_i'^2 + r_p^2 - r_{кр}^2}{2M_i' \cdot r_p} \right) - \sin \left(2 \arccos \left(\frac{M_i'^2 + r_p^2 - r_{кр}^2}{2M_i' \cdot r_p} \right) \right) \right] + \frac{r_{кр}^2}{2} \cdot \left[2 \arcsin \left(\frac{r_p}{r_{кр}} \cdot \sin \frac{\varphi_{li}}{2} \right) - \sin \left(2 \arcsin \left(\frac{r_p}{r_{кр}} \cdot \sin \frac{\varphi_{li}}{2} \right) \right) \right], \quad (14)$$

где: M_i – межцентровое расстояние между окнами распределительного и золотникового устройств, находящихся в перекрытии, зависящее от четверти расположения окон распределительного и золотникового устройств [14]; причем должно выполняться условие $0 \leq M'_i \leq |r_p + r_{kp}|$, иначе окна перекрываются не будут.

Межцентровое расстояние между окнами распределительного и окнами нагнетания золотникового устройств определяется из выражения [15]:

$$M'_i = \sqrt{A_i'^2 \pm B_i'^2}, \quad (15)$$

где: $A'_i = R_{ш}^0 \cdot \cos \alpha_i \mp R_{кр} \cdot \cos \beta_{н_i} \mp e$,

$$B'_i = R_{ш}^0 \cdot \sin \alpha_i \mp R_{кр} \cdot \sin \beta_{н_i}.$$

9. После ориентировочного расчета, производятся уточняющие расчеты геометрических параметров элементов вытеснительной и распределительной систем, связанные с присоединительными размерами и конструктивными особенностями гидровращателя для конкретной машины.

10. После определения геометрических параметров элементов вытеснительной и распределительной систем гидровращателя планетарного типа рассчитываются и подбираются уплотнительные элементы «вала» гидровращателя по известным методикам проектирования [15-20].

Разработанная методика позволяет проектировать элементы вытеснительной и распределительной систем гидровращателей планетарного типа с учетом их конструктивных особенностей.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований разработана методика проектирования гидравлических вращателей планетарного типа с заданными выходными характеристиками, позволяющая проектировать элементы его вытеснительной и распределительной систем с учетом их конструктивных и функциональных особенностей, что дает возможность улучшить выходные характеристики гидравлических вращателей планетарного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Panchenko A.I. 2013: Osnovnyye napravleniya gidrofikatsii mobilnoy tekhniki / A.I. Panchenko, A.A. Voloshina, Yu.P. Obernikhin // Pratsi TDATU. – Melitopol. – Vip. 13. – t.6. – 3–19.
2. Panchenko A.I. 2012: Konstruktivnyye osobennosti i printsip raboty gidrovrashchateley planetarnogo tipa // A.I. Panchenko, A.A. Voloshina, V.P. Kuvachev, I.A. Panchenko / Pratsi TDATU. – Melitopol. – Vip. 12. – T.3. – 174–184.
3. Panchenko A.I. 2009: Obosnovaniye putey uluchsheniya vykhodnykh kharakteristik gidrovrashchateley planetarnogo tipa / A.I. Panchenko, A.A. Voloshina, I.I. Milayeva, D.S. Titov // Pratsi TDATU. – Melitopol. – Vip. 9. – T.5. – 68–74.
4. Panchenko A.I. 2012: Gidromashiny s tsikloidalnoy formoy vytesniteley, primenyayemye v silovykh gidroprivodakh mobilnoy tekhniki // A.I. Panchenko, A.A. Voloshina / Interdrayv – 2012: Ofitsialnyy katalog IX foruma i vystavki (Moskva, 27-30 marta 2012 goda). – Moskva. – 179–194.
5. Voloshina A.A. 2011: Klassifikatsiya planetarnykh gidromashin, primenyayemykh v silovykh gidroprivodakh mobilnoy tekhniki / A.A. Voloshina // Pratsi TDATU. – Melitopol. – Vip. 11. – t.1. – 67–85.
6. Bashta T.M. 1971: Mashinostroitel'naya gidravlika / T.M. Bashta. – M.: Mashinostroyeniye. – 672.
7. Biryukov B.N. 1977: Rotorno-porshnevyye gidravlicheskiye mashiny / B.N. Biryukov. – M.: Mashinostroyeniye. – 152.
8. Erasov F.N. 1969: Novyye planetarnyye mashiny gidravlicheskogo privoda / F.N. Yearsov. – Kiev.: UkrNIINTI. – 55.
9. Panchenko A.I. 2010: Metodika opredeleniya rabocheho obyema gidromashin s tsikloidalnoy formoy vytesniteley // A.I. Panchenko, A.A. Voloshina, S.V. Kyurchev, A.I. Zasyadko / Pratsi TDATU. – Melitopol. – Vip. 10. – T.9. – 42–49.
10. Andrenko P. 2009: Matematicheskaya model gidravlicheskogo gasitelya pulsatsiy davleniya s avtomaticheskoy podstroykoy parametrov // P. Andrenko, M. Svinarenko / MOTROL. – №11V. – 42–49.
11. Lurye Z. 2011: Apparatno-programnyy

kompleks dlya opredeleniya momentov inertsii elementov i v tselom mekhatronnogo gidroagregata sistemy smazki // Z. Lurye, I. Fedorenko / MOTROL. – №13. – 106–115.

12. Panchenko A.I. 2010: Konstruktivnyye osobennosti i printsip raboty gidromashin s tsikloidalnoy formoy vytesniteley / A.I. Panchenko, A.A. Voloshina // Promislova gidravlika i pnevmatika. – №3(29). – 57–69.

13. Voloshina A.A. 2012: Vliyaniye konstruktivnykh osobennostey raspredelitelnykh sistem na vykhodnyye kharakteristiki planetarnykh gidromashin // A.A. Voloshina / Pratsi TDATU. – Melitopol. – Vip. 12. – T.5. – 3–9.

14. Panchenko A.I. 2014: Metodika proyektirovaniya elementov vytesnitelnykh sistem gidrovrashchateley planetarnogo tipa / A.I. Panchenko, A.A. Voloshina, I.A. Panchenko // Visnik NTU «KhPI». Seriya: Yenergetichni ta teplotekhnichni protsesi ta ustatkuvannya. – Kh.: NTU «KhPI». – № 1(1044). – 136–145.

15. Panchenko A.I. 2013: Metodika proyektirovaniya elementov raspredelitelnykh sistem gidrovrashchateley planetarnogo tipa / A.I. Panchenko, A.A. Voloshina, A.I. Zasyadko // Pratsi TDATU. – Melitopol. – Vip. 13. – t.6. – 82–101.

16. Lurye Z.Ya. 1996: Mnogokriterialnoye proyektirovaniye shesterennykh nasosov s vnutrennim zatsepleniyem // Z.Ya. Lurye, A.I. Zhernyak, V.P. Sayenko / Vestnik mashinostroyeniya. – №3. – 3–8.

17. Lurye Z.Ya. 2004: Optimalnoye proyektirovaniye vysokomomentnogo gidromotora i otsenka dinamicheskikh svoystv gidrosistemy na yego baze // Z.Ya. Lurye, I.G. Lishchenko / Promislova gidravlika i pnevmatika. – № 1(3). – 30–34.

18. Osipov A.F. 1971: Obyemnyye gidravlicheskiye mashiny kolovratnogo tipa: teoriya, konstruktsiya, proyektirovaniye / A.F. Osipov – M.: Mashinostroyeniye. – 208.

19. Kondakov L.A. 1986: Uplotneniya i uplotnitelnaya tekhnika: Spravochnik / L.A. Kondakov, A.I. Golubev, V.B. Ovandel i dr.; Pod obshch. red. A.I. Golubeva, L.A. Kondakova. – M.: Mashinostroyeniye. – 464.

20. Bazhin I.I. 1988: Avtomatizirovannoye prektirovaniye mashinostroitelnogo gidropriroda / I.I. Bazhin, Yu.G. Berengard, M.M. Gaytsgori i dr. Pod obshchey red. S.A. Yermakova. – M.: Mashinostroyeniye. – 312.

METHODOLOGICAL BASES OF HYDRAULIC PLANETARY ROTATOR DESIGNING

Summary. The paper is devoted to the methodology of the hydraulic planetary rotator designing. It is realized considering methods for determining the geometric parameters of the elements of its displacement and distribution devices which allow them to determine the quantitative characteristic changes in the gaps between the teeth of the displacers based on changes in the geometric parameters of the displacement device elements and the quantitative characteristics of passage area change in its displacing unit based on changes in geometric parameters of the displacing unit elements.

Key words: hydraulic planetary rotator, displacing unit, distributive unit, designing methodology.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ

Александр Броварецъ

*Національний університет біоресурсів і природопольовання України
Україна, г. Київ, ул. Героїв Оборони, 15*

Aleksander Brovarets

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Для эффективного управления агробиологическим состоянием сельскохозяйственных угодий необходимо владеть современными методами оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий. Такими методами является измерение электропроводных свойств грунтовой среды, которые являются опосредствованным показателем состояния грунтовой среды. Параметры электропроводности состояния грунтовой среды можно использовать для идентификации агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий, неконтактные системы мониторинга, новейшие информационно-технические системы, прогностическо-компенсационная технология, переменные нормы внесения, технологический материал, технологический процесс, специальные технические средства, вариабельность, сельскохозяйственные угодья.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для правильной организации управления качеством выполнения технологических операций необходимым условием является организация системы мониторинга. Для оценки состояния окружающей среды важная объективная оперативная информация о критических факторах антропогенного действия, о фактическом состоянии биосферы и прогнозах ее будущего состояния. Существует проблема организации специальных систем наблюдений, контроля и оценки состояния природной среды (мониторинга) как в местах интенсивного антропогенного действия, так и в глобальном масштабе. Традиционные системы мониторинга состояния

сельскохозяйственных угодий не обеспечивают надлежащей производительности и качества мониторинга. Поэтому возникает необходимость разработки новых сенсорных систем мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий. Одним из таких направлений является использование опосредствованной информации о состоянии почвы с надежным алгоритмом пересчета такой информации в объективно необходимые данные – например, таких, как уровень питательных веществ, гумуса, влажности, микроэлементов и тому подобное в почве. Наибольшую эффективность мониторинга вариабельности параметров – почвенной среды на современном этапе показали сенсорные системы измерения электропроводности и электромагнитной индукции состояния сельскохозяйственных угодий и системы технического зрения. Показатели полученные с использованием данных таких систем можно использовать, как опосредствованные данные о вариабельность параметров состояния почвенной среды.

В связи с этим возникает неотложная необходимость в разработке и исследовании технических систем мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий в современных технологиях растениеводства, использование данных, которые дают возможность обеспечить заданное качество при выполнении технологической операции. Эффективными опосредствованными данными состояния почвы могут быть показатели электрической проводимости почвы, величина диэлектрической проницаемости, магнитные свойства и тому подобное. Важным аспектом, также, имеется измерение свойств и установление состава почвенных газов как возможных индикаторов состояния почвы [1].

ИДЕНТИФИКАЦИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Очевидно, что для правильной организации управления качеством окружающей природной среды абсолютно необходимым условием является организация системы мониторинга. Для оценки состояния окружающей среды важная объективная оперативная информация о критических факторах антропогенного действия, о фактическом состоянии биосферы и прогнозах ее будущего состояния. Существует проблема организации специальных систем наблюдений, контроля и оценки состояния природной среды (мониторинга) как в местах интенсивного антропогенного действия, так и в глобальном масштабе [1-10].

Лишь на основании мониторинга и материалов тщательной паспортизации можно рационально разместить культуры в полях севооборота, подобрать площади для химической мелиорации, сбалансировано, в научно-обоснованных нормах вносить минеральные и органические удобрения, правильно оценить плодородие почвы. Кроме того, по данным паспортизации должны определяться зоны для выращивания экологически чистой продукции. Мировой опыт убедительно свидетельствует, что между уровнем рационального применения минеральных удобрений и валовым сбором продукции растениеводства существует прямая зависимость. В их основу должны быть положены научно обоснованные расчеты для каждого поля с учетом требований экологии и здоровья людей. Актуальность данной проблематики та недостаточность научных разработок в данном направлении обусловила необходимость научного исследования данного направления для создания эффективных технических систем мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий в современных технологиях растениеводства для обеспечения надлежащей эффективности сельскохозяйственного производства.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы есть обеспечение получения оперативной информации о состоянии

сельскохозяйственных угодий путем обоснования зависимостей между электропроводными характеристиками грунтовой среды и показателями агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наблюдение поля традиционно основано на дискретном построении исследований поля, что используют сетку или статистическо-случайную стратегию. Изучение использования геостатических методов показало, что почвенные свойства часто обеспечивают высокую корреляцию [10-20].

Чтоб проводить достоверные прогнозы и маты точные карты состояния почвы необходимая соответствующая схема, которая имеет отношение к площади поля и к пространственной неоднородности почвенных свойств, которые определены почвенными исследованиями. Необходимо использовать данные от разных систем мониторинга и определить наиболее эффективный метод мониторинга, чтоб обеспечить определение пространственной неоднородности поля.

Таким образом, надежный и точный метод осуществления выборки основывается на основе анализа грунтовых свойств. В данном случае это очень важно, чтоб с заданной точностью идентифицировать параметры грунтовой среды состояния сельскохозяйственных угодий. Оптимальная схема должна обеспечить осуществление наименьшей выборки грунтовых проб с обеспечением максимальной точности. Поэтому последующие усилия научного исследования направлены на поиск новых методов мониторинга для выполнения минимального количества наблюдений, необходимых для оценки значений грунтовых свойств в пределах указанных областей.

Почва – это поверхностный слой земной коры, видоизмененный под воздействием физического, химического и органического выветривания. Это звено, что связывает живую и неживую природу. Состоит из твердых веществ, почвенной воды, воздуха и живых организмов. Почва, как основное средство производства продукции растениеводства, характеризуется рядом параметров

(рис. 1), которые можно классифицировать за их физико-механическими, агрохимическими, биологическими и тому подобное показателями. Почву разделяются на структурные и бесструктурные. В бесструктурной почве отдельные механические элементы (песчинки, пылевые частицы) находятся в свободном состоянии и не связаны одна с одной. В структурном – они соединены в агрегаты разной величины и формы, которые и предоставляют почву определенной структуры. Структура почвы (рис. 2), создавая благоприятный водный и воздушный режимы, является одним из решающих факторов его плодородия. Самой благоприятной структурой является орехо-зернистая с агрегатами размером от 10 до 0,25 мм. Зональное размещение факторов, в первую очередь климата и растительности, предопределяет и зону почв, которая заключается в том, что каждой географической зоне отвечают свои собственные им зональные типы почв. Территория Украины разделена на три природно-климатические зоны: Полесье, Лесостепь, Степь (рис. 3). Свойство почвы проводить электрический ток обусловленная уровнем влажности почвы, фазовым состоянием этой влаги, содержанием в почве солей, его температурой, плотностью, гранулометрическим составом. Количественно ЭП характеризуется коэффициентом удельной электропроводности почвы и имеет размерность См/м. (См – Сименс. Вернер Сименс - немецкий инженер, изобретатель, ученый,

видный политический и общественный деятель. Основатель фирмы Siemens AG – крупного международного концерна, что работает в отрасли электротехники, электроники, энергетического оборудования, транспорта, медицинского оборудования и светотехники):

$$\sigma = \frac{I}{E} \text{ [См/м]}, \quad (1)$$

где: I – сила электрического тока;
 E – электрическое напряжение.

Электропроводность единицы объема почвы называют удельной. Величина, обратная к σ представляет из себя удельное сопротивление [1]:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}. \quad (2)$$

Условием прохождения электрического тока является наличие свободных электронов и ионов. При этом электронная проводимость агрегатов, из которых состоит почва, достаточно низкая. Почва в основном имеет ионную проводимость поровых растворов и поверхностную проводимость. То есть, ЭП почвы зависит от уровня влажности W , концентрации солей S , содержание газов P но уровня температуры T . Например, при равных значениях W , P но T удельная ЭП почвы характеризует меру засоленной почвы.

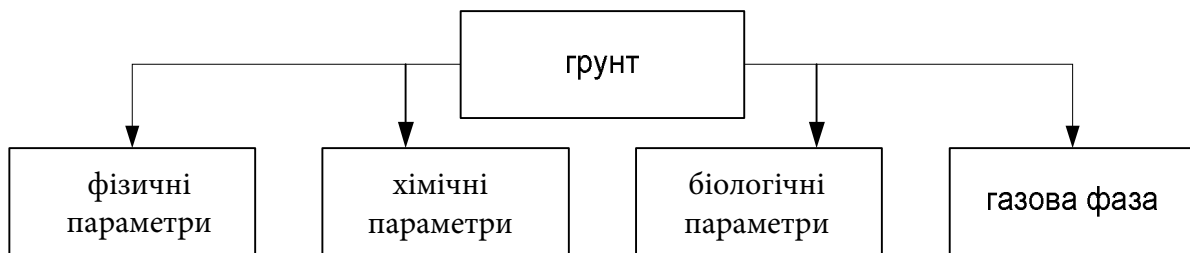


Рис. 1. Параметры характеризующие почву
 Fig. 1. Parameters soil

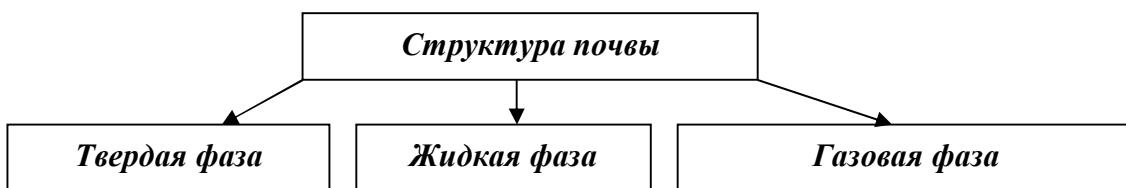


Рис. 2. Структура почвы
 Fig. 2. Structure of soil

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ
СВОЙСТВ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ**

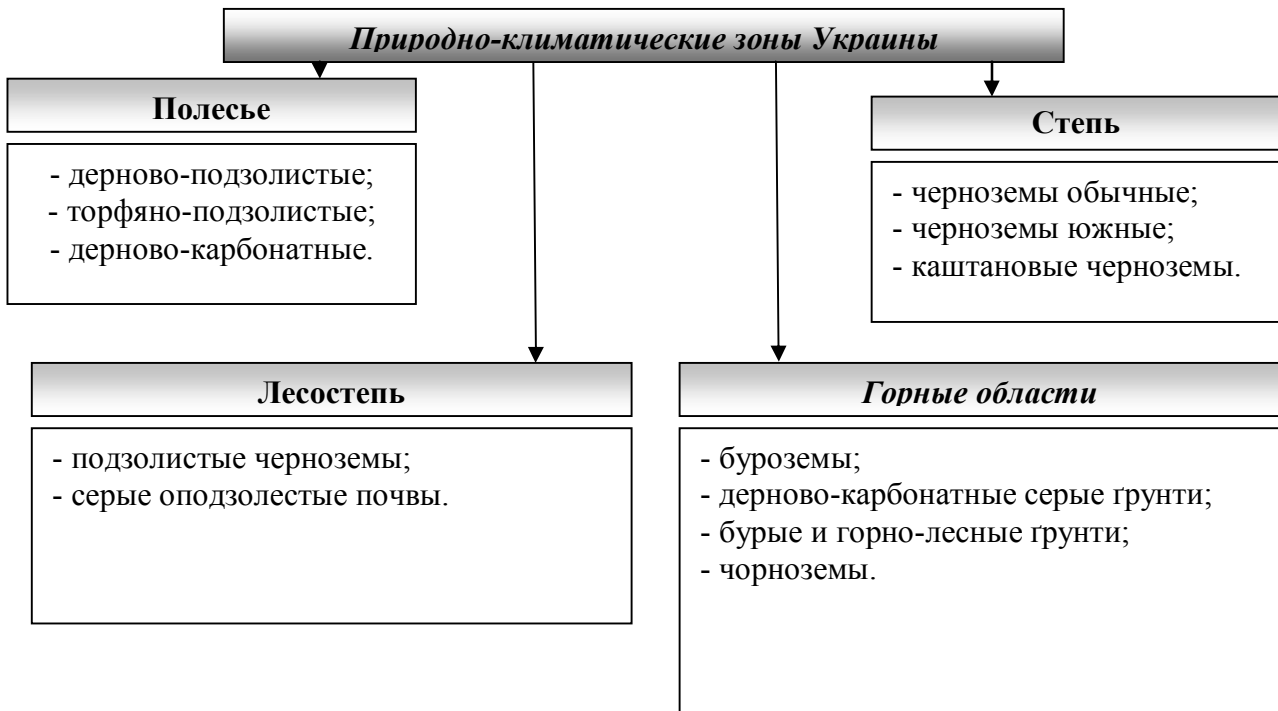


Рис. 3. Природно-климатические зоны Украины и почвы этих зон
Fig. 3. Areas of Ukraine and soil of its areas

Самой важной задачей при изучении электрических полей в почвах является выработка теории взаимосвязи почвообразования и генезиса почв с параметрами их электрических полей.

Емкость катионного обмена почв.

Теория электроразведывательных методов с использованием постоянного тока основана на использовании стационарной модели электромагнитного поля. В этом случае электрическое поле есть безвихровым. В теории поля показано, что векторная функция, что удовлетворяет этому уравнению, может быть однозначно описана скалярной функцией, званой потенциалом. Переход от векторной характеристики к скалярной упрощает решение многих заданий. Скалярный потенциал связан с постоянным электрическим полем соотношением:

$$\vec{E} = \text{grad}U, \tag{3}$$

которое в случае, если известно направление изменения потенциала, заданное ортом, может быть записано в более простом виде:

$$\vec{E} = -\frac{\partial U}{\partial r} \cdot ir. \tag{4}$$

Физически потенциал является работой, которую необходимо сделать в электрическом поле при перенесении единичного положительного заряда из бесконечности в данную точку (рис. 4).



Рис. 4. Поле точечного источника постоянного тока, над однородным разрезом
Fig. 4. Field of point source of direct current, above a homogeneous cut

Если электрод А посылает в почву ток силой i и при этом сопротивление воздуха бесконечно большой, то весь ток растекается в почву, что имеет сопротивление r . Почва однородна, следовательно, ток от источника течет равномерно по всем направлениям, то

есть линиями плотности тока \vec{j} имеются прямые лучи, что вытекают из точки А. Если окружить точку А полусферой S произвольного радиуса r с центром в точке А, то очевидно, что сила тока, что проходит через нее, равняется полной силе тока i . Следовательно, плотность тока в любой точке М, расположенной на полусфере, равняется силе тока, разделенной на площадь полусферы:

$$j = \frac{I}{2\pi r^2} \vec{i}_r \quad (5)$$

По закону Ома $\vec{E} = \vec{j}\rho$, откуда, используя формулу, получим:

$$-\frac{\partial U}{\partial r} \cdot \vec{i}_r = \vec{j}\rho \quad (6)$$

Из соотношений перейдем к формуле:

$$\frac{\partial U}{\partial r} = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (7)$$

После интегриации последнего равенения получим:

$$U = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (8)$$

Следовательно, потенциал точечного источника пропорциональный силе тока i и сопротивлению ρ и обратно пропорциональный расстоянию к источнику r . Очевидно, что напряженность электрического поля, как производная потенциалу, будет убывать при удалении от точечного источника как $1/r^2$.

Исследования электрического поля и характеристик электродов с самого начала развития их теории относились к категории весьма сложных заданий электротехники. Такими они есть и в настоящее время. Трудности усиливаются тем, что электрическая структура верхних слоев почвы, в которых располагаются электроды, имеет существенно неоднородное удельное электрическое сопротивление, что изменяется по площади и во времени (по сезонам). Степень его неоднородности зависит от многих факторов. Важной абстракцией, что сильно упростила аналитическое исследование электрического поля электродов и его физическое моделирование в гальванических ваннах, появилось представление почвы в виде однородного ведущего полупространства (так называемая однородная почва). Однако опыт показал, что в подавляющем большинстве случаев их ха-

рактеристики, и в первую очередь сопротивление растеканию, найденные расчетом в предположении, что почва однородна, не совпадают с действительными значениями.

Как видно в табл. 1, получена криволинейная зависимость между электрическими параметрами и влажностью, а также засоленной почв. Таким образом, если сильно засоленные образцы включаются в анализ, то полученные связи обычно криволинейны. Вид и теснота связей представлен для засоленной и электрических параметров в табл. 1. Сравнив разные зависимости для подсчета ионного состава грунтовых растворов, получили, что экспоненциальная зависимость подходит наилучшим образом. Рассматривая одновременное влияние содержания солей и влаги на электрическое сопротивление в грунтовых образцах выяснено, что электропроводимость почвы является суммой экспоненциальных функций содержания воды и проводимости грунтового раствора.

Большинство видов связей (табл. 1) криволинейная или линейная в некотором специфическом диапазоне каждого свойства почвы. Этот факт можно рассматривать как косвенное указание на применимость закона распределения Больцмана при описании связей между электрическими параметрами и свойствами почв, что влияют на объемную плотность заряда. Согласно закона распределения Больцмана такие связи должны быть экспоненциальными. Статистические отличия между экспоненциальной, степенной и полиномом зависимостью обычно незначительны, особенно в ограниченном диапазоне изменения аргументов. Самая главная роль влажности в формировании электрических полей в почвах заключается в изменении подвижности и числа электрически заряженных частиц – густота подвижных электрических частиц. Влажность почвы влияет на подвижность электрических зарядов сложным образом. Электрические заряды подвижные, когда они находятся в свободном грунтовом растворе или формируют двойной электрический слой на поверхности грунтовых частиц. С увеличением влажности почвы от легко сухой к полному насыщению, освобождается часть ионов, адсорбированных на поверхности грунтовых твердых частиц, что влияет на формирование двойного электрического слоя.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ
СВОЙСТВ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ**

Таблица 1. Некоторая зависимость между свойствами почв t а электрическими параметрами
Table 1. Some dependence between the properties of soils t and electric parameters

Тип почвы	Количество электродов	Зависимость	Ряд свойств
Зависимость электрических параметров с влажностью			
дерново-подзолистые	4	$W = \frac{a}{ER^2} + \frac{b}{ER^2} + c$	$HW - S_w$
торфяно-подзолистые	4	$W = \frac{a}{ER^2} + b$	N/S
дерново-карбонатные	4	$EC = EC_w S_w^a \phi^b$	N/S
черноземы обычные	4	$ER = e^{a+b} W^c$	$WP - FC$
черноземы южные	4	$EC = aEC_s W^b$	$HW - FC$
каштановые черноземы	4	$W = 0,01ER + 2.1$	$0,021-0,1gg^{-1}$
подзолистые черноземы	4	$EC = b - aW$	$HW - FC$
лужные черноземы	потенциал	$\phi = b - aW$	N/S
серые оподзолестые почвы	4	$ER = \frac{a}{W^b}$	$WP - FC$
Зависимость с температурой (t)			
дерново-подзолистые	4	$ER = e^{a+b} W^c$	N/S
черноземы южные	4	$ER_{12} = ER_{12} [1 - a(t_2 - t_1)]$	$0 - 50^0 C$
черноземы подзолистые	4	$\ln EC_{12} = \ln EC_{12} + b_1(t_2 - t_1) -$	N/S
Зависимость с засоленной			
дерново-подзолистые	2	$TC = aEC_w^b$	N/S
черноземы южные	4	$ER = aEC_w - b$	N/S
черноземы оподзоленные	4	$TC = aEC$	N/S

Поэтому, подвижность электрических зарядов обычно увеличивается с увеличением влажности почв.

Связки между электрическим сопротивлением, измеренным в грунтовых образцах, грунтовых суспензиях и коллоидных суспензиях и химическими свойствами этих почв, такими как вместимость катионного обмена, насыщенность основаниями и содержание Р и К, также находят достаточно высокий уровень взаимосвязей.

Равнения регрессии для связей между электрическим сопротивлением и разными почвенными свойствами представлены в таблице 2.

Из этих данных выходит, что многие из полученной зависимости экспоненциальные с высоким коэффициентом корреляции.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции для зависимости между катионами почв и электрическими потенциалами, измеренными в дерново-подзолистых почвах

Table 2. Correlation coefficients for the dependency between cations of soils and electric potentials, measured in sod-podzolic soils

Свой.	r	Свойства	r
Ca	-0.48	Ca+Mg+Al	-0.31
Mg	-0.22	Al/(Ca+Mg+Al)	-0.35
Mn	-0.15	(Ca+Al)/(Ca+Mg+Al)	-0.32
Fe	-0.14	(Ca+Mg+Al)+Ca	-0.34
Al	-0.08	(Ca+Mg+Al)+Mg	-0.28
Ca+Mg	-0.33	(Ca+Mg+Al)+Al	-0.25
Ca+Al	-0.27	(Ca+Mg+Al)+Fe	-0.21
Ca+Fe	-0.26	(Ca+Mg+Al)+Mn	-0.26

ВЫВОДЫ

Связи между электрическими параметрами и некоторыми свойствами почв гумидной зоны. Особенное внимание предоставлялось, взаимосвязям (Емкость катионного обмена) ЕКО и грунтовых растворов на электрические параметры.

Почвы, у которых ЕКО содержит Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , и H^{+} . Эти почвы формируются процессами подзолообразования, лессировки, гумификацией, минерализацией, и в гумидных зонах. Это дерново-подзолистые, глеевые почвы, торфяные почвы, серые лесные, черноземы могут быть рассмотрены как почвы первой группы.

Процессы засола, гумификацией и минерализации формируют вторую группу почв с ЕКО тем, что складываются с Ca^{+2} , Mg^{+2} , и Na^{+} .

Зависимость между электрическими параметрами и свойствами получена нами для большинства почв Украины. Экспериментальная зависимость между электрическими потенциалами БЭП и разными катионными формами обмена в ЕКО является экспоненциальной зависимостью. Результаты показывают, что электрический потенциал уменьшается с увеличением ЕКО. Среди катионов ЕКО влияние уменьшается в последовательности $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Al}$. (таблица 2).

Для Al и Fe зависимость очень слабая или практически отсутствует. Слабая зависимость и с Al , потому что его количество в почве имело. Кроме того, Al и Fe существуют в нерастворимой форме в минеральных структурах и не принимают участие в реакциях обмена. Fe^{+3} - ион особенно инертный (немобильный) в почвах.

Содержание гумуса также увеличивает способность гумидной обмена почв. Поэтому почвы с высоким содержанием глинистых частиц и гумуса склонны иметь высокую насыщенность основаниями и высокую полевую влагоемкость.

Таким образом, в почвах гумидной зоны электрическое сопротивление тесно связано строго экспоненциальной зависимостью с почвенными свойствами, такими как емкость катионного обмена, насыщенность основаниями, содержание влаги, гумус и

другие, что характеризуют почвенный поглощающий комплекс.

На основе анализа наших собственных результатов исследований был произведен подход, что позволяет оценивать через измерение электрических параметров энергетику почвообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sheets K.R., Hendrickx J.M.H. 1995: Noninvasive soil water content measurement using electromagnetic induction. *Water resources research*. Vol. 31 No. 10, – 2401–2409
2. Corwin D.L. and Lesch S.M. 2005: Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. *soil survey*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46. – 32–45.
3. Hertz A. Chad and John D. Hibbard. 1993: "A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production," *Farm Economics* iss. 14, Department of Agricultural Economics, University of Illinois, Champaign–Urbana. – 218–231.
4. Malzer G.L., Mulla D.J. and Murrell T.S. 2001: Getting Specific with Site-Specific Nutrient Management. The Site-Specific Management guidelines series published by the Potash & Phosphate Institute. – 78–81.
5. Olteanu C., Zamfira S., Oltean Gh., Olteanu F., Turcu C. 2004: Mechatronics in Agriculture – One of the Research Directions within the Precision Mechanics and Mechatronics Department with Transilvania University of Brasov. (Ed. MondoR), *Revista Mecatronica* nr. 2, Bucuresti, –72–76.
6. Rhoades J.D., Corwin D.L. 1981.: Determining soil electrical conductivity – depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. *Soil Sci.Soc. Am. J.* – 255–260.
7. Bosch D.D. 2005: Comparison of capacitance-based soil water probes in coastal plain soils. *Vadose Zone Journal* 3,1380-1389; Seyfried M.S., Grant L.E., Du E., Humes K. Dielectric loss and calibration of the hydra probe water sensor. *Vadose Zone Journal* 4,1070–1079.
8. Campbell J.E. 1990: Dielectric properties and influence of conductivity in soils at one to fifty megahertz. *Soil Science Society of America Journal* 54. 332–341.

9. McBratney A.B., Whelan B.M., Walvoort D.J.J., Minasny B. 1999: A purposive sampling scheme for precision agriculture. In: Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK. 101–110.
10. Malicki M.A., Walczak R.T. 1999: Evaluating soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity. *European Journal of Soil Science* 50, – 505–514.
11. Seyfried M.S., Grant L.E., Du E., Humes K., 2005: Dielectric loss and calibration of the hydra probe water sensor. *Vadose Zone Journal* 4, – 1070–1079.
12. McBratney A.B., Whelan B.M., Walvoort D.J.J., Minasny B. 1999: A purposive sampling scheme for precision agriculture. In: Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK. 101–110.
13. Minasny B, McBratney A.B. 2006: A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*, 32, – 1378–1388.
14. McBratney A.B., Whelan B.M., Walvoort D.J.J., Minasny B. 1999: A purposive sampling scheme for precision agriculture. In: Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK. – 101–110.
15. Cochran W.G. 1977: *Sampling Techniques*. Wiley, New York. p. Di H.J., Trangmar B.B., Kemp R. A. 1989: Use of geostatistics in designing sampling strategies for soil survey. *Soil Science Society of America Journal*, 53, – 1163–1167.
16. . Won I.J and Haoping Huang. *Magnetometers and electro-magnetometers 2004: THE LEADING EDGE*. May. – 26–29
17. Kraus J.D. 1992: *Electromagnetics*. McGraw Hill, Inc. 847p. Leao, T.P., 2009; Raju G.G. 2003. *Dielectrics in Electric Fields*. Dekker. – 578.
18. *Kompleksniy 2011: Kompleksniy pokaznik efectivnosti sistemu mashin v roslunnetvi // V. Dubrovin, E. Krasowski, I. Rogovski / – Motrol, Vol. 3, – 20–24.*
19. *Robot 2002: Robot Control using Machine Vision / [J. Blasco, N. Aleixos, J. Roger,*
- G. Rabatel, E. Molto] // *Biosystems Engineering*. – № 83. – 149–157.
20. Flys I. 2010: Engineer project management of production and processing complexes / I. Flys – Motrol, 12 – 75–81.

AUTHENTICATION OF AGROBIOLOGICAL STATE OF AGRICULTURAL LANDS BY MEASURING OF PROPERTIES OF GROUND ENVIRONMENT

Summary. For the effective management by the agrobiological state of agricultural lands it is necessary to own the modern methods of the operative monitoring of the state of agricultural lands. Measuring of properties of the ground environment, which are the mediated index of the state of the ground environment, is such methods. The parameters of conductivity of the state of the ground environment can be used for authentication of the agrobiological state of agricultural lands.

Key words: monitoring of the state of agricultural lands, uncontact systems of monitoring, newest informative-technical systems, prognostic indemnity technology, variable norms of bringing, technological material, technological process, special hardwares, variabelnist, agricultural lands.

ПОЛЕВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДСПУТНИКОВОЙ ВАЛИДАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

*Владимир Донец¹, Светлана Кочубей², Виталий Яценко³, Александр Броварець⁴,
Тарас Казанцев², Вадим Бровченко¹*

¹Корпорация НПО «Арсенал»

Украина, г. Киев, ул. Московская, 8

²Институт физиологии растений и генетики

Украина, г. Киев, ул. Васильковская, 31/17

³Институт космических исследований

Украина, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 40

⁴Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

*Vladimir Donets¹, Svetlana Cochoubey², Vitaliy Yatsenco³, Alecsandr Brovarets⁴,
Taras Cazantsev², Vadim Brovchenco¹*

¹Corporation SPO «Arsenal»

Str. Moskovskaya, 8, Kiev, Ukraine

²Institute Physiology Plants and Geneticists

Str. Vasylykivska, 31/17, Kiev, Ukraine

³Institute Spices of Investigation

Avenue Glushkov, 40, Kiev, Ukraine

⁴National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Рассмотрены особенности конструкции созданного полевого спектрального аппаратно-программного комплекса для подспутниковой валидации дистанционного исследования растительности.

Ключевые слова: спектрометрический комплекс, дистанционное зондирование, подспутниковая валидация.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время широкое применение получили системы дистанционного мониторинга поверхности Земли, в частности, для исследования состояния растительности, определения ее стрессового состояния, прогноза урожайности и др. Измерения спектров отражения, используя оптические приборы, является быстрой и эффективной процедурой анализа по сравнению с лабораторными биохимическими методами и позволяет проводить тестирование больших площадей за короткое время [1-6].

В этом направлении традиционным подходом является использование спектральных коэффициентов яркости растительного покрова, на основе которых ранее были пред-

ложены разнообразные вегетационные индексы [2]. При этом большое внимание было уделено определению концентрации хлорофилла – важного физиологического показателя, присутствие которого обеспечивает основной вклад в формировании спектра отражения в листьях растений в видимом диапазоне.

Известно более 40 вегетационных индексов, чувствительных к содержанию этого пигмента. Все они базируются на измерении коэффициентов яркости (на разных длинах волн), которые проявляют высокую степень их корреляции с соответствующими растительными показателями в лабораторных условиях. Однако, при применении их в полевых условиях корреляция снижается или разрушается вообще, что обусловлено как различиями оптических свойств единичного листа и фитоценоза, так и определенными техническими сложностями [4].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью исследований является разработка научно-методического обеспечения спек-

ПОЛЕВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДСПУТНИКОВОЙ ВАЛИДАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

тральных измерений, которое позволяет создать специализированный аппаратно-программный комплекс (АПК) подспутникового обеспечения для дистанционного спектрометрического зондирования растительности в полевых условиях и проведения обработки полученной информации, в частности, расчета содержания хлорофилла в биомассе. В основу научно-методического обеспечения спектральных измерений положено два метода: деривативных вегетационных индексов и главных компонентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработан и предложен к использованию альтернативный подход к оценке содержания хлорофилла по спектрам отражения [6-20]. Он основан на получении информации по количественным показателям форм (сигнатур) спектров отражения, что исключает необходимость определения численных значений коэффициентов яркости. Был разработан метод определения концентрации хлорофилла в листьях озимой пшеницы за счет использования соотношения интенсивности максимумов в графике первой производной спектра отражения в области «красного края» спектра, $\Delta\lambda = 680-750$ нм.

Для получения сплошных массивов спектральных данных о земной поверхности в реальном режиме времени нужна соответствующая бортовая аппаратура – гиперспектральные системы (ГСС) или гиперспектрометры. В настоящее время только США и Европейское космическое агентство (ЕКА) имеют действующие на орбитах космические аппараты (КА) с ГСС.

Данные, получаемые при помощи бортовых гиперспектральных сканеров, требуют валидации (заверки) с помощью наземных полевых измерений [4,6].

В связи с этим возникла необходимость создания специализированного аппаратно-программного комплекса (АПК) подспутникового обеспечения для дистанционного спектрометрического зондирования растительности в полевых условиях и проведения обработки полученной информации, в частности, расчета содержания хлорофилла в биомассе по специальным алгоритмам.

Корпорацией «НПО «Арсенал» совместно с ГП «Завод «Арсенал», Институтом физиологии растений и генетики НАНУ и Институтом космических исследований НАНУ и НКАУ в 2008 году был создан полевой спектрофотометр для тестирования состояния растительности, в том числе и посевов сельскохозяйственных культур. На базе этого прибора и был создан полевой спектральный АПК для дистанционного исследования растительности.[28].

Полевой спектральный аппаратно-программный комплекс для дистанционного исследования растительности

Основными характеристиками спектрального АПК, влияющими на качество измерений, есть значение соотношения «сигнал/шум» и спектральное разрешение $\delta\lambda$ [4,6,12] в необходимом диапазоне длин волн. Оба эти параметра являются противоречащими друг другу, поскольку первое из них требует сужения спектральной ширины входной щели классического спектрального прибора, что снижает интенсивность светового потока и, следовательно, способствует повышению относительной величины шумового сигнала. Кроме того, указанные условия должны выполняться при большой величине динамического диапазона, поскольку при измерениях биологических объектов растительного происхождения в полевых условиях существует значительный перепад значений коэффициента отражения в области «красного края» (от величины $\sim 3\%$ до величины $\sim 60\%$ в диапазоне 680-800 нм). Следует учесть, что естественная освещенность может меняться от 10.000 лк в пасмурную погоду до 120.000 лк в солнечную. При этом, цветовая температура источника освещения может варьироваться от 2200°K до 15000°K [4]. В наземных измерениях возникает также специфическое требование к форме поля зрения прибора, что связано с его апертурой. При традиционной конструкции входного тракта, полем зрения спектрального датчика есть узкая длинная полоса, пропорциональная размеру входной щели спектрального прибора.

В ходе создания полевого спектрального АПК было предложено решение проблемы выбора оптимальных значений основных технических параметров [4], как решение

задачи многокритериальной оптимизации выходных технических характеристик прибора с учетом ограничений [6]. В результате были определены и оптимизированы взаимосвязанные между собой основные технические параметры этой гиперспектральной измерительной аппаратуры, влияющие на достоверность результатов дистанционного спектрометрического зондирования растительности, а также на результаты определения содержания в ней хлорофилла [4,6].

С помощью специализированной программы ZEMAX-EE [29] проводилась разработка оптической схемы, на основе скрещенной структуры спектрографа Черни-Тернера, модернизированного в гиперспектрометр [4,6]. Как показали расчеты этой оптической схемы, спектрограф с острыми углами падения и отражения может обеспечить более плоскую зону в рабочей спектральной области и хорошую коррекцию аберрации.

Полевой спектрометр [17] имеет информационный и опорный каналы, спектрограф Черни-Тернера с входной спектральной щелью, входным и выходным коллиматорами, в фокусах которых соответственно расположены входная щель и матричное фотоприемное устройство. Между коллиматорами на изломанной оптической оси расположен диспергирующий элемент.

Фотоприемное устройство выполнено в виде фоточувствительной матрицы Kodak Digital Science KAC-1310 CMOS [27] форматом 1280 x 1024 пикселей, с размером пикселя $6 \times 6 \text{ мкм}^2$, с внутренним АЦП является общим для обоих каналов. Оно электрически связано с электронной системой управления и обработки информации с сохранением результатов измерений. Диспергирующий элемент выполнен в виде нестандартной отражающей дифракционной решетки [4,6] с высокой дифракционной эффективностью в диапазоне длин волн $\Delta\lambda = 650\text{-}750 \text{ нм}$ ($\lambda_{\text{max}} = 725 \text{ нм}$).

Таблица 1. Технические характеристики полевого спектрометра АПК [6].
Table 1. Technical characteristics field spectrometer AIC [6].

Спектральный диапазон	520-800 нм
Спектральное разрешение $\delta\lambda$	1,8-3 нм
Угол обзора	$16 \times 16^\circ$
Диапазон освещенностей	10.000-120.000 лк
Время измерения	0,1-1 с
Величина собственных шумов	не более 0,1 %
Диапазон определения хлорофилла	1,5-8,0 мг/дм ²
Напряжение питания	6 В
Мощность потребления (пиковая загрузка при обработке шторки)	4,5 Вт
Размеры	310x23x 200 мм
Вес (без штатива и ЭВМ)	до 9 кг

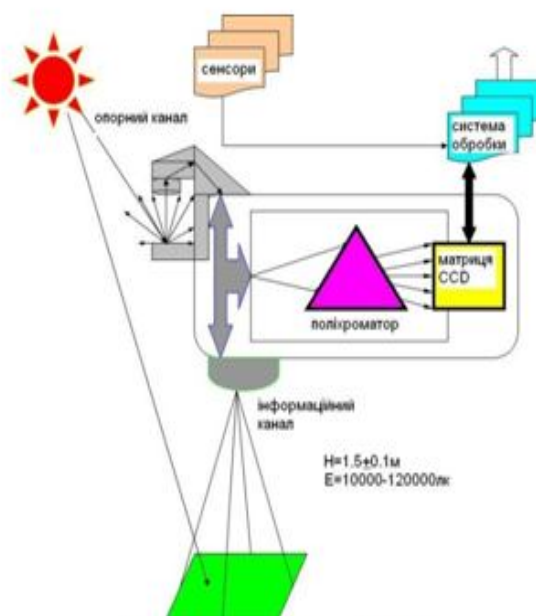


Рис. 1. Блок-схема АПК
Fig. 1. Flow-chart of APK

ПОЛЕВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДСПУТНИКОВОЙ ВАЛИДАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Входная щель спектрального прибора выполнены путем прецизионной фотолитографии слоя черного хрома на поверхности кварцевой пластинки и имеет ширину $d = 20$ мкм (0,02 мм).

Непосредственно перед входной щелью расположен разделительный оптический элемент (поворотная призма), который разделяет входную щель на две части – верхнюю (*опорный канал*) и нижнюю (*информационный канал*).

В опорном канале содержится деталь, которая выполнена из оптического материала с высоким коэффициентом диффузного рассеяния [17].

Ее рабочая поверхность оптически связана как с источником освещения в натуральных условиях, так и с верхней частью фотоприемного устройства.

Общая зона матричного фотоприемного устройства КАС-1310 CMOS (1280 x 1024 пикселей) программно разбита на верхнюю и нижнюю подзоны (1024 x 520- измерительный канал и 1024 x 334- опорный канал) [17].

В таблице 1 приведены технические характеристики полевого спектрометра полевого АПК.

На рис. 1. представлена блок-схема АПК, а общий вид (А) и разрез общего вида (Б) полевого спектрометра представлен на рис. 2.

Рабочее положение полевого спектрального АПК при измерении спектров отражения посевов озимой пшеницы приведено в [6].

Поскольку полевой спектрометрический комплекс построен на основе спектрометра, имеющего спектральное разрешение $\delta\lambda$ не хуже 1,8-3 нм в интервале длин волн 520-800 нм ($\Delta\lambda = 280$ нм), то можно утверждать, что он является гиперспектральным [22], с числом спектральных каналов не менее 90 ($280\text{нм}/3\text{ нм} \geq 93$).

В гиперспектрометре КА «Ресурс-П» число спектральных каналов – 96 [8].

Перед фотоприемным устройством установлена электромеханическая шторка, которая электрически соединена с электронной системой управления и обработки информации.

Кроме этого, полевой спектрометр [17] имеет дополнительные датчики: для измерения освещенности, температуры и для определения географических координат местоположения спектрометра (GPS – приемник).

А электронная система обработки информации имеет в себе RTC-часы (часы реального времени с календарем).

Все они, параллельно, соединены с электронной системой обработки информации и сохранения результатов измерений.

Имеется также оптическая система визирного канала (видоискателя), которая предназначена для наведения на объект измерения и уточнения границ зоны исследования.

Работа полевого спектрометрического АПК

Полевой спектрометрический АПК работает следующим образом.

Источник освещения одновременно одинаково освещает как объект измерения, так и сам полевой спектрометр [17].

Величину освещенности регистрирует датчик, электрический сигнал с которого поступает в систему обработки и используется как для документирования результатов измерений, так и для управления величиной экспозиции объекта измерения.

Световой поток, отражающийся от объекта измерения, через оптическую систему входного информационного канала и солнечный свет (или свет от неба), поступающий через оптическую систему опорного сигнала с диффузно-отражающим компонентом, попадают соответственно на нижнюю и верхнюю части входной щели полевого спектрометра.

После прохождения через входную щель и входной коллиматор два разделенных в пространстве световых пучка лучей параллельными потоками попадают на диспергирующий элемент (дифракционную решетку).

Изображение разложенных в спектр этих двух световых потоков формируются выходным коллиматором в два цветных (спектральных) изображения двух частей (нижней и верхней) входной щели соответственно в плоскостях подзон матричного фотоприемного устройства.

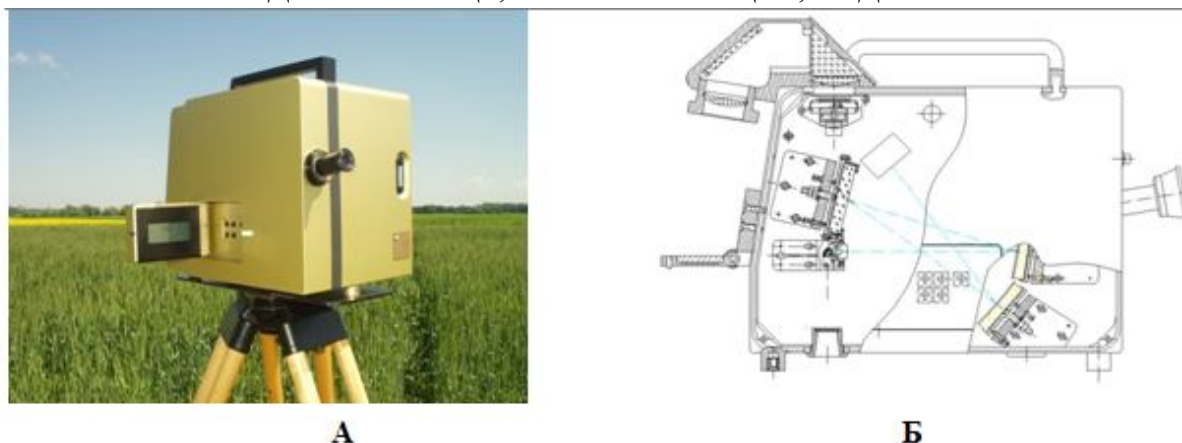


Рис. 2. Общий вид (А) и разрез общего вида (Б) полевого спектрометра
Fig. 2. General kind (A) and cut of general type (Б) of the field spectrometer

Фотоприемное устройство в каждом своем пикселе трансформирует световой сигнал в электронный. Совокупность последних, после внутреннего аналого-цифрового преобразования вместе с данными, дополнительно поступающих от датчиков, (которые измеряют соответственно освещенность, температуру окружающей среды, а также фиксируют географические координаты места и время проведения измерения) проходят обработку по необходимым алгоритмами в электронной системой.

На выходе электронной системы обработки информации формируется пакет данных в виде регистрограммы и запоминается электронной памятью. Эта единая регистрограмма содержит в себе все необходимые параметры как об объекте исследований, так и о времени, географических координатах (местоположении) прибора и условиях исследований (внешней температуре и освещенности).

Электромеханическая шторка, которая установлена перед фотоприемным устройством, автоматически закрывает его на время регистрации темнового сигнала при каждом измерении, с последующим вычитанием усредненной зарегистрированной величины темнового сигнала в соответствии с алгоритмом работы полевого спектрометра.

Поскольку диспергирующий элемент, изготовленный в виде нестандартной отражающей дифракционной решетки с максимальной дифракционной эффективностью на длине волны $\lambda_{\max} = 725$ нм, то регистрация коэффициента отражения растительности, имеющего минимум в спектральной области

так называемого «красного края», на участке длинах волн $\Delta\lambda = 650-725$ нм, выполняется с максимально возможной достоверностью, что очень важно для реализации алгоритма расчета содержания хлорофилла в растениях с применением деривативных вегетационных индексов D_{725}/D_{702} , требующих вычисление первых производных [4].

Входной канал, выполненный путем совмещением входного коллиматора и оптической системы входного канала спектрометра позволяет сформировать поле зрения информационного канала прибора в плоскости объекта измерения в виде, удобном для измерения, в том числе, обеспечивает получение поля зрения в форме квадрата размером $\sim 40 \times 40$ см при размещении устройства на высоте 1,5 м над поверхностью земли.

Оптическая схема устройства позволяет одновременное принятие полезного и опорного сигналов в двухканальной оптической системе спектрального прибора и обеспечивает получение спектра отражения как функцию спектрального распределения коэффициентов отражения.

Единая диспергирующая система двухканального спектрального устройства обладает достаточно высокой спектральной разрешающей способностью $\delta\lambda \leq 1,8$ нм в рабочем спектральном диапазоне $\Delta\lambda = 520-820$ нм (и $\delta\lambda \leq 2-3$ нм на краях этого диапазона), необходимой для реализации в АПК алгоритма расчета содержания хлорофилла в растениях с применением деривативного вегетационного индекса. Она характеризуется широким динамическим диапазоном, благодаря применению специальных способов организа-

ПОЛЕВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДСПУТНИКОВОЙ ВАЛИДАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

ции приема и накопления сигналов с учетом величины вариации освещенности. Полевой спектрометр в составе АПК обеспечивает возможность регистрации спектров отражения растительности в формате коэффициентов отражения при изменениях освещенности в натуральных условиях измерений в диапазоне 10-100 тыс. люкс. Он снабжен оригинальным программным обеспечением, позволяющим в реальном масштабе времени получать ряд наиболее важных характеристик состояния растительности, например, содержание хлорофилла. Последний параметр можно измерять и для объектов, где отсутствует сплошное покрытие почвы растениями. Такого рода измерения представляют существенное затруднение в практике мировых исследований и осуществляются нашей аппаратурой, благодаря разработанному специальному методу обработки спектральных данных.

По сравнению с известным современным полевым спектро радиометром FieldSpec 4 FR [20] производства фирмы ASD (США), созданный образец специализированного АПК имеет следующие преимущества:

АПК не требует повторной перекалибровки при даже незначительном изменении освещенности, цветовой температуры источника освещения или угла солнцестояния;

АПК имеет возможность дистанционного определения содержания хлорофилла в растительности в полевых условиях.

Проверка экспериментального образца полевого АПК для дистанционного определения содержания хлорофилла в растительности в натуральных условиях осуществлялась на опытных участках Института физиологии НАН Украины и на опытных полях института в Васильковском районе Киевской области. Натурные и полевые испытания этого образца в натуральных условиях проводились на разных фазах вегетации в период весна-осень течение нескольких лет. Часть измерений проводили в условиях переменной облачности, что позволило получить спектры одного участка при разной интенсивности освещения.

По мере подъема над горизонтом солнце из красного становится в зените бело-желтым, а его цветовая температура повы-

шается с 2200°К до 5700°К. Цвет неба зависит от многих факторов и изменяется от голубого до синего. При этом, цветовая температура неба – более 15000 °К.

Результаты испытания в полевых условиях созданного образца спектрометрического АПК:

показали полное соответствие поставленным техническим требованиям в широком диапазоне освещенности 10.000 -120.000 лк, цветовой температуры источника освещения от 2200°К до 15000°К и зенитных углах Солнца до 170°. Изменение D_{725}/D_{702} составляло менее 1% и не зависило ни от уровня освещенности, ни от изменения угла солнцестояния [4];

подтвердили возможность измерения с помощью АПК содержания хлорофилла в условиях низких значений проективного покрытия почвы растительностью (до 25% включительно, даже на таком высоком фоне, как песок) [4, 13].

ВЫВОДЫ

Данные, получаемые при помощи бортовых мульти- и гиперспектральных сканеров, требуют валидации с помощью наземных спектрометрических полевых измерений. В связи с этим возникла необходимость создания специализированного спектрального АПК подспутникового обеспечения для дистанционного спектрометрического зондирования растительности в полевых условиях и проведения обработки полученной информации, в частности, расчета содержания хлорофилла в биомассе по специальным алгоритмам.

В данной работе рассмотрены как краткий поход к проблеме подспутниковой валидации, так и особенности конструкции созданного и испытанного авторами на протяжении нескольких лет экспериментального образца специализированного наземного полевого спектрального АПК для дистанционного исследования растительности. Эти испытания не только выявили преимущества прибора по сравнению с зарубежными аналогами, но и позволили получить ценную информацию, которая может быть положена в основу новых технологий в области вали-

дация космических и авиационных мульти- и гиперспектральных измерений.

Работа поддержана и ведется в рамках проекта УНТЦ № 5240.

ЛИТЕРАТУРА

1. АТ «KazGeoKosmos»: - [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.kgc.kz/tehnolog5.htm>.
2. Vegetaciuonu indeksu: Perechen indeksov i formul ih opredelenii [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.gis-lab.info/qa/vi.html>.
3. Flys I. 2010: Engineer project management of production and processing complexes / I. Flys – Motrol, 12 – 75–81.
4. Donets V.V. 2010: Obgrunruvanni strukturu aparaturno-programnogo kompleksy dly dustanciynogo zondyvanny roslunnisti v polovuh umivah: Aftoref. dus. kan. theh. nayk. – Kiev. – 19.
5. Donets V.V. 2012: Osobenotsi primeneniyy izluchenia v bortovuh giperspektrometrah / V.V. Donets, L.I. Muravskiy // Kosmicna nauka i tehnologiy. – T18. № 3. – 20–37.
6. Kosmicni: Kosmicni aparatu «Resurs-P» [Elektronui resurs] - Regum dostupu: http://geomatca.ru/pdf/2010_04/2010_04_004.pdf.
7. Kochubey S.M. 1988: Sviz otragennuh karakterustuk listiv ozumoi pchemutci s soderganiem u nih azota i hlorofila f techehii vegetacii / Kochubey S.M., Hadchina T.M., Kochubey N.I., Dmitriyev V.V. // Viziologii i biohimi kulturnuh rastenii. – T. 20., № 6. – 530 – 534.
8. Kochubey S.M. 1990: Spectalnuе svoistva listiev rasenii kak osnova metodov distancinnoi diagnostici / Kochubey S.M., Hadchina T.M., Kochubey N.I. – Kiev: Naukova dumka. – 136.
9. Dubrovin V. 2012: Proizvodstovo entomologicheskogo preparata trikhoggrammy / V. Dubrovin, G. Golub, O. Marus / – Motrol, 14 / – №3 – 9–20.
10. Donets V.V. 2008: Kosmicna nauka i tehnologii. – T 14. № 1. – 69–74.
11. Lylko V.I. 2006: Bagatospectralni metodu dustanciynogo zondyvanny zemli / Lylko V.I., Popov M.O. – Kiev: Naukova dumka. – 360.
12. Na Baykonur: Na Baykonur dostavilu kosmicniy aparat distanciynogo zonduvaniy «Resurs-P» [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.gisa.ru/90272.html>
13. Patent 2012: Patent Ukrainu № UA 70505 від 11.06.2012, М.кл. G01T 7/00. Poloviy spectrometr dly testuvaniy roslunnosti.
14. Icenko V.A. 2007: Novui metod distancionogo ocenivaniy soderganii hlorovila v rastitelnosti i ego programno-aparatnai realizaciy // Kosmicna nauka i tehnologiy. – T 13. No 3. – 35–44.
15. Barry P.S. 2001: The EO-1 Mission: Hyperion data/ P.S. Barry, J. Pearlman // August 14, — [Elektronui resurs] - Regum dostupu: www.fas.org/irp/imint/hyperion.pdf
16. Donets V.V. 2009: Optimal spectrometer synthesis for remote sensing of vegetation / V.V. Donets, O.V. Semeniv, V.A. Yatsenko // Tenth International Young Scientists Conference “Optics and high technology SPO 2009”, October 22–25, Kyiv, Ukraine, Scientific works. – 157.
17. FieldSpec: FieldSpec 4 Standard-Res Spectroradiometer [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.asdi.com/products/fieldspec-spectroradiometers/fieldspec-4-standard-res>
18. Kodak: Kodak Digital Science KAC – 1310 [Elektronui resurs] / – Regum dostupu: http://ljr.bagn.obsmp.fr/observing/docu/KAC1310_datasheet.pdf
19. Yatsenko V. Hardware-software Complex for Chlorophyll Estimation in Phytocenoses Under Field Conditions/ V. Yatsenko, S. Kochubey, V. Donets, T. Kazantsev 2005: // SPIE Europe International Symposium «Optical Systems Design», 12–16 September 2005, Friedrich-Schiller-Universitat Jena, Proc. of SPIE, Vol. 5964. – 6.
20. ZEMAX: Software for Optical System Design – [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.zemax.com>.

FIELD SPECTRAL VEHICLE-PROGRAM COMPLEX FOR SUBSATELLITE VALIDATION RESEARCH OF VEGETATION CONTROLLED FROM DISTANCE

Summary. The features of construction of the created field spectral apparatus-program complex for subsatellite are considered the validation research of vegetation controlled from distance.

Key words: complex, remote sensing, subsatellite validation.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛИВА ВИНОГРАДА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ИРАКА

Валерий Дубровин, Александр Броварець, Аль-Хазаали Хайдер Раад Надим

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Valery Dubrovin, Alexander Brovarets, Al-Hazaali Hayder Raad Nadim

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. На сегодня промышленное сельскохозяйственное выращивание винограда в условиях природно-климатических зонах Ирака на прямую зависит от наличия воды, использование которой для потребностей сельскохозяйственного производства четко регламентировано. От количество воды зависит площадь сельскохозяйственных угодий, для определения которой необходимо оперировать понятием «management water» (планирование затраты воды). В связи с этим возникает необходимость изучения состояния проблемы и исследования целесообразности разработки комплекса оборудования для оптимизации полива при выращивании винограда. Установлена необходимость использования современных систем мониторинга состояния грунтовой среды для обеспечения оптимального использования и учета воды при выращивание винограда путем реализации дифференциального полива. Предложенная система позволит оптимизировать расходы воды при общем уменьшении ее затраты на 20 %.

Ключевые слова: «management water», дифференцированный полил, виноградарство, мониторинг, полил.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Виноградарские районы Ирака характеризуются длительным безморозным периодом, большим количеством теплая и низкой влажностью воздуха, достаточным плодородием почв, что дает возможность выращивать высококачественный виноград. Но недостаточное водоснабжение и частые засухи не дают возможности растениям эффективно использовать космические факторы (светло,

тепло) и питательные вещества почвы, что негативно влияет на урожайность винограда.

Сравнительно с другими сельскохозяйственными культурами виноград отмечается повышенной засухоустойчивостью, которая обусловлена сильным развитием и глубоким проникновением корневой системы, большой силой корней и листков, рациональной работой внутренних водорегулирующих систем. Однако в очень засушливые годы наблюдается резкое уменьшение прироста урожайности и даже массовая гибель кустов.

Влажность почвы – важный фактор, который определяют долговечность и производительность винограда.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным проф. С.О. Мельника, виноград наилучшее растет и плодоносит тогда, когда годовая сумма осадков составляет 800–700 мм и если они равномерно распределяются. При меньшем количестве осадков или при неблагоприятном их распределении по фазам вегетации урожай винограда снижается и ухудшается качество ягод [1-10].

По мере увеличения нехватки влаги в почве растения вынуждены экономнее ее расходовать. Это достигается уменьшением ширины продыхающих щелей и повышением водоудерживающей способности листков. Усиление гидролиза высокомолекулярных соединений в засушливых условиях приводит к нагромождению осмотический активных веществ и повышению силы и концентрации клеточного соку листьев. Наступают условия, когда гидролиз крахмала и белковых веществ превышает их синтез. Вследствие этого прекращается рост побегов и

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛИВА ВИНОГРАДА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ИРАКА

ягод винограда и даже наблюдается увядание последних (Турьянский Г.Ф., 1967).

Наиболее негативно на рост, развитие и плодоношение винограда влияет нехватка влаги в почве в первой половине вегетации – от начала движения сока до конца цветения. Побеги, достигнув 30–40 см длины, прекращают рост, во время цветения пилочки теряют фертильность, наблюдается массовая обсыпка цветков, погибают ягоды. Засуха во второй половине вегетации негативно влияет на массу ягод и гроздьев, накопления сахаров и запасных питательных веществ, морозоустойчивость растений. Избежать негативного влияния засух на растения можно путем орошения. Суммарные расходы ее определяются природными условиями (климат, рельеф, почвы, осадки), биологическими особенностями сортов, урожайностью насаждений и уровнем агротехники.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование проблемы водообеспечения сельскохозяйственных угодий при выращивании винограда в природно-климатических зонах Ирака.

Возникает необходимость исследовать состояние проблемы и необходимость разработки комплекса оборудования для полива винограда при выращивании в природно-климатических зонах Ирака, решение которой предлагается путем использования систем мониторинг вариабельности параметров грунтовой среды, в частности влажной. Владение такой информацией даст возможность принять решение относительно эффективного управления системой водообеспеченности почвы, на которых выращивается виноград, путем мониторинга имеющейся влаги и ее потребности соответственно вегетационному периоду.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Потребность винограда в воде значительно изменяется за фазами вегетации. Это можно проиллюстрировать данными из суммарных суточных расходов воды на виноградниках (рис. 1). На орошаемых и неорошаемых участках графическое изображение средних суточных расходов воды в течение вегетации имеет характер одновершинной кривой.

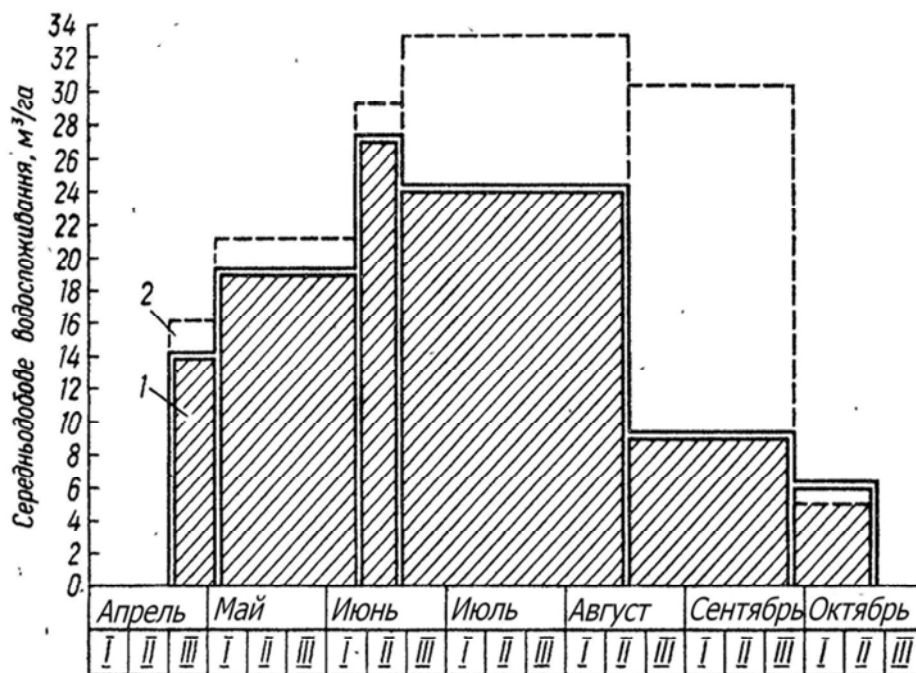


Рис. 1. Среднесуточное водопотребление винограда:

1 – контроль (без орошения); 2 – орошение

Fig. 1. Average daily water usage of grape:

1 – control (without irrigation); 2 – irrigation

После начала движения сока водопотребления кустов постепенно растёт, достигая максимума в фазах цветения и роста ягод, а затем потребность в воде уменьшается.

В первой половине вегетации (до конца цветения), когда в почве на виноградниках имеется достаточное количество влаги, заметных отмен в водопотреблении кустов на орошаемых и неорошаемых участках нет.

В фазе роста ягод среднесуточные расходы воды на неорошаемых участках уменьшаются на 25–80 % а в фазе созревания ягод – больше чем в три раза. В этот период на участках без орошения запасы влаги в почве незначительны, а атмосферные осадки не могут их существенно пополнить, что приводит к резкому снижению водопотребления кустов и их производительности. В целом за вегетацию водопотребления растений при орошении почти в полтора раза выше, чем на неорошаемых участках.

Большая часть Ирака расположена в пределах Месопотамской низменности овины. Топоним "Месопотамия" переводится как "Междуречье", так назвали заболоченную долину рек Тигру и Евфрату. Территория Мессопотамии географически очерчена на севере Армянскому нагорью, на востоке – горами Загроса, на юге – Персидским заливом, на западе – Аравийской пустыней [2] (рис. 2).

Южная Месопотамия лежит в зоне пустынного климата. С середины марта до конца ноября, особенно в июле – августе, там стоит жара, температура воздуха в тени не ниже + 30 °С. Зимой нередко идут ливни, которые превращают долину в сплошную трясины.

Тигр и Евфрат несут в пустыню влагу и ежегодно откладывают в долине около 3 млн. т илу, формирующие плодородные аллювиальные почвы Месопотамии. Чтоб освоить южные месопотамские болота населению пришлось построить сложную ирригационную систему, способную обеспечить поля нужным количеством влаги и спасти страну от катастрофических наводнений.

Природно-климатические условия на севере Месопотамии существенно отличаются от южных.

Основное снежно-дождевое питание Евфрат получает в горной части бассейна. Для

защиты от наводнений в низменности построенные гидротехнические сооружения, русло Евфрат на большом сквозняке обвалывает. Воды Евфрату с давних пор широко используются для орошения. Лишь на территории Ирака около 1 млн. га орошается ирригационными каналами. Кроме того, около 560 тыс. га орошается насосными установками и др. оборудованию [2].

Климат в Ираке континентален, с сухим и исключительно жарким летом и относительно дождевой прохладной зимой, на севере субтропический, на юге тропический. Годовое количество осадков 50-150 на равнинах и до 1500 мм в горах [3].

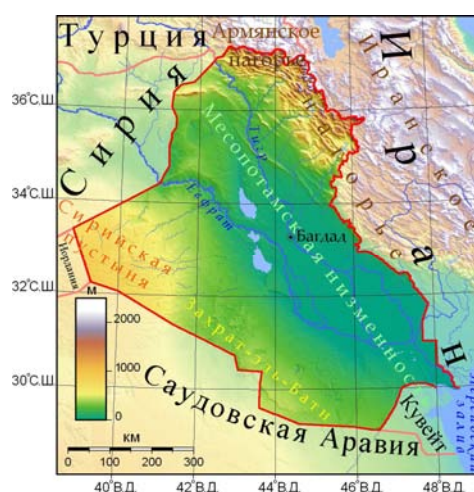


Рис. 2. Географическое расположение Ирака
Fig. 2. Geographical position of Iraq

В большинстве рекомендаций из агротехники винограда, если он выращивается с применением орошения, отмечают последние сроки полива растений за три-четыре недели до созревания [4]. Для красивого развития растений и получения высоких урожаев необходимо выпадение не менее 600-700 мм осадков на год. И это при условии, что они так распределяются за сезонами, что в период созревания урожая их выпадает достаточное количество, которое обеспечивает нормальное развитие растений.

Рациональное орошение предусматривает полив таким образом, чтобы обеспечить в полной мере потребности растений в воде на протяжении всех фаз вегетации. Только в этом случае возможно получение высоких урожаев винограда красивого качества. Основные поливы на винограднике – влагозарядные и вегетационные.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛИВА ВИНОГРАДА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ИРАКА

Влагозарядные поливы проводят осенью или весной к началу вегетации кустов с целью создания запасов влаги как для успешного их зимования, так и для обеспечения достаточного количества влаги в начале вегетации. В период вегетации проводят поливы винограднику перед цветением, после его завершения и на момент начала размягчения ягод. Причем объемы воды, использованной для полива, во многом зависят от погодных условий и особенностей почвы. Что меньше выпадает осадков и что легче почва за своим механическим составом (песчаные, супесчаные), то больше воды необходимо для поливов. Такая практика поливов складывалась на протяжении многих лет.

Основная цель вегетационных поливов – поддерживать определенную влажность почвы летом. Влагозарядный полив проводится в осенний период, к укрытию виноградных кустов или рано весной к началу вегетации. Осеннее или весеннее насыщение влагой обеспечивает достаточный запас влаги в почве к середине мая, обуславливая более дружное распускание ленток, нормальный рост и плодоношение.

Наиболее распространенный способ полива виноградников – бороздковый. Для этого в каждом междурядье делают одну-две поливальные борозды, у которых малой струей, не допуская размывов, пропускается вода к полному увлажнению почвы. Количество борозд в междурядьях зависит от ширины кустов, возраста и свойств почвы. Если расстояние между рядами 1,5-1,7 метров, в междурядье делают одну борозду, при расстоянии 2 метра – две, а при ширине междурядья-2,5-3 метры – три борозды.

Но в последнее время, часто затяжные периоды без осадков с очень высокими температурами воздуха приходится на вторую половину лета. Именно в этот период происходит созревание урожая. При остром дефиците влаги во время длительного и засушливого периода у виноградных растений наблюдается вялость, и даже засыхание листьев. Часть листьев при этом преждевременно стареет, приобретая желтую или бордовую расцветку в зависимости от сорта. Нехватка влаги и очень сухой воздух в сочетании с высокими температурами вызывают

вялость ягод в гроздьях. Оно, как правило, начинается снизу гроздья и потом распространяется на его верхнюю часть, затем усыхает и гребень. Больше всего от нехватки влаги страдают высокоурожайные сорта. Большое количество гроздьев, большие ягоды, крепкие побеги особенно прихотливые к наличию влаги в почве. Поэтому даже если не весь урожай погибает из-за недостатка влаги, его потери все же очень значительны. Гроздья и ягоды винограда будут меньшими обычных сортовых размеров. Они накапливают мало сахара, у них медленно снижается кислотность, через низкое давление в клетках кожицы ягод, худшей становится транспортабельность винограду. Особенно прихотливые к наличию влаги в почве молодые кусты, в которых еще не сформировалась мощная корневая система, способная глубоко проникать в почву [6].

Поэтому для обеспечения нормального развития виноградных растений и вызревания полноценного урожая винограднику необходимы поливы. Если произошло значительное осушение почвы, то поливы следует проводить за несколько приемов, постепенно увеличивая их длительность и объемы воды. Очень интенсивные разовые поливы после длительного засушливого периода могут повлечь растрескивание ягод у некоторых сортов и гибридных форм. Поэтому, выполняя поливы винограднику, необходимо учитывать такую угрозу для урожая. Но это уже больше проблема не агротехники, а отбора сортов и гибридных форм.

Сроки и нормы поливов в каждом конкретном случае должны определяться почвенно-климатическими условиями, состоянием гидрогеологии участка, возрастом насаждений, биологическими особенностями отдельных сортов (сроки созревания ягод). Кроме того, в границах одного района в разные годы выпадает неодинаковое количество осадков, изменяется их распределение за фазами вегетации, а тому режим поливов должен ежегодно уточняться учитывая условия каждого виноградника.

Большое значение для обеспечения высокой результативности полива в период созревания ягод имеет выбор способов его выполнения. Самую низкую эффективность

имеют поверхностные поливы почвы. Несколько высшая эффективность поливов, которые проводятся по бороздам, что прокапываются в междурядьях винограду. Проведение таких поливов связано с очень большими потерями воды через ее быстрое испарение из поверхности почвы, к тому же происходит его засолка. Похожие результаты отмечаются и после полива дождеванием. Причем в условиях очень жаркой погоды поливы дождеванием можно проводить только в ночное время. Значительно более рациональные почвенный полив растений, если на винограднике устроенная система для его проведения, и капельное орошение. В этом случае вода поступает непосредственно в почвенные горизонты, где размещенная основная масса корней. При этих способах орошения винограду имеется возможность регулировать подачу воды для каждого растения отдельно. Это позволяет не только рационально использовать воду, но и осуществлять поливы растений в зависимости от их состояния и потребности в воде.

Важно при проектировании затраты воды в условиях Ирака оперировать понятием «water management». Эта систем призвана регулировать количества посевных площадей из расчета наличного количества воды в долинах год Тигру и Евфрату. Поскольку количество осадков слишком малая для эффективного ведения сельскохозяйственного производства необходимо осуществлять планирование затраты воды для потребностей сельскохозяйственного производства.

В большинстве районов Ирака недостаточно того количества влаги, которая выпадает с осадками, поэтому необходимо искусственное орошение. Высокие температуры и крайне низкая влажность воздуха в летний период вызывают большую затрату воды на испарение, передвижение питательных веществ в растении и ее охлаждение. Количество затраты виноградным растением влаги зависит от возраста и фазы развития куста, метеорологических условий, а также от запасов почвенной влаги.

С использованием существующих оросительных систем выращивания винограда в природно-климатических условиях Ирака невозможно достичь эффективного планиро-

вания и прогнозирования затраты воды, поскольку они не учитывают состояния почвенной среды и потребность у воды в зависимости от вегетационного периода. Для обеспечения повышения эффективности управления оросительными системами необходимо использовать прогрессивные системы орошения (капельное орошение) в сочетании с современными системами мониторинга состояния почвенной среды, в частности определение влажности почвенной среды.

ВЫВОДЫ

Виноград принадлежит к растениям, которые употребляют значительное количество влаги, но могут расти и при недостаточной водообеспеченности. При нехватке почвенной влаги меньше усваиваются питательные вещества почвы, снижаются прирост виноградного куста и урожайность.

Существует неотложная необходимость разработки комплекса оборудования для мониторинга имеющейся влаги в почве и осуществления соответствующего полива винограда. Эти задания можно реализовать путем разработки и осуществления СР-технологии выращивания винограда, как для условий Украины, так и с учетом особенностей, присущих Ираку.

Новая система технического, технологического и информационного обеспечения позволит оптимизировать расходы воды на протяжении вегетационного периода растений при общем уменьшении потребностей в ее использовании до 20 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Romashko M.I., Korunenkov V.M., Kalenikov A.T. i dr. 2004: Mikrooroshenie selskohoostvtnuh kultur // Melioracui I vodnoe hozistvo, – Vup. 90. –63–86.
2. Mehdi El-Sahaf, Zonn I.S. 1967: Sovremennoe sostoyanie irrigatsii in basseyne Efrat (Irac), «Gidrotehnica I melioratsiya», № 2.]
3. <http://www.ntv.ru/novosti/163881/#ixzz2tCXuMcSF/>
4. <http://ukr.zmk-ua.com/articles/2012/32/1000498-p10-zroschennya-vinogradniku-pidchas-dozrivannya-vrozhayu.html>

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛИВА ВИНОГРАДА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ИРАКА

5. Granovska L.M., Tetorkina O.Ye. 2006: Ob-runtuvannya doslidgen z pitan zasolennya that osolontsyuvannya – runtiv at zastosuvanni kraplinnogo zroshennya mineralizovanimi by waters. *Stattya / Tavriyskiy naukoviy visnik. Zbirnik naukovih prats HDAU. Vip. 44. – Kherson: Aylant.* – 188 – 190.
6. Sologubov Yu. 2003: "Little drops are the large income / magazine "Agrooglyad", 09.12.
7. Keller D., Karmeli D. 1976: Proektirovanie systems of tiny irrigation (1th izd.). – Kiev: Ukrqiprovodhoz, translation № 76 / 578. – 166.
8. Malzer G.L., Mulla D.J. and Murrell T.S. 2001: Getting Specific with Site-Specific Nutrient Management. The Site-Specific Management guidelines series published by the Potash & Phosphate Institute. – 78–81.
9. Olteanu C., Zamfira S., Oltean Gh., Olteanu F., Turcu C. 2004: Mechatronics in Agriculture – One of the Research Directions within the Precision Mechanics and Mechatronics Department with Transilvania University of Brasov.(Ed. MondoR), Revista Mecatronica nr. 2, Bucuresti, – 72–76.
10. Kompleksniy 2011: Kompleksniy pokaznik efectivnosti sistemu mashin v roslunnetvi // V. Dubrovin, E. Krasowski, I. Rogovski / – Motrol, том 3. – 20 – 24.
11. McBratney A.B., Whelan B.M, Walvoort D.J.J., Minasny B. 1999: A purposive-samplings-chemefor precision agriculture. In:Proceedings of the 2nd European Conferenceon Precision Agriculture. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK. – 101–110.
12. Malicki M.A., Walczak R.T. 1999: Evaluating soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity. *European Journal of Soil Science* 50, 505–514.
13. Seyfried M.S., Grant L.E., Du E., Humes K., 2005: Dielectric loss and calibration of the hydra probe water sensor. *Vadose Zone Journal* 4, 1070–1079.
14. McBratney A.B, Whelan B.M, Walvoort D.J.J., Minasny B. 1999: A purposive-samplings-chemefor precision agriculture. In:Proceedings of the 2nd European Conferenceon Precision Agriculture. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK. – 101–110.
15. Minasny B., McBratney A.B. 2006: A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*,32, 1378–1388.
16. Rhoades J.D., Corwin D.L., 1981: Determining soil electrical conductivity – depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. *Soil Sci.Soc. Am. J.* – 255–260.
17. Bosch D.D., 2004: Comparison of capacitance-based soil water probes in coastal plain soils. *Vadose Zone Journal* 3,1380–1389; Seyfried M.S., Grant L.E., Du E., Humes K., 2005. Dielectric loss and calibration of the hydra probe water sensor. *Vadose Zone Journal* 4, – 1070–1079
18. Cochran W.G. 1977: *Sampling Techniques*.Wiley, New York. p. Di .H.J., Trangmar B.B., Kemp R.A. 1989. Use of geostatistics in designing sampling strategies for soil survey. *Soil Science Society of America Journal*, 53, – 1163–1167.
19. Won I.J. and Haoping Huang. 2004: Magnetometers and electro-magnetometers. *THE LEADING EDGE*. May. – 26–29
20. Kraus J.D. 1992: *Electromagnetics*. McGraw Hill, Inc. 847p. Leao T.P., 2009; Raju G.G. 2003. *Dielectrics in Electric Fields*. Dekker. – 578.
21. Flys I. 2010: Engineer project management of production and processing complexes / I. Flys – Motrol, 12 – 75-81.

STATE OF PROBLEM AND NECESSITY OF DEVELOPMENT OF COMPLEX OF EQUIPMENT FOR WATERING OF VINE AT GROWING IN AREAS OF IRAQ

Summary. For today industrial agricultural viniculture in conditions of nature climate areas of Iraq on a line relies on the presence of water, the use of which for the necessities of agricultural production is expressly regulated. From the quantity of water depends area of agricultural lands, for determination of which it is necessary to operate to notions of «management water» (planning of expenditure of water). In this connection there is the necessity of study of the state of problem and research of expedience of development of complex of equipment for optimization of watering at viniculture. The necessity of the use of the modern systems of monitoring of the state of the ground environment is set for providing of the optimum use and consideration of water at viniculture by realization of the differential watering. The offered system will allow to optimize the charges of water at common reduction of its expenditure on 20 %.

Key words: «management water», differentiated poured, viticulture, monitoring, poured.

ВЕНТИЛЯТОРНОЕ ОПРЫСКИВАНИЕ ВИНОГРАДНИКОВ КАК ПРОЦЕСС ФИЛЬТРОВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ

Екатерина Серая

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Kateryna Syera

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Технологический процесс вентиляторного опрыскивания рассмотрен как процесс фильтрации двухфазного аэрозоля сквозь крону растения. Предлагается модель, которая дает возможность количественно описать процессы, происходящие при опрыскивании растений, выявляет закономерности движения потока сквозь крону и может быть использована для проектирования конструкции и режимов работы рабочих органов вентиляторных опрыскивателей.

Ключевые слова: опрыскиватель, поток, вентилятор, фильтрация, аэрозоль, модель, виноградник, граничные условия.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Виноград по своему экономическому значению занимает особое место среди прочих сельскохозяйственных культур, возделываемых на юге Украины. Виноградарство неразрывно связано с виноделием и является одной из приоритетных отраслей развития агропромышленного комплекса АР Крым, где площади виноградников составляют более 31,7 тыс.га [1]. Вместе с тем по прогнозам ученых оптимальная площадь виноградниковых насаждений на полуострове может составить около 85-90 тыс. га, а валовой сбор – на уровне 500-550 тыс. тонн [2].

Площади закладки виноградных насаждений как в АР Крым, так и в целом по Украине, имеют тенденцию к увеличению [1, 3]. Поэтому можно прогнозировать увеличение спроса на специализированную технику для ухода за виноградниками. Химическая защита является обязательным агротехнологическим приемом, от качества и своевременности выполнения которого во многом зависит рентабельность сельскохозяйственного производства. По данным Органи-

зации по продовольствию и сельскому хозяйству ООН (ФАО) ежегодный ущерб, который наносят вредители и болезни сельскохозяйственных культур, составляет 20-25% потенциального мирового урожая продовольственных культур [4].

Вентиляторные опрыскиватели – являются основными средствами механизации технологического процесса опрыскивания виноградников. В 2013 году в перечне рекомендуемой к использованию техники украинских и зарубежных производителей базы данных Министерства аграрной политики Украины [5] представлено 74 машины для химической защиты растений, из них только 13 производства Украины и стран ближнего зарубежья, из которых 5 – это вентиляторные опрыскиватели.

Ежегодно на виноградниках проводят от 7 до 8 опрыскиваний [6]. В отдельные года, когда климатические условия благоприятствуют развитию популяции вредителей и болезней, количество опрыскиваний достигает 15 раз за сезон.

Фенологические фазы – внешние морфологические проявления роста растений в период их вегетации. Смена фаз происходит в результате жизнедеятельности организма и обусловлена развитием или изменением жизненных функций его органов [2]. Ежегодно период вегетации виноградного куста проходит ряд фенологических фаз: набухание и распускание почек (апрель); образование на побегах 3-4 листьев (конец апреля - начало мая); образование на побегах 5-6 листьев, длина побегов 25-30 см (май); обособление бутонов в соцветиях (конец мая - начало июня); завязывание ягод - начало роста ягод (июнь); рост ягод и их созревание (июль-сентябрь). Каждая из этих фаз характеризуется различной площадью листовой

ВЕНТИЛЯТОРНОЕ ОПРЫСКИВАНИЕ ВИНОГРАДНИКОВ КАК ПРОЦЕСС ФИЛЬТРОВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ

поверхности, размерами побегов, соцветий, ягод и других частей виноградного растения.

Опрыскиватель должен обеспечить полное и равномерное покрытие растений рабочим раствором при каждой из фенологических фаз развития растения. Вместе с тем, развитие теории пока еще не привело к убедительному количественному анализу процессов распыла жидкости при неупорядоченном, турбулентном движении жидкости и для создания приемлемых методов расчета опрыскивателей [8].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Механизации химической защиты сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней посвящено множество теоретических и экспериментальных работ.

Научные исследования проводили как научно-исследовательские учреждения (НИИВиВ «Магарач», НИИВиВ им. В. Е. Таирова, Молдавский НИИ СВиВ и другие), так и отдельные ученые. Большой вклад в развитие теории опрыскивания внесли такие авторы как Нагирный Ю.П., Георгиев М.П., Болбочан Е.К., Леонтьева И.А., Хантадзе М.З., Гущин Е.Г., Цырин А.А., Прокопенко В.Ф., Зейликман Х.Н., Войтюк Д.Г., Заика П.М., Догота П.А. и дру-

гие. Их выводы, формулы и рекомендации до настоящего времени используются для расчета и конструирования вентиляторных опрыскивателей.

Из литературных источников [7, 8, 9, 19, 20] известно, что для описания технологического процесса вентиляторного опрыскивания, а именно для истечения воздушно-жидкостной струи в пространство, общепринято использовать теорию турбулентных струй [10]. При этом принято допущение, что выходящий из сопла вентилятора воздушный поток имеет вид осесимметричной свободной затопленной струи (рис. 1).

Схема струи условно разделена на два участка – начальный и основной. Начальный промежуток характеризуется ядром потока, скорость которого постоянна и равна начальной.

Вследствие хаотичного перемешивания турбулентных вихрей, поток отдает часть своей кинетической энергии частицам окружающего воздуха, постепенно теряет скорость и затухает.

При отсутствии посторонних возмущений поток расширяется пропорционально расстоянию от сопла. Каждая струя имеет свой постоянный угол бокового расширения α , зависящий от степени турбулентности потока. В любом поперечном разрезе за пределами ядра эпюры скоростей подобны.

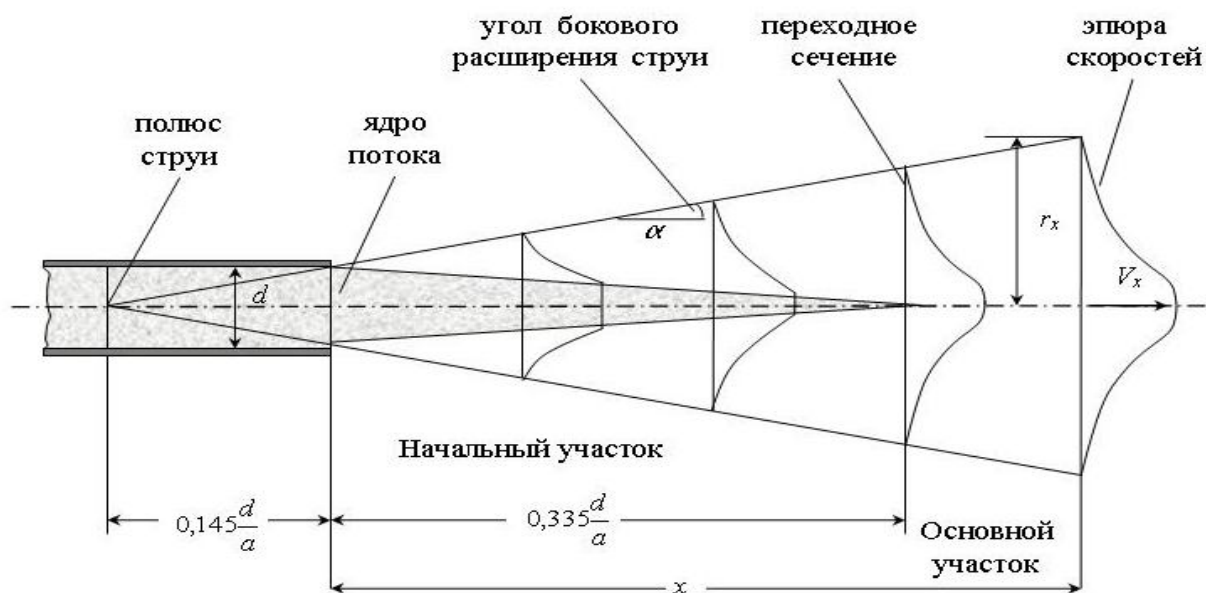


Рис. 1. Аэродинамическая схема осесимметричной свободной струи
Fig. 1. Aerodynamic scheme of the symmetrically floated flow

Осевую скорость струи, вытекающей из круглого отверстия, на основном промежутке можно определить по формуле [7]:

$$v_x = \frac{0,48 \cdot v_0}{\frac{a \cdot x}{d} + 0,145}, \quad (1)$$

где: x – расстояние от сопла, м;

v_x – скорость воздушного потока на расстоянии x от выходного отверстия, м/с;

v_0 – скорость воздушного потока на выходе из сопла, м/с;

d – диаметр сопла, м.

Коэффициент турбулентности потока a предлагается выбирать в пределах от 0,07 до 0,14 [9].

Количество воздуха, протекающее за 1 секунду в произвольном сечении основного участка струи Q_x равно [7]:

$$Q_x = 4,36 \cdot Q_0 \cdot \left(\frac{a \cdot x}{d} + 0,145 \right), \quad (2)$$

где: Q_0 – производительность струи на выходе из сопла, соответствующая максимальной.

Зависимости (1) и (2) позволяют производить расчет средней скорости потока и параметров распыливающих устройств вентиляторных опрыскивателей.

Недостаток заключается в том, что истечение струи рассматривается в свободном пространстве.

В результате имеет место идеализация процесса и не учитываются характеристики растения, расположенного на пути потока.

Вышеизложенные положения являются основой для дальнейших теоретических разработок.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Провести анализ процесса опрыскивания виноградного растения, как процесса фильтрации аэрозоля сквозь проницаемую перегородку.

Разработать теоретическую модель распространения воздушно-жидкостного потока в некотором объеме для расчетов параметров технологического процесса опрыскивания на основе турбулентной диффузии частиц в кроновом пространстве.

Представить численную реализацию модели с использованием, к примеру, сеточных методов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основе предлагаемого теоретического описания процесса вентиляторного опрыскивания положена гипотеза, что опрыскивание, а именно осаждение пестицидов в кроне растения, следует рассматривать как процесс фильтрации двухфазного аэрозоля сквозь крону растения (рис. 2).

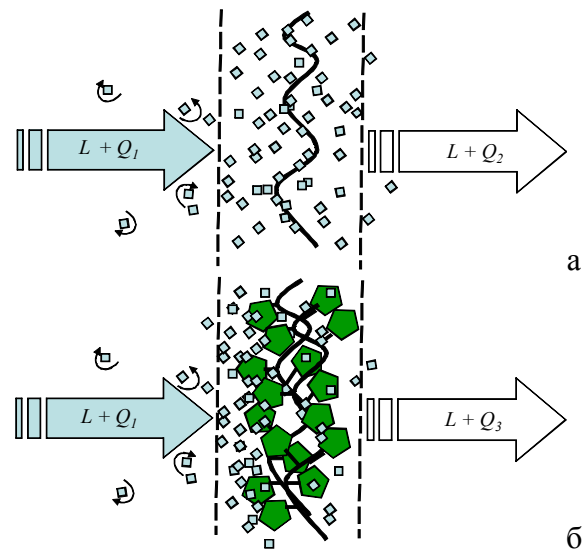


Рис. 2. Схема фильтрации аэрозоля сквозь крону растения:

- а) листья на растении отсутствуют; б) вегетирующее растение

Fig. 2. Scheme of aerosol filtration through plant canopy:

- a) a plant without leaves; b) vegetation of a plant

Тогда суть процесса заключается в следующем. Приточный газовый поток, состоящий из воздуха L (м^3) и распыленных капель рабочей жидкости Q_1 (м^3), проходит сквозь кроновое пространство растения. Крона растения рассматривается как фильтровальная перегородка. Соприкасаясь с поверхностью перегородки, капли задерживаются и оседают. В результате воздушно-жидкостная смесь разделяется на воздух и осадок. Основной механизм улавливания капель на горизонтальных поверхностях это гравитационное осаждение, на вертикальных – инерционное столкновение.

Тогда, эффективность опрыскивания (фильтрации) можно охарактеризовать показателем очистки воздушного потока от примесей:

ВЕНТИЛЯТОРНОЕ ОПРЫСКИВАНИЕ ВИНОГРАДНИКОВ КАК ПРОЦЕСС ФИЛЬТРОВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ

$$\eta_{ov} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100 \% , \quad (3)$$

где: Q_1 – количество жидкости в потоке на входе в кроновое пространство, м^3 ;

Q_2 – количество жидкости, перелетевшей за пределы кроны, м^3 .

Теория фильтрации аэрозолей сквозь проницаемую перегородку представляет собой один из разделов механики жидкости и газа. В настоящее время накоплено много теоретической и практической информации в данной области. Чтобы установить какие закономерности теории фильтрации можно использовать для описания процесса опрыскивания и для решения поставленных в диссертационной работе задач, введем следующие допущения.

Во-первых, условно разделим воздушно-жидкостный поток на три участка в зависимости от места расположения относительно кроны (рис.3). Перед входом в крону – наветренная сторона растения.

I. Крона растения – фильтровальная перегородка.

II. Внутренняя – подветренная сторона растения.

Перед входом в крону закономерности движения потока хорошо согласуется с общепринятой теорией турбулентных струй. В кроне движение потока подчиняется закономерностям фильтрации аэрозолей сквозь проницаемую фильтровальную перегородку.

На внутренней стороне – закономерностям обтекания воздушным потоком тел различной формы. Поскольку основной прикладной задачей является выбор режимов подачи воздушного потока L и жидкости Q в зависимости от размеров растения, далее будем рассматривать последовательно эти участки.

Во-вторых, пусть для описания процесса опрыскивания можно использовать основное дифференциальное уравнение фильтрации с образованием несжимаемого осадка на несжимаемой перегородке [11, 12]:

$$\frac{dL}{S \times d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu \times R_{\phi.n.}} , \quad (4)$$

где: L – объем фильтруемой среды (в случае опрыскивания это воздух), м^3 ;

S – площадь поверхности фильтрации, м^2 ;

τ – продолжительность фильтрации, с;

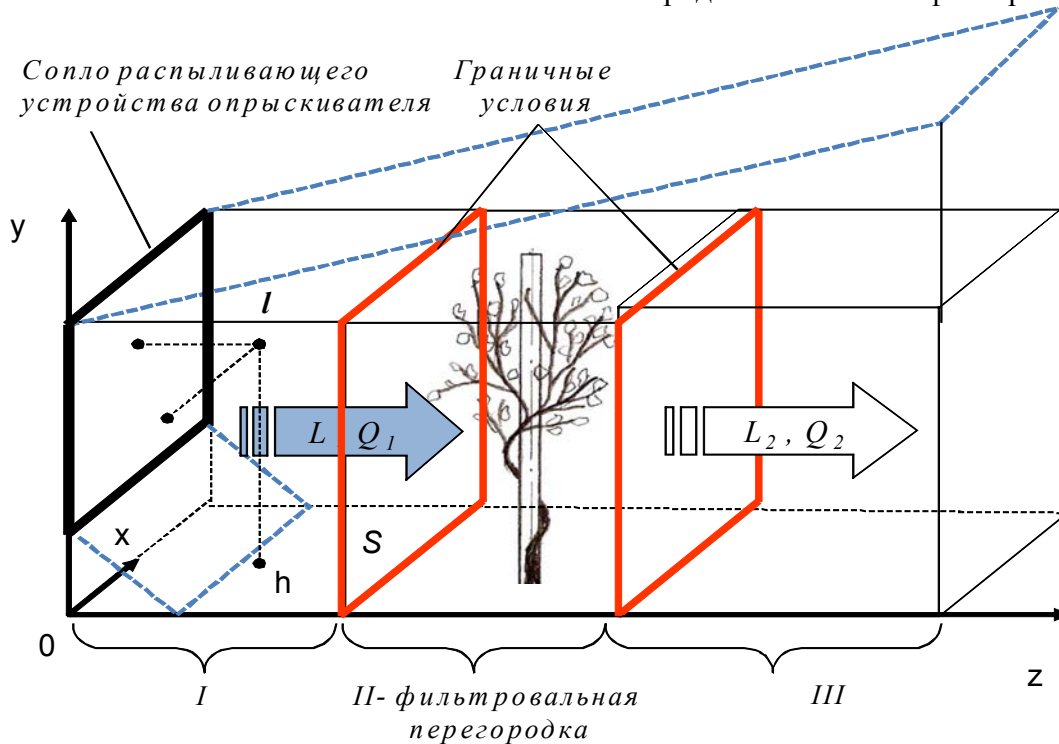


Рис. 3. Модель проникновения воздушно-жидкостного потока в кроновое пространство растения при опрыскивании: I – подветренная сторона; II – кроновое пространство; III – подветренная сторона

Fig. 3. The model to the air-liquid flow expansion through canopy: I – before the wind; II – canopy; III – downwind side

Δp – разность давлений, вызывающая фильтрацию аэрозоля через рассматриваемый участок фильтровальной перегородки, Па;

μ – вязкость, Н·с·м⁻²;

$R_{\phi.n.}$ – общее сопротивление фильтровальной перегородки, м⁻¹.

Таким образом, количество фильтрата может быть определено интегрированием дифференциального уравнения:

$$dL = USd\tau, \quad (6)$$

то есть вычислением интеграла:

$$L = \int_0^{\tau} USd\tau. \quad (7)$$

Скорость фильтрации так же можно описать уравнением движения Эйлера (правая часть уравнения 4):

$$U = \frac{\Delta p}{\mu \times R_{\phi.n.}}. \quad (8)$$

Формула (8) показывает, что скорость фильтрации пропорциональна перепаду давлений Δp на наветренной и подветренной (относительно направления воздушного потока) поверхностях растения и обратно пропорциональна сопротивлению воздухопроницаемости куста. Перепад давления можно выразить как:

$$\Delta p = p_{ветт} - p_{атм}, \quad (9)$$

где: $p_{ветт}$ – давление воздуха на наветренной стороне куста, Па;

$p_{атм}$ – невозмущенное атмосферное давление, Па.

Сопротивление растения, как фильтровальной перегородки, определяется по формуле:

$$R_{\phi.n.} = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (10)$$

где: R_1, R_2, \dots, R_n – сопротивления отдельных элементов биомассы растения.

Проведем моделирование поведения воздушно-жидкостного потока перед входом в крону [13]. Согласно положениям фильтрации аэрозолей поток является двухфазной средой, смесью газа (воздуха) с мелкими частицами жидкости. Полагаем, что движение частиц в потоке в целом подчинено законам движения воздуха. Процесс проникновения распыляемого вещества в этот объем представим уравнением диффузии. Глубина проникновения потока $h = h(t)$ в параллелепипед – функция времени t (рис. 3, участок I).

Тогда, левая часть уравнения (4) представляет собой скорость фильтрации: количество фильтрата L , прошедшего через единицу площади поверхности фильтрации S за единицу времени τ :

$$U = \frac{dL}{S \times d\tau}. \quad (5)$$

Переходя к безразмерной переменной $\xi = \frac{z}{h}$, в переменных ξ и t уравнение турбулентной диффузии можно представить в виде:

$$a(c, \rho) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{h^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial \xi} \right) + a(c, \rho) \frac{dh}{dt} \cdot \frac{\xi}{h} \cdot \frac{\partial T}{\partial \xi} - a(c, \rho) \frac{1}{h} \frac{\partial h_0}{\partial t} \cdot \frac{\partial T}{\partial \xi} - \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial S}{\partial \xi} + M, \quad (11)$$

где: c – коэффициент диффундирования,

ρ – плотность среды,

λ – коэффициент, связанный со скоростью заполнения объема,

T – концентрация,

$\frac{\partial h_0}{\partial t}$ – показатель приращения слоя,

S – показатель потока [14, 18],

M – учет влияния перемешивания на концентрацию по направлению оси Oz .

Для расчета потока в объеме применяется экспоненциальная зависимость $S(\xi) = S(0) \exp(-\alpha h \xi)$, где α – коэффициент ослабления.

Параметризация уравнения (11) может быть осуществлена на основе уравнения для кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации. Коэффициент турбулентной диффузии λ может быть определен следующим образом [15, 16]:

$$\lambda = c\rho k, \quad (12)$$

где k – коэффициент турбулентности:

$$k = C_{\xi} \frac{E^2}{\varepsilon}. \quad (13)$$

При этом кинетическая энергия турбулентности имеет вид:

$$E = \frac{1}{2} \sqrt{\dot{u}^2 + \dot{v}^2 + \dot{w}^2}. \quad (14)$$

Турбулентная энергия E и скорость ее диссипации ε :

ВЕНТИЛЯТОРНОЕ ОПРЫСКИВАНИЕ ВИНОГРАДНИКОВ КАК ПРОЦЕСС
ФИЛЬТРОВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\alpha_E}{h^2} \frac{\partial}{\partial \xi} k \frac{\partial E}{\partial \xi} + \frac{\xi}{h} \frac{\partial h}{\partial t} \frac{\partial E}{\partial \xi} + p - \varepsilon, \quad (15)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\alpha_\varepsilon}{h^2} \frac{\partial}{\partial \xi} k \frac{\partial \varepsilon}{\partial \xi} + \frac{\xi}{h} \frac{\partial h}{\partial t} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \xi} + C_1 \frac{\varepsilon}{E} (p - \varepsilon),$$

где: α_E и α_ε – безразмерные величины;
 C_1 – функция числа Рейнольдса (Re):

$$C_1 = \frac{C_0}{1 + \frac{0,69(2 - C_0)}{\sqrt{Re}}}, \quad (16)$$

$$Re = \frac{\left(\frac{2E}{3}\right)^2}{\nu \varepsilon}, \quad (17)$$

где: ν – молекулярная вязкость смеси (химикат + воздух); $C_0 = \text{const}$.

Определимся с граничными условиями. Для составляющих вектора скорости потока на поверхности $\xi = 0$ будем иметь следующие зависимости:

а) Непрерывность потока импульса.

Напряжение трения по Ox и Oy в правых частях:

$$-\frac{\rho k}{h} \frac{\partial U}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} = \tau_x, \quad (18)$$

$$-\frac{\rho k}{h} \frac{\partial V}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} = \tau_y.$$

б) Условие прилипания в пограничном слое: $u|_z = v|_z = 0$.

$$\text{Дополнительно: } E|_{\xi=0} = \frac{C_\tau}{\rho} \tau_a,$$

где: C_x – безразмерный коэффициент; τ_a – модуль напряжения трения потока вдоль оси Oz .

$$E|_z = \frac{C_\tau}{\rho} \tau_b. \quad (19)$$

$$\tau_b = \frac{\rho k}{h} \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \xi}\right)^2}. \quad (20)$$

Граничные условия для ε могут быть получены из граничных условий для E и определяются по формуле:

$$\varepsilon = C_\varepsilon \frac{E^{2/3}}{l}. \quad (21)$$

Тогда путь смещения (масштаб турбулентности):

$$l\sqrt{E} = k = C_\varepsilon \frac{E^2}{\varepsilon}, \quad l = C_\varepsilon \frac{E^{3/2}}{\varepsilon}. \quad (22)$$

Численная реализация может быть осуществлена по следующему алгоритму [17]:

1) Составляется уравнение диффузии в конечных разностях:

$$c\rho \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{\lambda}{(h^j)^2} \cdot \frac{T_{i+1}^{j+1} - 2T_i^{j+1} + T_{i-1}^{j+1}}{(\Delta \xi)^2} +$$

$$+ c\rho \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot \frac{\xi}{h^j} \cdot \frac{T_{i+1}^{j+1} - T_{i-1}^{j+1}}{2\Delta \xi} -$$

$$- c\rho \frac{\Delta h_0}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h^j} \cdot \frac{T_{i+1}^{j+1} - T_{i-1}^{j+1}}{2\Delta \xi} - \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial S^j}{\partial \xi}. \quad (23)$$

2) Аппроксимация уравнения для турбулентной энергии и скорости ее диссипации имеет вид:

$$\delta_i E_i^{j+1} = \frac{\alpha_E}{h^j} \delta_\xi (k_i^{j+1} \delta_\xi E_i^{j+1}) +$$

$$+ \frac{\xi_i}{h^j} \delta_i h^{j+1} \delta_\xi E_i^{j+1} + P_i^{j+1} - \varepsilon_i^{j+1},$$

$$\delta_i \varepsilon_i^{j+1} = \frac{\alpha_\varepsilon}{h^j} \delta_\xi (k_i^{j+1} \delta_\xi \varepsilon_i^{j+1}) +$$

$$+ \frac{\xi_i}{h^j} \delta_i h^{j+1} \delta_\xi \varepsilon_i^{j+1} + C_{ii}^{j+1} \frac{\varepsilon_i^{j+1}}{E_i^{j+1}} (P_i^{j+1} - \varepsilon_i^{j+1}),$$

$$P_i^{j+1} = \frac{k_i^{j+1}}{h^j} \left[(\delta_\xi u_i^{j+1})^2 + (\delta_\xi v_i^{j+1})^2 - \frac{g}{\rho} \delta_\xi \rho_i^j \right],$$

$$k_i^{j+1} = C_\varepsilon \frac{(E_i^{j+1})^2}{\varepsilon_i^{j+1}}, \quad \delta_i (\cdot)_i^{j+1} = \frac{(\cdot)_i^{j+1} - (\cdot)_i^j}{\Delta t},$$

$$\delta_\xi (\cdot)_i^{j+1} = \frac{(\cdot)_{i+1}^{j+1} - (\cdot)_i^{j+1}}{\Delta \xi}, \quad \delta_\xi (\cdot)_i^{j+1} = \frac{(\cdot)_i^{j+1} - (\cdot)_{i-1}^{j+1}}{\Delta \xi},$$

$$\delta_\xi (\cdot)_i^{j+1} = \frac{(\cdot)_{i+1}^{j+1} - (\cdot)_{i-1}^{j+1}}{2\Delta \xi}. \quad (24)$$

3) На каждом шаге решение первых двух разностных уравнений определяется методом прогонки.

4) Скорости u_i^{j+1} и v_i^{j+1} к моменту решения уравнений (24) уже определены из уравнений (25):

$$\delta_i u_i^{j+1} = \frac{\alpha_E}{h^j} \delta_\xi (k_i^j \delta_\xi u_i^{j+1}) + \frac{\xi_i}{h^j} \delta_i h^{j+1} \delta_\xi u_i^{j+1}$$

$$\delta_i v_i^{j+1} = \frac{\alpha_E}{h^j} \delta_\xi (k_i^j \delta_\xi v_i^{j+1}) + \frac{\xi_i}{h^j} \delta_i h^{j+1} \delta_\xi v_i^{j+1}. \quad (25)$$

5) После определения E_i^{j+1} и ε_i^{j+1} по формулам (12) и (13) находится коэффициент турбулентной диффузии λ_i^{j+1} . Таким образом, имеем полностью неявную схему относительно величин E и ε , что обеспечивает ее устойчивость и силу нелинейности,

решение может быть найдено с помощью итерационной процедуры.

Таким образом, приведенный алгоритм решения задачи позволяет осуществить численную реализацию процесса при различных сочетаниях параметров для предложенной модели распределения концентрации вещества (ядохимиката) в любой точке кронового пространства куста.

ВЫВОДЫ

Описание технологического процесса вентиляторного опрыскивания, как процесса фильтрации аэрозолей, позволяет количественно рассчитать требуемую подачу воздушно-жидкостного потока (объемную или массовую в зависимости от цели расчетов) с учетом фактических размеров обрабатываемого растения. В дальнейшем предложенные формулы целесообразно использовать для расчета и проектирования режимов подачи воздуха и рабочей жидкости для опрыскивания виноградников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Statistichniy 2010: Statistichniy schorichik Avtonomnoi respubliky Krym za 2009 rik / Derzhavni kom. stat. Ukrainy; Golovne upravlinnia sttistiki v ARK. – Simferopol. – 574.
2. Dikan A.P. 2001: Vinogradarstvo Kryma. – Simferopol: Biznes-Inform, – 408.
3. Statystichniy 2013: Statystichny schorichnik Ukraini za 2012 rik. – K.: Konsultant. – 565.
4. Manual 2002: Manual on development and use of FAO and WHO specifications for pesticides / prep. by the FAO / WHO Joint Meet. on pesticide specifications (JMPS). – Geneva: WHO; Rome: FAO. – 255.
5. Basa 2013: Basa danyh Mehanizazia APK: (Machyny dla himychnogo zahistu roslyn) / 1997–2013 Ministerstvo agrarnoi politiki Ukrainy. <http://www.minagro.gov.ua/page/3301>
6. Chenkin A.F. 1990: Spravochnik agranoma po zaschite rasteniy. – M.: Agropromizdat. – 367.
7. Zaika P.M. 2002: Teoria silskogospodarskih machin T. 1 (ch. 4). Machyny dla zahistu roslyn vid shkidnykiv i hvorob. – Kharkiv: Oke. – 272.
8. Silskogospodarski 2008: Silskogospodarski machyny: osnovy teorii ta rozrachunku: navch. posib. / za red. D.G. Voituka. – Sumy: Universitetska knyga. – 543.
9. Spravochnik 1967: Spravochnik konstruktora selskohoziastvenykh mashin: v 4 t. / [pod red. M.I. Klezkina]. – M.: Mashinostroenie, 1967. T. 2. – 830.
10. Abramovich G.N. 1984: Teoria turbulentnykh strui. – M.: Nauka, – 716.
11. Zhuzhikov V.A. 1971: Filtrovaniye. Teoria i proektirovaniye rasdeleniya suspenziy. – M.: Khimia. – 440.
12. Straus V. 1981: Promyslenaya ochistka gazov. – M.: Khimia, – 616.
13. Stepanov A.V. 2007: Model rasprostraneniya vodusno-zhidkostnogo potoka v krone vinogradnica pri opriskivaniy / A.V. Stepanov, E.M. Seray // Visnyk Kharkivskogo nazionalnogo technichnogo universitetu silskogo gospodarstva im. P. Vasilenka. – Kharkiv. – № 62. – 269–275.
14. Monin A.S. 1965: Statisticheskaya gydromekhanika: 1. Mekhanika turbulentnosti. – M.: Nauka, – 639.
15. Lyskov V.N. 1992: O probleme zamykania modeley turbulentnogo pogranichnogo sloya s pomoschu uravneniy dla kineticheskoy energii turbulentnosti i skorosti ee disipazii // Izvestia AN SSSR. Fiz. arm. i okeana. – № 28. – 696 – 704.
16. Slichting G. 1974: Teoria pogranichnogo sloya. – M.: Nauka. – 591.
17. Lebedev V.I. 2000: Funktsionalny analiz I vychislitel'naya matematika. – M.: Fizmatlit. – 560.
18. Loyzanski L.G. 1987: Mekhanika zhidkosti i gaza. – M.: Nauka. – 840.
19. Flys I. 2010: Engineer project management of production and processing complexes / I. Flys – Motrol, 12 – 75–81.
20. Kompleksniy 2011: Kompleksniy pokaznik efektyvnosti sistemu mashin v roslunnctvi // V. Dubrovin, E. Krasowski, I. Rogovski / – Motrol, Vol. 14, 3. – 20–24.

AIRBLAST SPRAYING OF VINEYARD AS THE AEROSOL FILTRATION PROCESS

Summary. The technological process of airblast spraying was described as a process of aerosol filtration through the plant canopy. There was a model that make possible to evaluate the quantity of processes taking place over spraying, it shows the patterns of airflow movement though the plant. This model can be useful to design construction and modes of airblast sprayers.

Key words: sprayer, flow, fan, filtration, aerosol, model, vineyard, border conditions.

ЭНЕРГОЁМКОСТЬ УБОРКИ НАВОЗА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СКРЕПЕРНОЙ УСТАНОВКОЙ

Геннадий Голуб¹, Виктор Теслюк¹, Василий Хмельёвский¹, Николай Икальчик²

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

²*ОП НУБиП Украины "Нежинский агротехнический институт"*

Украина, г. Нежин, ул. Шевченко, 10

Gennady Golub¹, Viktor Teslyuk¹, Vasily Chmielewski¹, Nikolay Ikalchik²

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

²*OI NULES of Ukraine "Nyzyn Agrotechnical Institute"*

Str. Shevchenko, 10, Nyzyn, Ukraine

Аннотация. Приведены зависимости и графики влияния параметров усовершенствованной скреперной установки на ее удельную энергоёмкость.

Ключевые слова: скреперная установка, навоз, канал, энергоёмкость, угол раскрытия, угол наклона, скорость.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Своевременное удаление навоза из животноводческих помещений [1] и эффективное его использование [2] – одна из важных народнохозяйственных проблем. При беспривязном боксовом содержании КРС навоз убирают скреперными установками [3–5]. Снижение энергозатрат скреперной установкой возможно при детальном исследовании особенностей взаимодействия скрепера с навозом.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 1980 году А.А. Шувалов, в своей диссертационной работе [6], исследовал зону разворота скребков дельта-скреперной установки, и нашел оптимальное распределение массы скребков по их длине. Также он впервые использовал кривошипно-шатунный механизм, соединяющий скребки между собой и с тяговым элементом. Исследуя механизм раскрытия скребков штанговых конвейеров Колде О.Ф. установил, что продолжительность разворота скребка на холостом ходе зависит от исходного угла установки скребка [7]. В 2010 году были проведены

государственные приемочные испытания скреперных установок для уборки навоза УС–80, УС–100 и УС–120 в УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого [8]. А.Ф. Жук, исследовал влияние изменения параметров клина на энергозатраты почвообрабатывающих машин [9]. Было установлено, что использование обтекаемых форм рабочих элементов почвообрабатывающих орудий предотвращает появление зон с грунтовым наростом, и приводит к уменьшению тягового сопротивления рабочего органа. Нами был проведен расчет наклонной поверхности скребка навозоуборочной установки [10]. Получены уравнения и построены кривые ортогонального сечения цилиндрической поверхности, по которой двигается частичка навоза под действием сил подпора. Кривая сечения рассчитана из условия, что при постоянной скорости частички ее давление на поверхность тоже есть постоянным. В результате этого уменьшаются энергозатраты на уборку навоза. Для подтверждения теоретических расчетов нужно провести экспериментальные исследования влияния параметров усовершенствованной скреперной установки на ее удельную энергоёмкость.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определить зависимость удельной энергоёмкости процесса уборки навоза усовершенствованной скреперной установкой от угла раскрытия скрепера, угла наклона скребков и скорости движения скрепера.

ЭНЕРГОЁМКОСТЬ УБОРКИ НАВОЗА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СКРЕПЕРНОЙ УСТАНОВКОЙ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для установления взаимосвязи влияния угла раскрытия скрепера γ (град.), угла наклона скребков скрепера ε (град.) и скорости движения скрепера $V_{СК}$ (м/с) на удельную энергоёмкость усовершенствованной скреперной установки E_n (кВт ч./т) были проведены эксперименты по плану Бокса-Бенкина [11–14]. При этом неизменными были размеры навозного канала и объем убранного навоза.

По результатам многофакторных экспериментов была получена математическая модель – уравнение регрессии в виде полиномов второго порядка.

Анализ зависимостей (рис. 1) показывает, что с изменением угла раскрытия скрепера γ от 70° до 170° удельная энергоёмкость E_n остается практически неизменной и равняется $0,59$ кВт ч./т для соответствующих значений угла наклона скребков 30° и 90° и $0,46$ кВт ч./т для угла наклона скребков 60° , что указывает на нецелесообразность в дальнейшем учете влияния данного фактора при оценке удельной энергоёмкости уборки навоза.

Установлено (рис. 2), что с увеличением угла наклона скребков скрепера γ от 30° до 90° удельная энергоёмкость E_n меняется за параболической функцией, которая имеет оптимум – минимальное значение удельной энергоёмкости в диапазоне угла наклона скребков скрепера от 55° до 65° и составляет $0,46$ кВт ч./т для всех значений угла раскрытия скрепера, а именно 70° ; 170° и 120° .

При углу наклона скребков 30° на поверхности передних стенок скребков будет наползать большое количество навоза и прижимать скребки до дна навозного канала с избыточным усилием. При углу наклона скребков от 55° до 65° пласт навоза будет подрезаться клинообразной формой скребков и на поверхность скребков будет наползать такое количество навоза, которое обеспечит оптимальное прижимание скребков до дна навозного канала.

При углу наклона скребков 90° , на скребки навоз не будет наползать, а отсутствие клина на передней стенке скребка приведет к тому что навоз будет не подрезаться, а отрываться от дна навозного канала, при этом будет возникать необходимость в большей мощности для перемещения скрепера.



Рис. 1. Зависимость удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки от угла раскрытия скрепера

Fig. 1. Dependence of the specific energy intensity of improved scraper system from the opening angle of the scraper

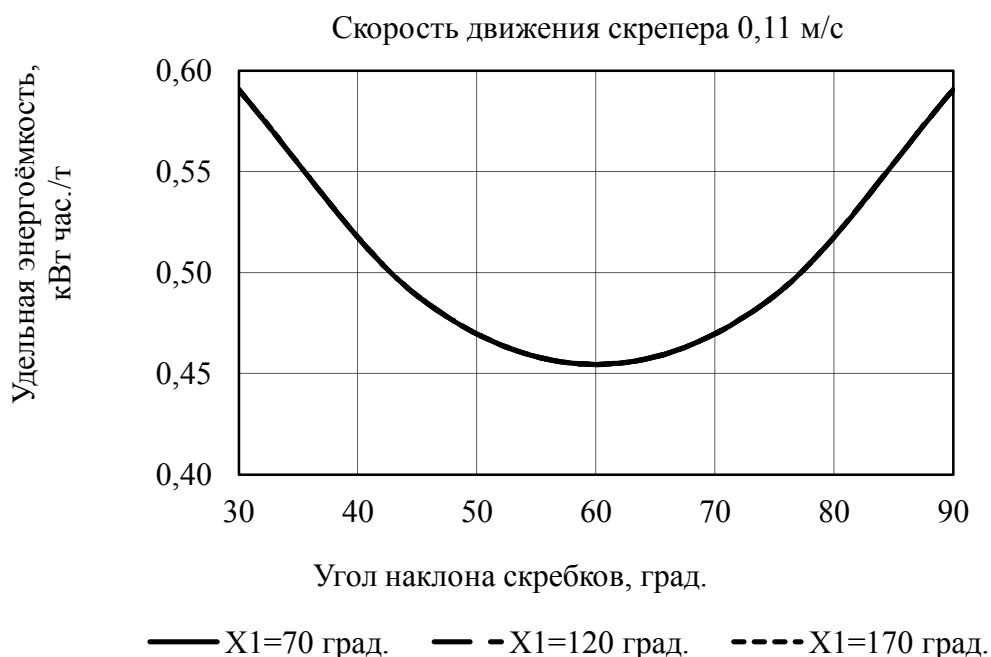


Рис. 2. Зависимость удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки от угла наклона скребков.

Fig. 2. Dependence of the specific energy intensity of improved scraper system from the angle of inclination of the scraper

Анализ взаимного влияния угла раскрытия и угла наклона скребков скрепера (рис. 3) показал, что минимальное значение удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки равняется 0,46 кВт ч./т для соответствующего угла наклона скребков скрепера в диапазоне от 55° до 65°, при этом угол раскрытия скрепера на удельную энергоёмкость установки влияния не имеет. Анализ зависимостей (рис. 4) показывает, что с увеличением скорости движения скрепера $V_{СК}$ от 0,04 м/с до 0,18 м/с удельная энергоёмкость E_n меняется за параболической функцией, которая имеет оптимум - минимальное значение удельной энергоёмкости в диапазоне скоростей 0,13...0,15 м/с составляет 0,4 кВт ч./т для угла раскрытия скрепера 70°, 120° и 170°. Это объясняется тем, что с увеличением скорости возрастает производительность, а ведь удельная энергоёмкость соответственно уменьшается, но при достижении скорости 0,15 м/с удельная энергоёмкость начинает возрастать за счет того что, с увеличением скорости в данном диапазоне интенсивность роста потребляемой мощно-

сти преобладает над интенсивностью роста скорости.

Анализ взаимного влияния скорости движения и угла раскрытия скрепера (рис. 5) показал, что минимальное значение удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки равняется 0,4 кВт ч./т для соответствующей скорости движения скрепера в диапазоне от 0,13 м/с до 0,15 м/с, при этом угол раскрытия скрепера на удельную энергоёмкость установки влияния не имеет.

Анализ зависимостей (рис. 6) показывает, что с увеличением угла наклона скребков скрепера γ удельная энергоёмкость E_n будет изменяться за параболической функцией, которая имеет оптимум - минимальные показатели удельной энергоёмкости при углах наклона скребков скрепера 50°; 60° и 70° и имеет значение соответственно 0,44; 0,48 и 0,8 кВт ч./т для скоростей 0,04; 0,11 и 0,18 м/с. Потому что при углу наклона скребков в 30° на поверхность передней стенки скребка будет наползать большое количество навоза и прижимать скребок до дна навозного канала с избыточным усилием.

ЭНЕРГОЁМКОСТЬ УБОРКИ НАВОЗА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СКРЕПЕРНОЙ УСТАНОВКОЙ

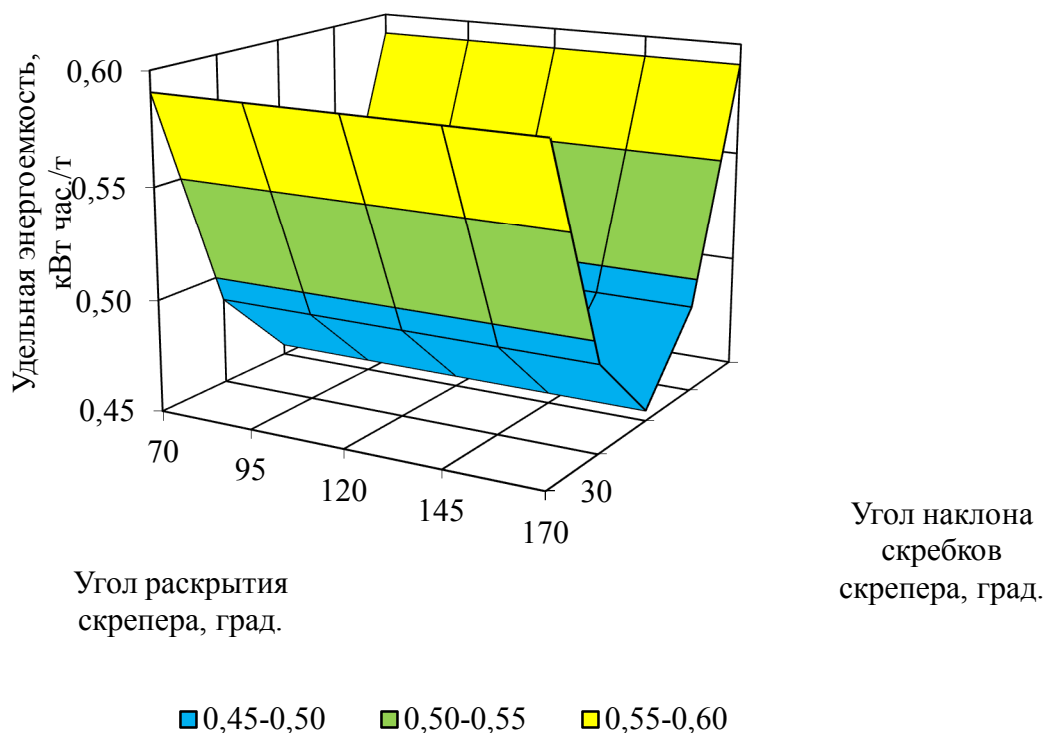


Рис. 3. Зависимость удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки от угла раскрытия и угла наклона скребков

Fig. 3. Dependence of the specific energy intensity of improved scraper system from the opening angle and inclination angle of scrapers

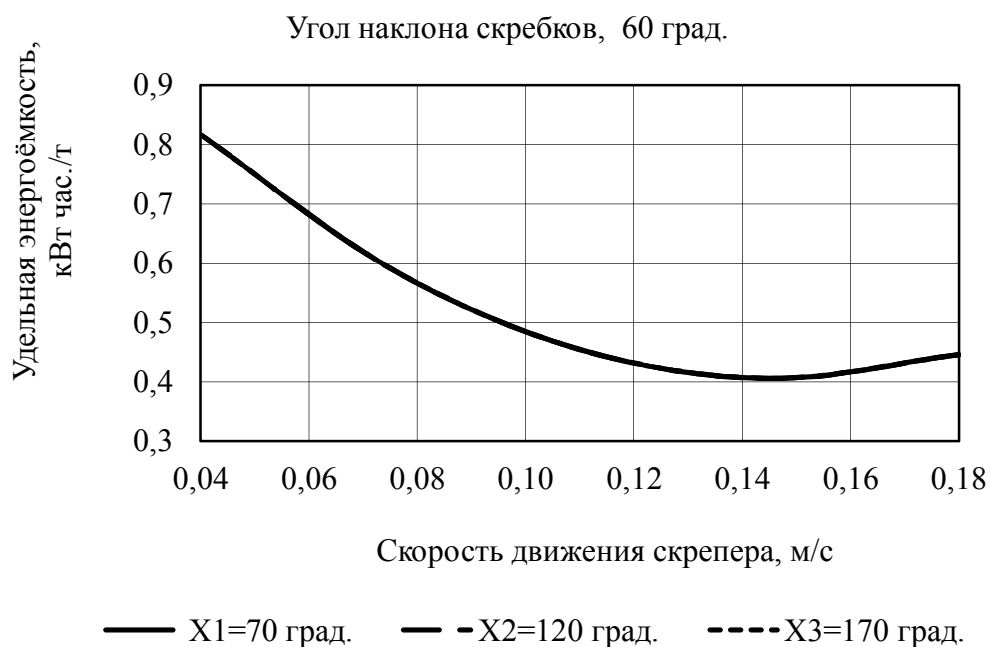


Рис. 4. Зависимость удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки от скорости движения скрепера

Fig. 4. Dependence of the specific energy intensity of improved scraper system from speed of the scraper

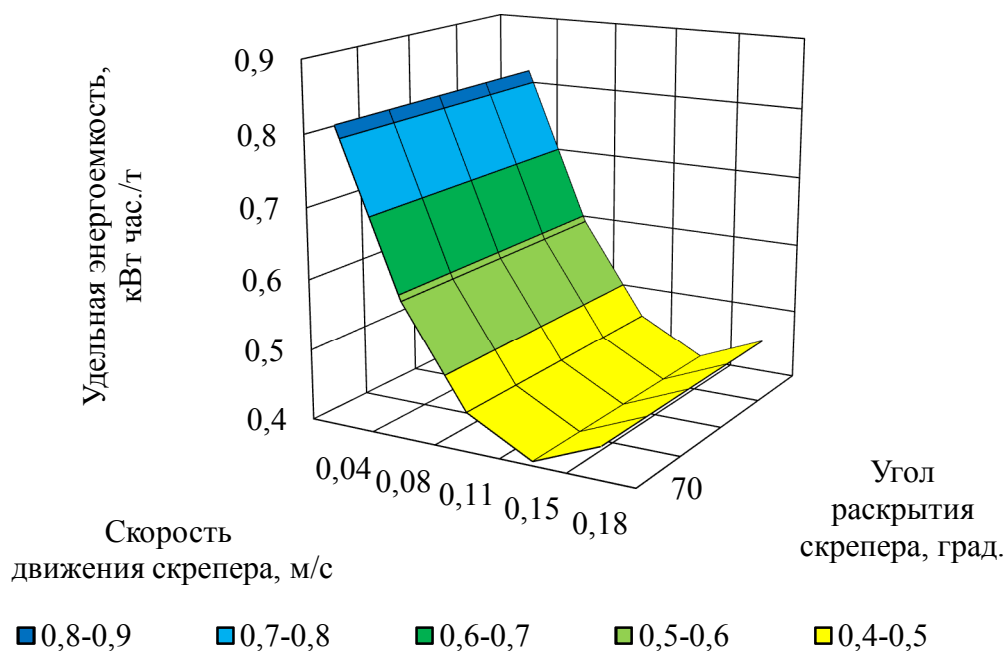


Рис. 5. Зависимость удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки от скорости движения и угла раскрытия скрепера

Fig. 5. Dependence of the specific energy intensity of improved scraper system from speed and opening angle of the scraper

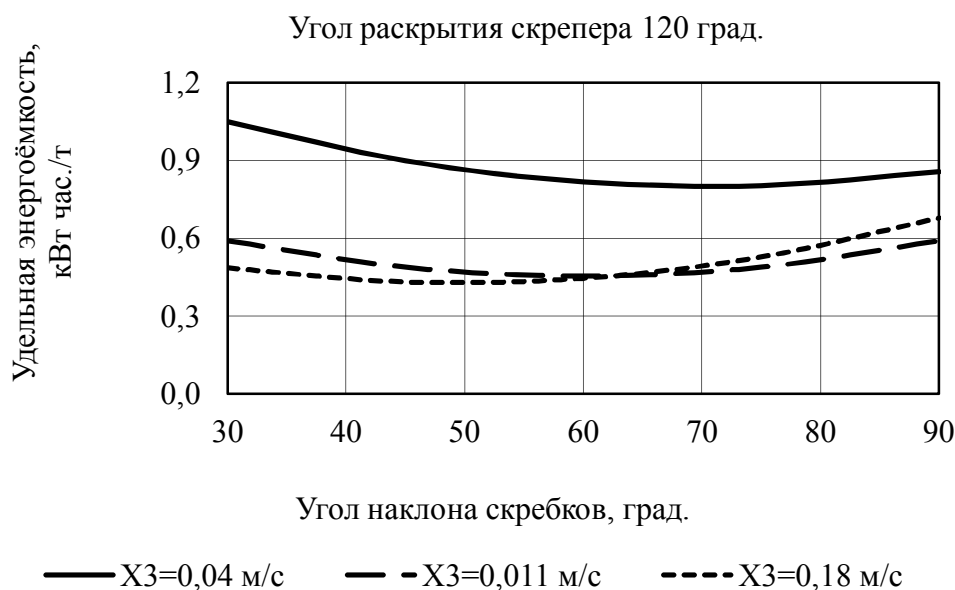


Рис. 6. Зависимость удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки от угла наклона скребков

Fig. 6. Dependence of the specific energy intensity of improved scraper system on the inclination angle of scrapers

А при угле наклона скребков от 50° до 70° слой навоза будет подрезаться клинообразной формой скребка, и на поверхности скребка будет наползать такое количество навоза, которое обеспечит оптимальное прижимание скребка до дна навозного кана-

ла. При угле наклона скребков 90° на скребок навоз не будет наползать, и отсутствие клина на передней стенке скребка приведет к тому что навоз будет не подрезаться, а отрываться от дна навозного канала и на это будет использоваться большая мощность.

ЭНЕРГОЁМКОСТЬ УБОРКИ НАВОЗА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СКРЕПЕРНОЙ УСТАНОВКОЙ

Определено (рис. 7), что с увеличением скорости движения скрепера $V_{СК}$ удельная энергоёмкость E_n меняется за параболической функцией, которая имеет минимальное значение удельной энергоёмкости 0,4; 0,5 и 0,6 кВт ч./т при скорости движения скрепера соответственно 0,14; 0,16 и 0,12 м/с для скреперов с углом наклона скребков 60°; 30° и 90°. Это объясняется тем что, с увеличением скорости возрастает производительность, а следовательно удельная энергоёмкость со-

ответственно уменьшается. Анализ взаимного влияния угла наклона скребков и скорости движения скрепера (рис. 8) показал, что минимальное значение удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки равняется 0,4 кВт ч./т для соответствующего угла наклона скребков скрепера в диапазоне от 50° до 70° и значение скорости движения скрепера в диапазоне от 0,13 м/с до 0,15 м/с.

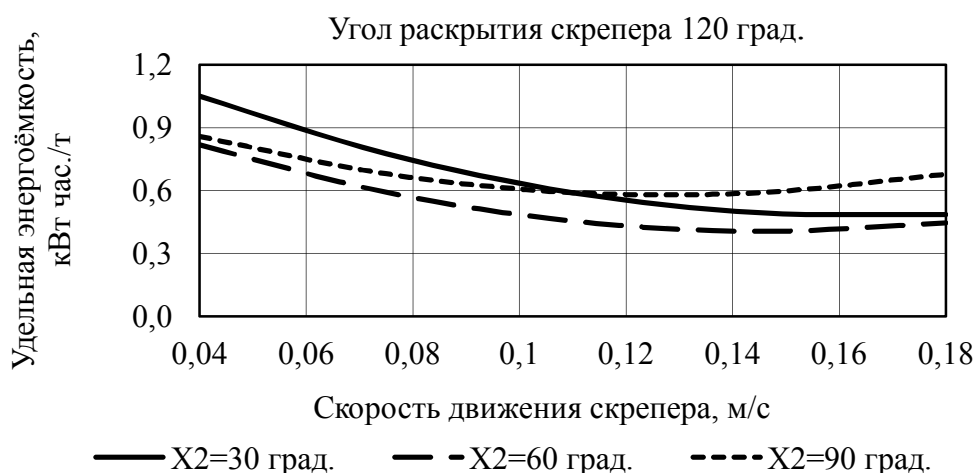


Рис. 7. Зависимость удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки от скорости движения скрепера

Fig. 7. Dependence of the specific energy intensity of improved scraper system from speed of the scraper

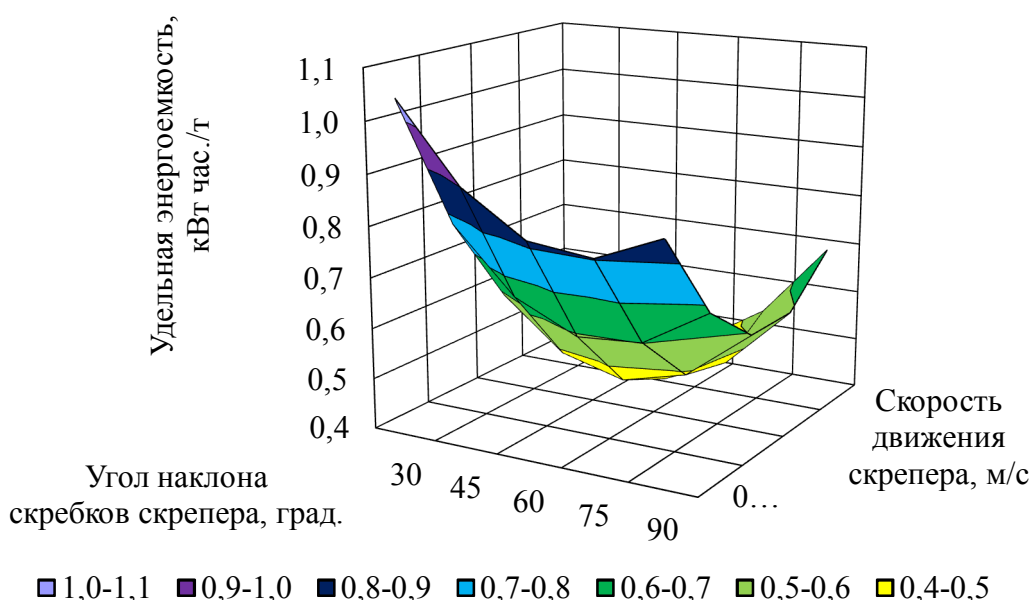


Рис. 8. Зависимость удельной энергоёмкости усовершенствованной скреперной установки от угла наклона скребков и скорости движения скрепера

Fig. 8. Dependence of the specific energy intensity of improved scraper system from inclination angle of the scrapers and speed of movement of the scraper

Уравнение регрессии зависимости удельной энергоёмкости E_n (кВт ч./т) от изменения угла раскрытия скрепера γ (град.), угла наклона скребков скрепера ε (град.), и скорости движения скрепера $V_{СК}$ (м/с) по результатам проведенного ПФЕ 3³ в раскодированном виде уравнение регрессии имеет вид:

$$E_n = 2,0302 - 0,0232\varepsilon - \\ -13,3448v_{ск} + 0,0002\varepsilon^2 + \\ +36,1134v_{ск}^2 + 0,0458\varepsilon v_{ск}$$

Статистическое оценивание [15–16] полученных результатов включало проверку на однородность дисперсий по критерию Кохрена. Адекватность полученной математической модели и ее пригодность для описания исследуемого процесса проверяли по критерию Фишера. Определение значимости коэффициентов регрессии проводили по критерию Стьюдента [17–20]. Гипотеза об адекватности уравнения подтверждается и его можно использовать для описания процесса.

ВЫВОДЫ

Применение методики планирования многофакторного эксперимента дало возможность установить взаимосвязь основных параметров скреперной установки и режимов ее работы в виде уравнения регрессии. На основе анализа этого уравнения, было установлено, что удельная энергоёмкость процесса удаления навоза принимает минимальное значение при углу раскрытия скрепера $\gamma = 118^\circ$, углу наклона скребков скрепера $\varepsilon = 57,5^\circ$, и скорости движения скрепера $V_{СК} = 0,15$ м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Demchuk M.V. 1996: Gigiyena tvarin / M.V. Demchuk, M.V. Chorniy, M.P. Visokos, Ya.S. Pavlyuk; Za red. M.V. Demchuka. – K. : Urozhay, 1996. – 384.
2. Dubrovin V.O. 2010: Obruntuvannya parametriv biotekhnologichnogo protsesu vermi-

kompostuvannya pidstilkovogo gnoyu ta obladnannya dlya yogo realizatsii / V.O. Dubrovin, V.S. Targonya, O.O. Shevchenko // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2010, Vol. 12B, – 27–34.

3. Revenko I.I. 2009: Mashini ta obladnannya dlya tvarinnitstva: pidruchnik / Revenko I.I., Braginets M.V., Rebenko V.I. – K.: Kondor, 2009. – 731.

4. Dorte Marcussen 2008: The basics of dairy cattle production / Dorte Marcussen, Annette Krog Laursen; translator: Gitte Grand Graversen; editorial group of the English version: Stewart Grant; editor of the English version: Pernille Ryge Koch. – 1. edition. – Århus: Landbrugsforlaget: Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, 2008. – 240.

5. Boltyanskaya N. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurentosposobnosti yeyo produktsii / Natalya Boltyanskaya // motrol. commission of motorization and energetics in agriculture – 2012, Vol. 14, No 3, – 164–175.

6. Shuvalov A.A. 1980: Shuvalov A.A. Skrepernaya ustanovka dlya uborki navoza na fermakh i kompleksakh krupnogo rogatogo skota. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. – L., 1980. – 24.

7. Kolde O.F. 1981: Kolde O.F. Issledovaniye rabocheho protsessa shtangovogo transporterа dlya uborki navoza v korovnike: avtoref. diss. na soiskaniye uch. stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.20.01 "Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva" / Kolde Oskar Fridrikhovich; Tsentralnyy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii i elektrifikatsii selskogo khozyaystva necher-nozemnoy zony SSSR. – Minsk, 1981. – 16.

8. Protokol viprobuvan 2010: Protokol derzhavnikh priymalnikh viprobuvan tekhnichnogo zasobu dlya APK № 1314/1103-01-2010 «Ustanovki skreperni dlya pribirannya gnoyu US–80, US–100 ta US–120» UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo.

9. Zhuk A.F. 2013: Issledovaniye pochvo-obrabatyvayushchego klina s pochvennym narostom / A.F. Zhuk / Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva. – Glevakha, 2013 – Vip. 97. T.1. – 148–161.

10. Pilipaka S.F. 2013: Rozrakhunok pokhiloj poverkhni skrebka gnoyepribiralnoi ustanovki /

S.F. Pilipaka, G.A. Golub, V.S. Khmelovskiy, M.I. Ikalchik / Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. – Kharkiv, 2013. – Vip. 132. – 404 – 410.

11. Adler Yu.P. 1976: Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy / Yu.P. Adler, Ye.V. Markova, Yu.V. Granovskiy. – M.: Nauka, 1976. – 276.

12. Zazhigayev L.S. 1978: Zazhigayev L.S. Metody planirovaniya i obrabotki rezultatov fizicheskogo eksperimenta / Zazhigayev L.S., Kityan A.A., Romannikov Yu.I. – M.: Atomizdat, 1978. – 232.

13. Melnikov S.V. 1972: Planirovaniye eksperimenta v issledovaniyakh selskokozyaystvennykh protsessov / Melnikov S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M. – L.: Kolos, 1972. – 200.

14. Markova Ye.V. 1973: Planirovaniye eksperimenta v usloviyakh neodnorodnostey / Ye.V. Markova, A.N. Lisenkov. – M.: Nauka, 1973. – 120.

15. Prikladnaya statistika 1975: Prikladnaya statistika. Pravila opredeleniya otsenok i doveritelnykh granits dlya normalnogo raspredeleniya: GOST 11.004–74 ST SEV 876–798. – M.: Izd-vo standartov, 1975. – 20.

16. Rumshinskiy L.Z. 1971: Matematicheskaya obrabotka rezultatov eksperimenta / L.Z. Rumshinskiy. – M.: Nauka, 1971. – 192.

17. Vedenyapin G.V. 1973: Obshchaya metodika eksperimentalnykh issledovaniy i obrabotki opytnykh dannykh / G.V. Vedenyapin. – M.: Kolos, 1973. – 199.

18. Kasandrova O.N. 1970: Obrabotka rezultatov izmereniy / O.N. Kasandrova, V.V. Lebedev. – M.: Nauka, 1970. – 104.

19. Bryanskiy L.N. 1991: Kratkiy spravochnik metrologa / L.N. Bryanskiy, A.S. Doynikov. – M.: Izd-vo standartov, 1991. – 79.

20. Anistratenko V O. 1993: Matematichne planuvannya yeksperimentiv v APK / V.O. Anistratenko, V.G. Fedorov. – K.: Vishcha shk. – 375.

ADVANCED ENERGY CONSUMPTION MANURE SCRAPER SYSTEMS

Summary. The analytical dependence and impact parameters improved graphics winches installed on its relative energy intensity are given.

Key words: Scraper systems, manure, feed, energy intensity, the opening angle, inclination angle, speed.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАРАБАНОГО ДОЗАТОРА КОМБИКОРМОВ

Виталий Радчук

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Vitaliy Padchuk

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Обоснована и разработана конструктивно-функциональная схема дозатора для индивидуальной выдачи комбинированных кормов коровам, а также представленные результаты экспериментальных исследований точности индивидуальной выдачи комбинированных кормов, уравнения регрессии.

Ключевые слова: дозатор, вертикальная ось, ячеистый барабан, производительность, индивидуальная выдача.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Мясомолочная промышленность – одна из основных отраслей народного хозяйства, которая обеспечивает население страны продуктами питания. Ее структура состоит из двух элементов животноводческих хозяйств и перерабатывающих комбинатов, которые находятся в непосредственной зависимости между собой и от продовольственного рынка. Повышение цен на сельскохозяйственную технику и комбикорма привело к необходимости создания предприятий малой мощности, а также относительно дешевой высокоэффективной техники [1].

Содержание крупного рогатого скота связано с большими расходами труда, в результате значительной части ручных работ в процессе кормления животных и ухода за ними [2,3,4,5]. Так на кормление приходится до 60 ...70% общих затрат труда. Одна из наиболее трудоёмких операций – выдача комбикорма коровам на её выполнение в среднем затрачивается приблизительно 38% рабочего времени доярок. Снижение огромных затрат возможно только при механизации и автоматизации этого процесса, для

чего необходимая разработка соответствующих технических средств [6,7].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Процессу дозирования сыпучих материалов, в частности, комбикормов, посвященные работы П.М. Василенка, Г.М. Кукты, И.И. Ревенка, Н.В. Брагинца, Б.В. Циганова, А.П. Конакова, С.П. Орлова, В.Г. Кобы та других. В работах перечисленных авторов проанализированы разные конструктивно-функциональные схемы дозаторов и определенные их основные параметры. Анализ публикаций, посвященных процессу дозирования сыпучих материалов, указывают на сложность этого процесса.

Проведенный анализ конструктивно-технологических решений существующих средств дозирования комбикормов в частности объемного типа [8, 9, 10, 11]. В результате сделанные выводы, что отдельные вопросы которые характеризуют эффективность работы дозаторов изученные недостаточно, а конструктивные схемы не отмечаются рациональностью.

Для достижения высокой эффективности производства продукции животноводства кормление животных должно быть сбалансировано по питательности в зависимости от их производительности. Комбикорма должны отвечать таким зоотехническим параметрам, как модуль измельчения и содержание пылевидной фракции [12, 13] Дозаторы должны отвечать зоотехническим условиям относительно производительности, точности и равномерности дозирования, отклонения от заданной нормы выдачи, не должно превышать $\pm 5\%$. Существующие конструктор-

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАРАБАНОГО ДОЗАТОРА КОМБИКОРМОВ

ские решения дозаторов для дозирования комбикормов при дифференцированной выдаче животным не в полной мере отвечают этим требованиям.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Повышение качества и снижение энергоёмкости процесса индивидуально-дозированной выдачи кормов крупному рогатому скоту при стойловом содержании путем совершенствования конструкции и обоснование параметров дозатора комбикормов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами была обоснована рациональная конструктивно функциональная схема барабанного дозатора, а также проведен анализ его нормы выдачи и равномерности в зависимости от конструктивных параметров дозатора (рис. 1).

Разработанный дозатор имеет вертикальную ось вращения барабана, ячейки которого сделаны ограниченными с четырех боков. Такая конструкция дает возможность уменьшить поверхность трения корма по дну корпуса и полностью устранить его по боковым стенкам. Привод дозирующего органа осуществляется от штифтов, которые установлены на передней стенке кормушки.

В процессе перемещения кормораздатчика корм из бункера под действием сил притяжения поступает в ячейки барабана. При этом зубчатое колесо перекачивается по штифтам, которые неподвижно установлены на кормушке, и с помощью конической передачи проворачивает ячеистый барабан. Регулировка нормы выдачи корма для каждой коровы осуществляется изменением количества штифтов установленных на кормушке. В зависимости от их количества барабан проворачивается на определенный угол и над выгрузным окном проходит определенное количество ячеек. Во время прохождения ячеек над выгрузным окном корм под действием сил притяжения высыпается в кормушку.

Такое техническое решение упрощает конструкцию дозатора и уменьшает энергозатраты, потому-что исключает необходимость отдельного электропривода дозирующего устройства и механизма управления. В сравнении с существующими раздатчиками имеет ряд преимуществ: относительно энерго- и металлоемкости, компактности увязки с кормушкой, позволяет повысить точность дозирования согласованием передаточного числа зубчатой и конической передач с углом проворачивания ячеистого барабана, а также отсутствием задвижек, которые влияют на запаздывание выдачи корма.

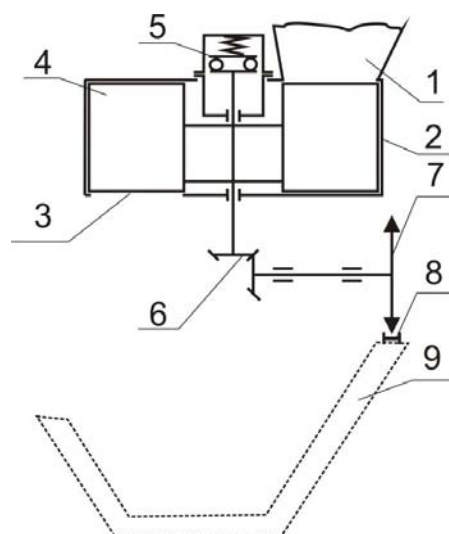


Рис. 1. Схема барабанного дозатора раздатчика комбинированных кормов:
1 – бункер; 2 – корпус дозатора; 3 – выгрузное окно; 4 – ячеистый барабан; 5 – механизм фиксации; 6 – коническая зубчатая передача; 7 – зубчатое колесо; 8 – штифты привода; 9 – кормушка

Fig. 1. Chart of drum metering device of cattle-feeder of the mixed fodders

Производительность [14] дозирующего устройства барабанного типа с постоянной частотой вращения барабана можно определить по формуле:

$$Q = \frac{\bar{V}_k}{8r} (D^2 - D_e^2) h \rho \varphi, \quad (1)$$

где: \bar{V}_k – скорость перемещения раздатчика, м/с,
 r – радиус зубчатого колеса, м,
 ρ – плотность корма, кг/м³,
 φ – коэффициент заполнения ячеек ($\varphi = 0,8 \dots 0,9$),
 h – высота ячейки,
 D – наружный диаметр барабана, м,
 D_e – внутренний диаметр ступицы барабана, м.

Когда барабан дозатора проворачивается с помощью штифтов, установленных на стенке кормушки, необходимо определить от каких параметров зависит размер дозы q_i корма, которую необходимо выдать одному животному:

$$q_i = m z_e, \quad (2)$$

где: m – масса корма в одной ячейке, кг,
 z_e – количество ячеек, которые обеспечивают заданную дозу корма, шт.

В том случае, когда количество зубцов на приводном колесе и количество ячеек барабана одинаково, а передаточное число конической передачи равняется единице, уравнение размера дозы q_i приобретет вид:

$$q_i = \frac{\alpha \pi}{1440} (D^2 - D_B^2) h z_{ш} \rho \varphi. \quad (3)$$

где: α – угол ячейки, град,
 $z_{ш}$ – количество штифтов, шт.

Размер порции корма, который выдается одному животному, зависит также от установленного угла выгрузного окна β .

Для полной выгрузки корма из ячейки необходимо, чтобы оно находилось над выгрузным окном в течение определенного времени [15, 16, 17].

При условии, что величина угла выгрузного окна прямопропорциональна угловой скорости вращения барабана, найдем величину угла β_0 выгрузного окна при котором будет происходить полная выгрузка корма из ячейки:

$$\beta_0 \geq \frac{V_k i}{r} t_0, \quad (4)$$

где: i – передаточное число привода,
 t_0 – время полной выгрузки корма с ячейки, с.

При условии пропорциональности между массой выданного корма и углом выгрузного окна, получим действительный размер порции корма q'_i , после того, как $\beta \geq \beta_0$ угол выгрузного окна не учитывается:

$$q'_i = \frac{q_i \beta}{\beta_0}, \quad (5)$$

где: β – установленный угол выгрузного окна, град.

На основании уравнения (5) были построены графики (рис. 2) зависимости размера дозы корма (при запланированном массе 1,5кг) от угла выгрузного окна при разных скоростях перемещения раздатчика.

По результатам анализа и сравнительной оценки известных средств нами было обосновано техническое решение и разработана [18] экспериментальная установка (дозатор) для исследования процесса дифференцированного дозирования комбинированных кормов животным.

При планировании эксперимента использовали матрицу D-оптимального трехуровневого плана Бокса-Бенкина, который в сравнении с ортогональными и рототабельными планами является экономическим относительно количества опытов [19, 20, 21]. С целью проверки гипотезы на адекватность моделей второго порядка был проведен статистический анализ уравнений регрессии. Проверка адекватности моделей и значимости коэффициентов регрессии проведена с помощью прикладной статистической программы Statistica 6.1.

По результатам анализа и сравнительной оценки известных средств нами было обосновано техническое решение и разработана [18] экспериментальная установка (дозатор) для исследования процесса дифференцированного дозирования комбинированных кормов животным.

При планировании эксперимента использовали матрицу D-оптимального трехуровневого плана Бокса-Бенкина, который в сравнении с ортогональными и рототабельными планами является экономическим относительно количества опытов [19, 20, 21].

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАРАБАНОГО ДОЗАТОРА
КОМБИКОРМОВ

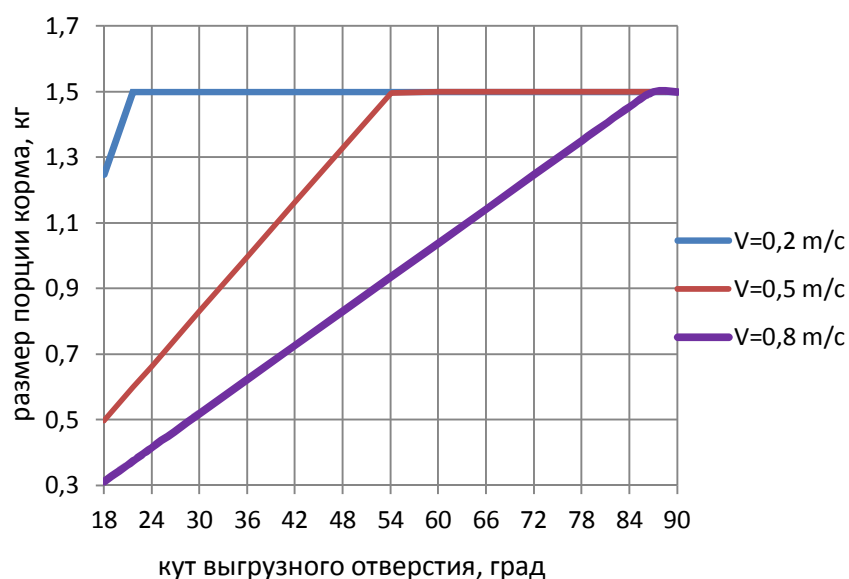


Рис. 2. График зависимости дозы корма (при запланированной массе 1,5 кг) от угла выгрузного окна при разных скоростях перемещения раздатчика

Fig. 2. Chart of dependence of dose of feed (at the prearranged mass of 1,5 kg) from the corner of opening for unloading at different speeds of moving of cattle-feeder

С целью проверки гипотезы на адекватность моделей второго порядка был проведен статистический анализ уравнений регрессии. Проверка адекватности моделей и значимости коэффициентов регрессии проведена с помощью прикладной статистической программы Statistica 6.1.

Статистический анализ позволил определить значимые коэффициенты регрессии, и получить упрощенные уравнения, которые адекватно описывают процесс с заданной 95% вероятностью.

Математические модели после определения значимых коэффициентов регрессии и раскодировал приобрели вид:

массы корма, который выдается одной корове, кг:

$$q = -0,2951 + 0,1276z - 0,1375V + 0,0132\beta, \quad (6)$$

отклонения от заданной дозы корма, проц.:

$$\xi = 24,7473 - 1,7011z - 8,4979V - 0,1479\beta + 0,0387z^2 + 12,744V^2 + 0,0011\beta^2. \quad (7)$$

Анализ уравнений регрессии показал, что при уменьшении дозы выдаваемого корма увеличивается разница между массой корма в одной ячейке и нормой.

Это в свою очередь приводит к увеличению погрешности выдачи. При увеличении

скорости раздатчика корм из ячеек не успевает высыпаться за время прохождения над выгрузным окном (прямая зависимость между скоростью раздатчика и частотой вращения барабана).

Определив частные производные уравнения (7) и приравняв их к нулю определим значение факторов которые обеспечивают оптимальные параметры процесса индивидуально-дозированной выдачи корма.

Для точки экстремума значения скорости будет равняться $V=0,33$ м/с, угла выгрузного окна $\beta=61,2^\circ$, количества штифтов $z=21,98$ шт (потому что, количество штифтов может быть только целой величиной принимаем $z=22$ шт).

При этих (оптимальных) значениях названных факторов наименьшее отклонение выдачи корма от заданной нормы будет составлять 0,079%.

На основании полученных данных построили графики зависимости двух управляемых факторов на отклонение от заданной нормы при оптимальном значении третьего фактора.

Анализ графиков показывает, что общая погрешность не превышает 5%.

То есть восхождение экспериментальных и теоретических данных отвечает выставленным требованиям.

ВЫВОД

Анализ известных конструкторских решений дозаторов для дискретной выдачи корма с учетом особенностей использования в животноводстве показал на целесообразность использование барабанного дозатора для раздачи комбикормов животным при привязном содержании. В результате проведенного теоретического анализа обоснована рациональная конструкторско-функциональ-

ную схему барабанного дозатора с вертикальной осью вращения для индивидуально-дозированной выдачи комбикормов который обеспечивает норму выдачи корма в пределах 1,5...3,5кг на одно скотоместо, а отклонение от заданной нормы выдачи до 5%.

Получены математические модели дозатора, проведено аналитическое исследование, проверена достоверность полученных теоретических зависимостей, которые отображают зависимость качественных показателей процесса дозирования комбикормов от основных конструктивных параметров дозатора.

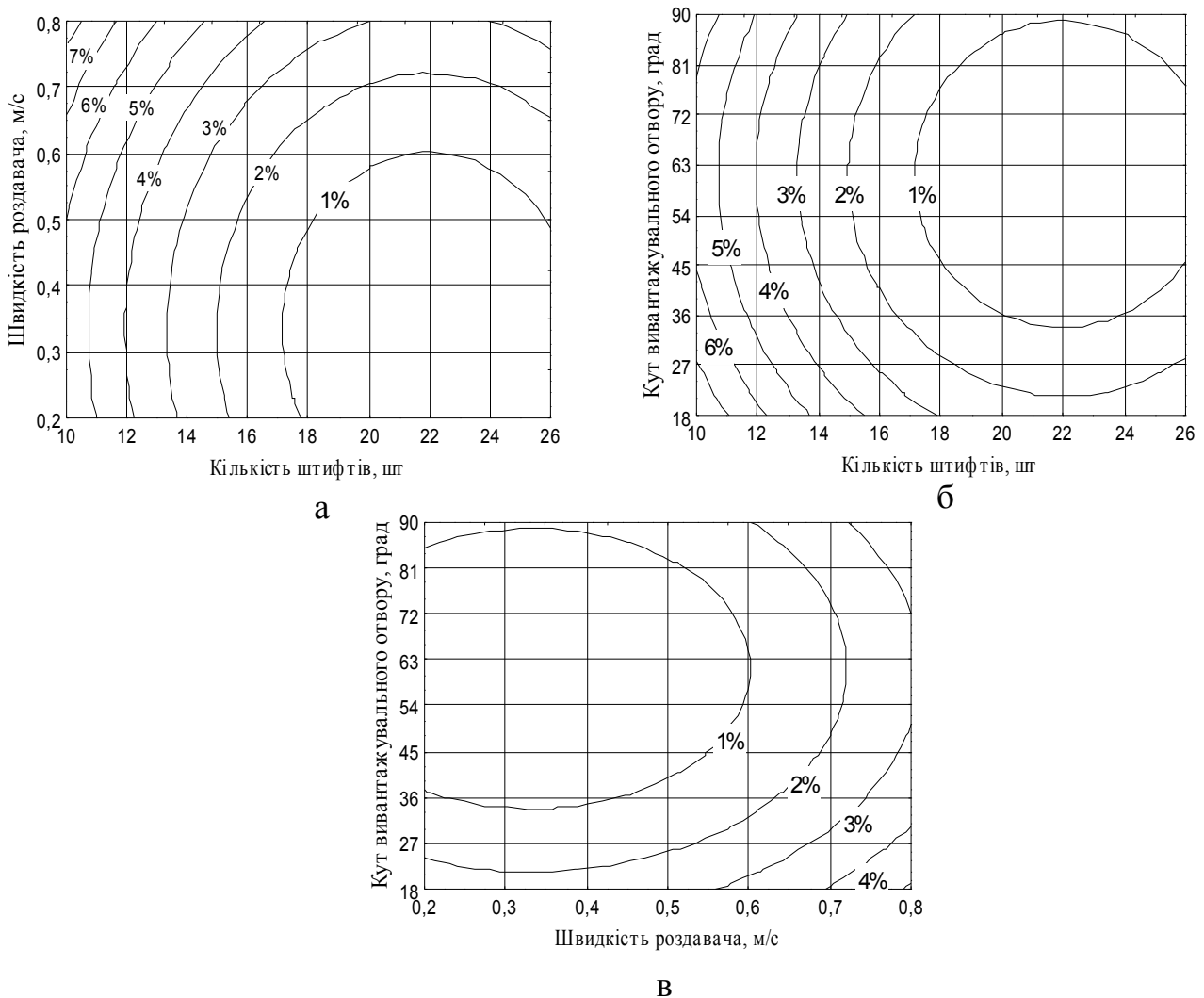


Рис. 3. Влияние двух управляемых факторов на отклонение от заданной нормы при оптимальном значении третьего фактора:

а – $\beta = 62^\circ$; б – $V = 0,33$ м/с; в – $z = 22$

Fig. 3. Influence of two guided factors on deviation from the set norm at the optimal value of the third factor:

а – $\beta = 62^\circ$; б – $V = 0,33$ м/с; в – $z = 22$

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАРАБАНОГО ДОЗАТОРА
КОМБИКОРМОВ

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Mehanizacija 1978: Mehanizacija i avtomatizacija zhivotnovodcheskih ferm. / S.V. Mel'nikov. – L.: "Kolos".
3. Paleckov E.N. 1979: Tehnologicheskie trebovanija k proektirovaniju kormocephov na molochnyh kompleksah // Voprosy kompleksnoj mehanizacii zhivotnovodstva. – Cheljabinsk.
4. Mkrumjan V.S., Stremin V.A., Hlebnikov I.K. 1982: Sistema mehanizacii osnovnyh processov v zhivotnovodstve.// Mehanizacija proizvodstvennyh processov v zhivotnovodstve. – Novosibirsk.
5. Stojanovskij V.S. 1985: Biojenergetika selskohozjajstvennyh zhivotnyh. – M.: Agropromizdat. – 224.
6. Kalashnikov A.P., Klejmenov N.I., Bakanov V.N. i dr. 1985: – M.: Agropromizdat.
7. Jefferktivnoe 1986: Jefferktivnoe ispol'zovanie kormov: Sbornik/ sost. T.N. Bagdasarjanc. – M.: Moskovskij rabochij.
8. Opisanie: Opisanie izobrenenija k avtorskomu svidetel'stvu SU 1822685 A1.
9. Opisanie: Opisanie izobrenenija k avtorskomu svidetel'stvu SU1752294 A2
10. Mehanizacija 1989: Mehanizacija razdachi kormov / A.P. Konakov, Ju.N. Judaev, R.B. Kozin. – M.: Agropromizdat, 1989. – 174.
11. Bratishhev N.F., Grigorjan O.B. 1987: Ustanovi dlja individual'nogo normirovannogo kormlenija korov koncentrirovannymi kormami // Tehnika v sel'skom hozjajstve. – M.: VO Agropromizdat. № 1, – 62–63.
12. Revenko I., Revenko Ju. 2013: Kachestvo prigotovlenija i jefferktivnosti ispolzovanija koncentrirovanyh i kombinirovanyh kormov // MOTROL / – Lublin. – Vol. 15, No 3. – 356–361
13. Potapova S. 2013: Klassifikacija i ocenka izmelchitelej zerna // MOTROL / – Lublin. – Vol. 15, No 3. – 348–355.
14. Koba V.G. 1974: // Mashiny dlja razdachi kormov: Teorija i raschet. – Saratov. – 138.
15. Krasnikov V.V. 1981: Podyemno – transportnye mashiny, M.: – 262.
16. Gjachev L.V. 1968: Dvizhenie sypuchih materialov v trubah i bunkerah. – M.: Mashinostroenie. – 184.
17. Zenkov R.L. 1964: Mehanika nasypanyh gruzov. – M.: Mashinostroenie. – 240.
18. Patent 2003: Patent 52818 (Ukr.)Rozdavach kombikormiv z individual'nim dozuvannjam/ I.I. Revenko, V.V. Radchuk. Bjul.– №4.
19. Melnikov S.V. 1980: Planirovanie jeksperimenta v issledovanijah selskohozjaj-stvennyh processov / S.V. Melnikov, V.R. Aljoshkin, P.M. Roshhin. – L.: Kolos. – 168.
20. Kane M.L. 1987: “Osnovy nauchnyh issledovanij tehnologii mashinostroenija”, Minsk, vysshaja shkola. – 231.
21. Opryshko V.N., Stepanov V.V., Hudoshina Ju.V., Veldjaeva I.S. 2010: Statisticheskoe ocenivanie i obrabotka rezultatov jeksperimenta. Uchebnoe posobie. Saratov: Izdatel'skij centr «Nauka». – 50.

SUBSTANTIATION OF CONSTRUCTIVE-FUNCTIONAL SCHEMES AND RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES BARABANY FEED DISPENSER

Summary. Justification and developed structurally functional diagram of the dispenser for individual issue combined feed the cows, and presented the results of experimental studies of individual accuracy issue of mixed feeds, the regression equation.

Key words: dispenser, vertical axis, honeycomb drum, performance, individual issue.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПЛУГА С ДИСКОВЫМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ

Валерий Дубровин, Дмитрий Скоробогатов

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Valeriy Dubrovin, Dmitriy Skorobogatov

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Приведены результаты и анализ экспериментальных испытаний качественных показателей работы плуга с дисковым измельчителем.

Ключевые слова: плуг, диск, измельчитель, обработка почвы, сидерат, сидеральная культура, удобрение.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Без проведения экспериментальных испытаний невозможно объективно определить параметры рабочих деталей для обработки почвы. Особенно это касается объединения групп почвообрабатывающих рабочих деталей в одной машине. Испытания совместного влияния дискового измельчителя для обеспечения измельчения стеблей сидеральных культур и плуга на качественные показатели механической обработки почвы есть одной из актуальных задач, которые требуют решения.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обоснованию параметров дисков для поверхностной обработки почвы и плугов для вспашки посвящено значительное количество публикаций [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22]. Значительный интерес представляют комбинированные многооперационные агрегаты, которые позволяют в 1,5-2 раза сократить количество проходов техники по полю, сохранить влажность, сократить время совершения технологических приемов в периоды органических агротехнических сроков [5, 9, 10, 11, 18]. Что касается комбинированных агрегатов для вспашки почвы, то большая часть на рынке аграрной техники Украины пока ещё незна-

чительна. В то же время, они требуют проведения испытаний согласно определенных качественных показателей обработки почвы, поскольку объединения плуга с дисковым измельчителем существенно влияет на эти показатели.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является экспериментальное определение конструктивных и технологических параметров работы плуга с дисковым измельчителем при заделке растительных остатков сидеральных и энергетических культур сплошного посева.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При заделке сидеральных культур и растительных остатков энергетических культур, дисковые рабочие детали измельчают стебли, вспахивают почву и смешивают измельченные растительные остатки с почвой. Плуг совершает окончательную их заделку в почву.

Лабораторно-полевые испытания плуга с дисковым измельчителем (условная марка ПЛН-3-35Д) в агрегате с трактором МТЗ-82 (рис. 1.) проводились на чернозёмной почве с ровным рельефом по стерне сои при количестве растительных остатков от 300 до 400 г/м² и исходной гребнистости поверхности от 4 до 5 см на полях испытательного хозяйства Подольского аграрно-технического университета Хмельницкой области в период с 15 по 19 сентября 2007 года.

Компоновочные параметры плуга с дисковым измельчителем имели следующие значения: ширина захвата – 1050 мм; ширина захвата корпуса 350 мм, а в поперечно-вертикальной плоскости – 800 мм; расстоя-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПЛУГА С ДИСКОВЫМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ

ние от дискового измельчителя до носка заднего корпуса – 1300 мм. Основные конструктивные параметры рабочих деталей дискового измельчителя: ширина захвата 1250 мм. (с углом установки дисков 32°); границы изменения угла установки дисков от 24 до 41°, диаметр дисков 450 мм; шаг между дисками 140 мм.

В результате реализации факторного эксперимента за D – оптимальным планом второго порядка Бокса-Бенкина получены дан-

ные, которые характеризуют зависимость выравнивания поверхности почвы и глубины заделки растительных остатков от конструктивно-технологических параметров плуга с дисковым измельчителем: угла установки дисков, глубины установки дисков и скорости движения плуга с дисковым измельчителем. Полученные в результате реализации плана эксперимента средние значения исследованных величин, на основании трехкратного испытания, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментальных испытаний агрегата
Table 1. Results of experimental testing unit

№ п/п	Факторы			Среднее значение	
	угол установки дисков, град.	глубина установки дисков, см	скорость движения	выравнивания поверхности почвы, см	глубина заделки растительных остатков, см
1	32	80	4	3,98	18
2	24	20	4	4,79	14
3	32	20	4	5,17	12
4	24	80	4	3,55	12
5	32	50	6	3,15	14
6	24	50	2	3,36	15
7	32	50	2	5,47	19
8	24	50	6	5,35	14
9	28	80	6	3,24	11
10	28	20	2	4,45	15
11	28	80	2	4,68	13
12	28	20	6	4,29	12
13	28	50	4	5,17	18
14	28	50	4	5,17	18
15	28	50	4	5,17	18

Обработка экспериментальных данных с помощью стандартного машинного программного обеспечения позволила получить следующие математические модели второго порядка для каждой из функций отклика:

$$\sigma = -29,4791 + 1,6788 \alpha + 0,0585 h_D + 4,9741 v - 0,02 \alpha^2 - 0,0005 h_D^2 - 0,1311 v^2 + 0,0001 \alpha h_D - 0,135 \alpha v - 0,0053 h_D v, \quad (1)$$

$$h_P = -23,7917 + 2,1042 \alpha - 0,1042 h_D + 6,3542 v - 0,0391 \alpha^2 - 0,0038 h_D^2 - 0,4688 v^2 + 0,0167 \alpha h_D - 0,125 \alpha v + 0,0042 h_D v, \quad (2)$$

где:

σ – выровненность почвы поля при работе агрегата, см,

h_P – глубина заделки растительных остатков, см,

α – угол установки (атаки) дисков, град.,

h_D – глубина установки дисков, см,

v – скорость движения плуга с дисковым измельчителем, км/час.



Рис. 1. Плуг с дисковым измельчителем в работе
Fig. 1. Plough rotary chopper in the work

Статистическая обработка результатов экспериментов проводилась по общеизвестным методикам оценки однородности дисперсий по критерию Кохрена и оценкой адекватности уравнения регрессии с использованием критерия Фишера.

Испытания влияния факторов на выровненность поверхности поля при работе плуга с дисковым измельчителем показали (рис. 2, 3, 4), что угол атаки дисковой батареи существенно не влияет на выровненность поверхности поля. Она меняется от 4 до 5 см при изменении угла атаки дисковой батареи от 240 до 320°.

С увеличением высоты установки дисковой батареи по отношению к носку лемеха, выровненность поверхности поля возрастает. Это обусловлено тем, что корпус плуга при углублении работает в более стабильном режиме.

Скорость движения плуга с дисковым измельчителем неоднозначно влияет на вы-

ровненность поверхности поля, что связано с наличием эффекта наложения гребнистости поверхности поля, образованной при прохождении дисков на гребнистость образованную работой корпусов плуга. На выровненность поверхности поля влияет также выпучивание рабочих деталей из почвы, которое в разной степени проявляется для плуга и дисков. При скорости движения агрегата от 3 до 5 км/час, выровненность поверхности поля принимает максимальное значение, превышающее 5 см.

Испытания влияния на глубину обработки растительных остатков угла атаки, высоты установки дисков и скорости движения плуга с дисковым измельчителем приведены на рис. 5, 6, 7. Установлено, что на глубину обработки растительных остатков в наибольшей мере влияет высота установки дисков и скорость движения плуга с дисковым измельчителем.

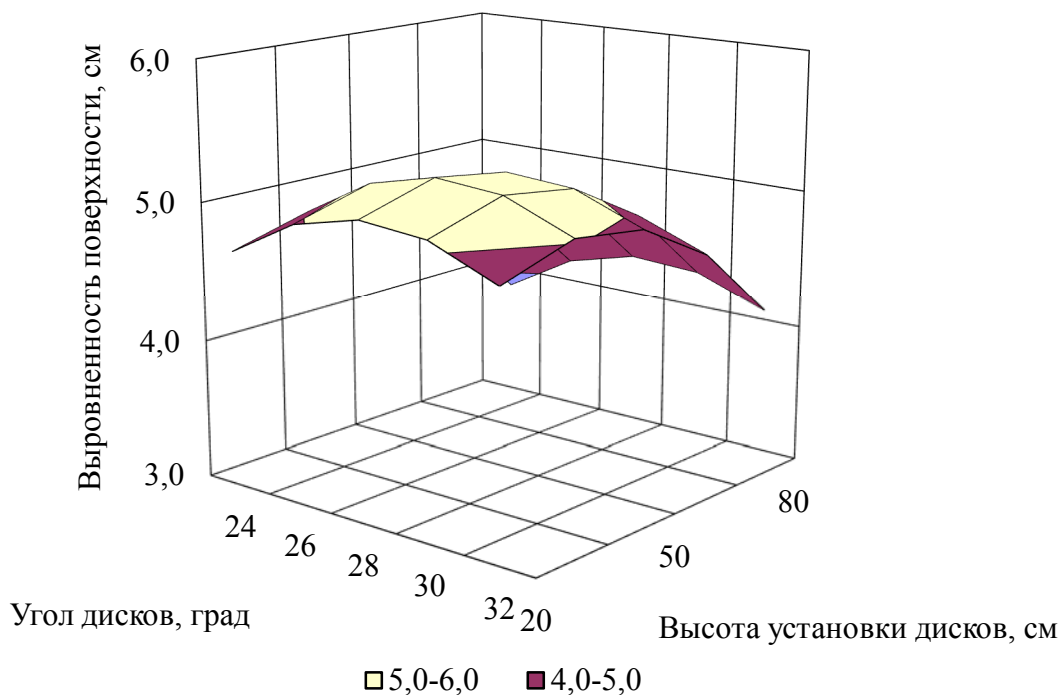


Рис. 2. Влияние на выровненность поверхности после прохода плуга с дисковым измельчителем угла атаки и высоты установки дисков

Fig. 2. Effect on the evenness of the surface after the passage of the plow rotary chopper attack angle and height of installation disks

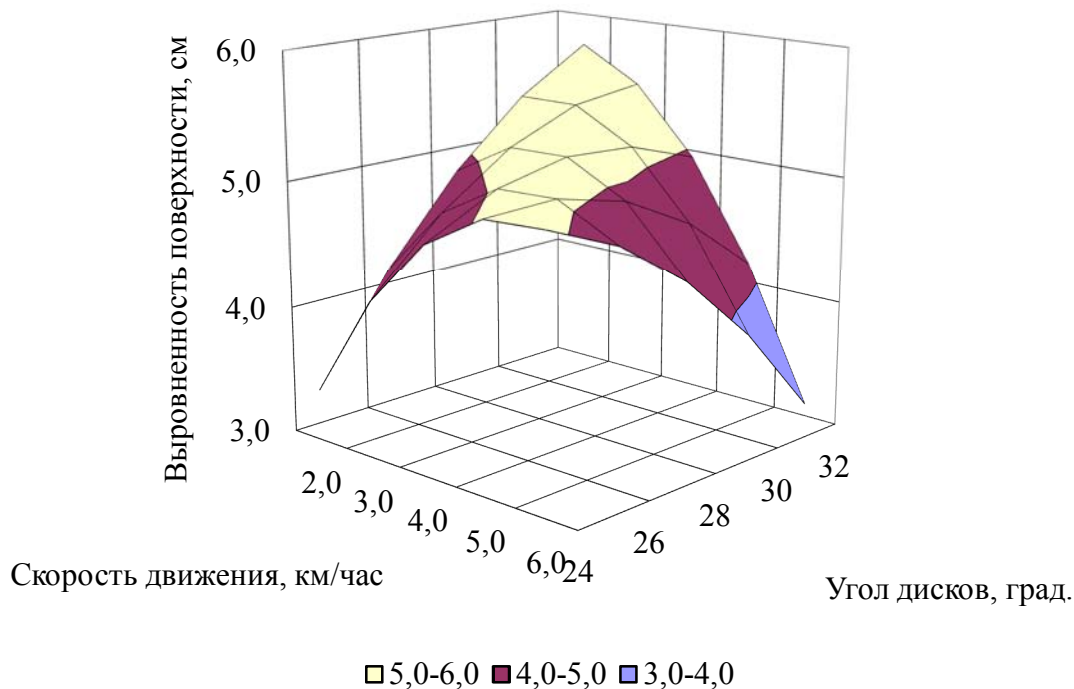


Рис. 3. Влияние на выровненность поверхности после прохода плуга с дисковым измельчителем угла атаки дисков и скорости движения

Fig. 3. Effect on the evenness of the surface after the passage of the plow rotary grinder angle of attack and speed drives

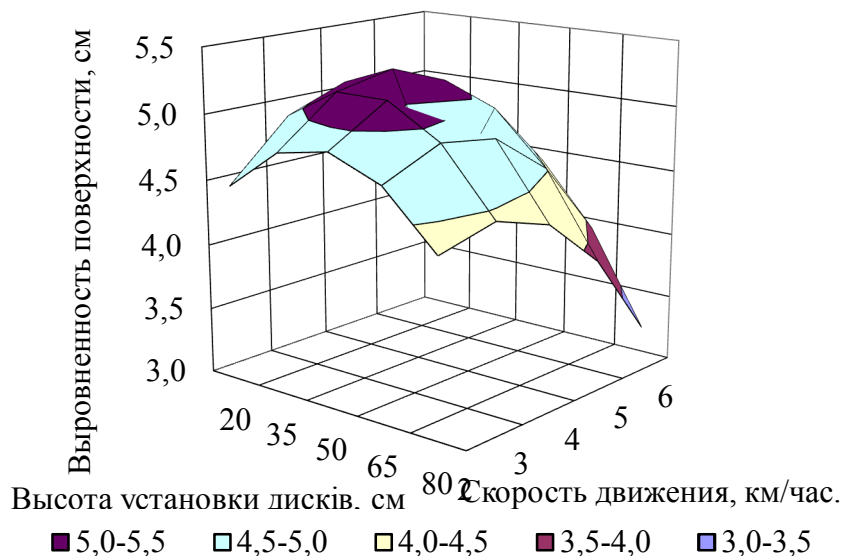


Рис. 4. Влияние на выровненность поверхности после прохода плуга с дисковым измельчителем высоты установки дисков и скорости движения
Fig. 4. Impact on the evenness of the surface after the passage of the plow rotary shredder installation altitude and speed drives

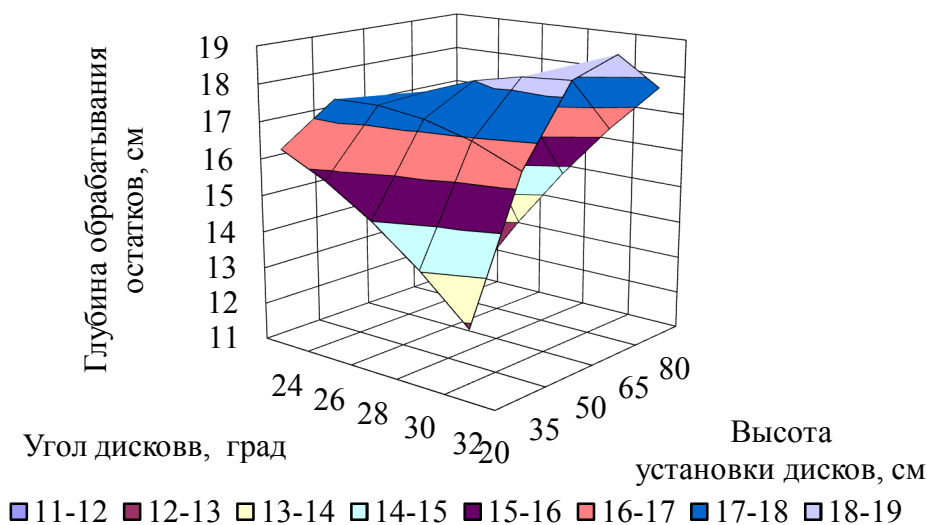


Рис. 5. Влияние на глубину обработки остатков плугом с дисковым измельчителем угла атаки и высоты установки дисков
Fig. 5. Impact on the depth of the plow working up residues with disk chopper attack angle and height of installation disks

С увеличением высоты установки дисковой батареи по отношению к носку лемеха, глубина обработки растительных остатков увеличивается. Таким образом, при высоте установки дисковой батареи по отношению к носку лемеха от 40 до 60 см, глубина обработки растительных остатков максимальная и составляет от 17 до 19 см. Это обусловлено тем, что корпус плуга при

углублении затрагивает больший объем почвы. В дальнейшем вступает в работу угловым, которым оборудован отвал плуга и работа которого позволяет изменять траекторию полета верхнего слоя почвы, на котором сосредоточены растительные остатки.

Растительные остатки из верхнего слоя почвы угловым может направлять по трем возможных траекториям.

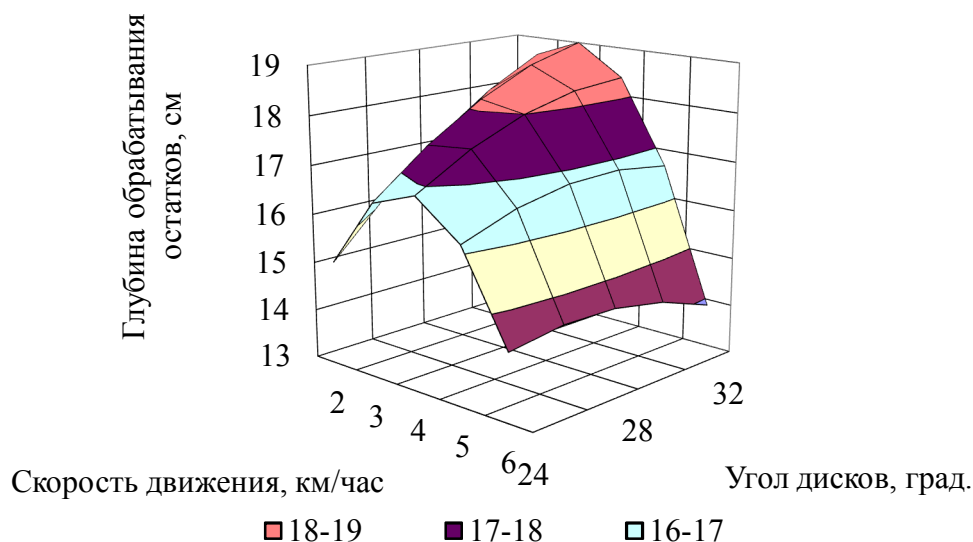


Рис. 6. Влияние на глубину обрабатывания остатков плугом с дисковым измельчителем угла атаки и скорости движения

Fig. 6. Impact on the depth of the plow working up residues with a disk grinder angle of attack and speed

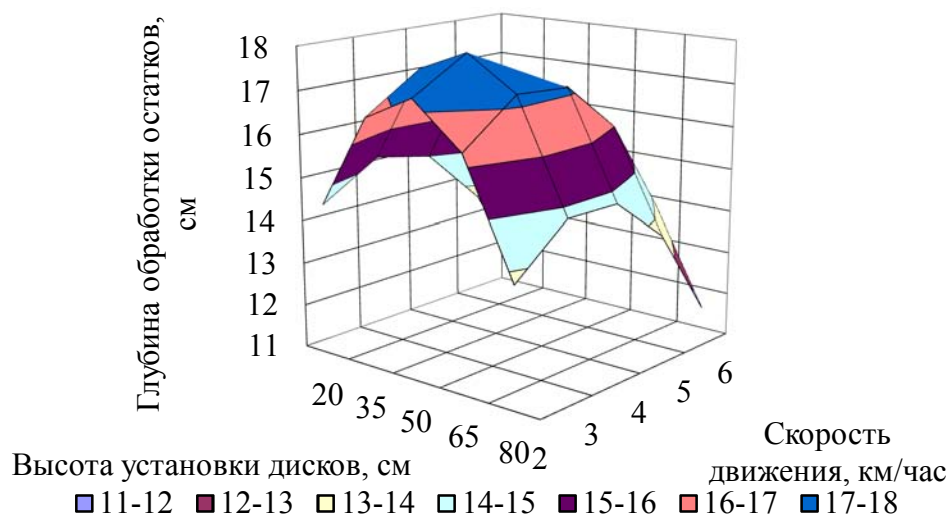


Рис. 7. Влияние на глубину обрабатывания остатков плугом с дисковым измельчителем угла атаки и скорости движения

Fig. 7. Effect on depth obrabatyvaniya residues plow rotary grinder angle of attack and speed

Первая, когда остатки укладываются на склон предыдущей борозды, вторая, когда остатки поступают на дно борозды и третья – когда остатки укладываются на склон новой борозды. Лучшим вариантом траектории является тот, когда остатки ложатся на дно борозды.

Скорость движения плуга с дисковым измельчителем неоднозначно влияет на глубину обрабатывания растительных остатков, что связано с возможными траекториями их движения при движении с углоснымом. Это связано с влиянием скорости движения плуга

с дисковым измельчителем на абсолютную скорость схода растительных остатков с углосными, а соответственно и их заключением, или на дно борозды, или за ее пределами. Максимальная глубина заделки растительных остатков составляет от 17 до 19 см при скорости движения агрегата от 3 до 4 км/час.

ВЫВОД

Таким образом, влияние угла установки дисков, глубины установки дисков и скоро-

сти движения плуга с дисковым измельчителем на выровненность поверхности почвы после прохода плуга с дисковым измельчителем и глубину обрабатывания растительных остатков имеет неоднозначный характер, что не дает возможности определить конструкционно-технологические параметры плуга с дисковым измельчителем. Таким образом, при скорости движения плуга с дисковым измельчителем от 4 до 5 км/час выровненность поверхности почвы и глубина обрабатывания растительных остатков являются максимальными и находятся соответственно в пределах от 4,5 до 5,5 см и от 15 до 19 см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sineokov G.N., Panov I.M. 1977: Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin. – M.: Mashinostroyeniye. – 311.
2. Strelbitskiy V.F. 1978: Diskovyye pochvoobrabatyvayushchiye mashiny. – M.: Mashinostroyeniye. – 135.
3. Tsimmerman M.Z. 1978: Rabochiye organy pochvoobrabatyvayushchikh mashin. – M.: Mashinostroyeniye. – 295.
4. Dubrovin V.O., Golub G.A., Skorobogatov D.V. 2007: Obruntuvannya diametra diskiv izmelchitelya stebel sideralnykh kultur // Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu. – Kiev: NAU. – Vip.117. – 388.
5. Dubrovin V.O., Golub G.A., Skorobogatov D.V., Tishchenko S.S. 2008: Eksperimentalni ispytaniya pluga z diskovim // Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu. – Kiev: NAU. – Vip.125. – 304.
6. Bosoy Ye.S., Vernyayev O.V., Smirnov I.I. i dr. 1977: Teoriya, konstruktsiya i raschet selskokhozyaystvennykh mashin. M.: Mashinostroyeniye. – 568.
7. Voytyuk D.G., Gavrilyuk G.R. 1994: Silskogospodarski mashini. – K.: Urozhay. – 448.
8. Gorodniy M.M., Shikula M.K., Gudkov I.M. ta in. 1993: Agroyekologiya. – K.: Vishcha shk. – 416.
9. Debelyy G.A. 2000: Odnoletniy uzkolistnyy lyupin na zelenoye udobreniye. // Zernovyye kultury – № 5. – 19.
10. Dovban K. I. 1990: Zelenoye udobreniye. – M.: Agropromizdat. – 208.
11. Dovban K.I. i dr.. 1992: Sideratsiya v intensivnom zemledelii. Obzor inf. / VNIITENagroprom – M. – 68.
12. Dubrovin V.O. 1997: Mekhaniko-tekhnologichne obgruntuvannya diferentsiatsii zasobiv mekhanizatsii oranki // Dis...doktora tekhn. nauk. – Glevakha. – 310.
13. Karpenko A.N., Khalanskiy V.M. 1983: Selskokhozyaystvennyye mashiny. – 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos. – 495.
14. Klenin N.I., Sakun V.A. 1980: Selskokhozyaystvennyye i meliorativnyye mashiny: Elementy teorii rabochikh protsessov, raschet regulirovochnykh parametrov i rezhimov raboty. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos. – 671.
15. Letoshnev M.N. 1955: Selskokhozyay-stvennyye mashiny. – M. – L.: Selkhozgiz. – 764.
16. Panov I.M., Sakun V.A. 1985: Puti povysheniya proizvoditelnosti pakhotnykh agregatov // – Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. – № 7. – 21.
17. Sablikov M.V. 1968: Selskokhozyaystvennyye mashiny. Ch.2. Osnovy teorii tekhnologicheskogo rascheta. M., “Kolos”,. – 296.
18. Taymonov A.M. 1992: Zadelka sideratov v pochvu. // Zemledeliye.– № 3. – 64.
19. Khoroshilov A.D. 1940: Korpusa glubokopakhotnykh plugov // Pochvoobrabatyvayushchiye mashiny. – M.–l. – № 3. – 73.
20. Lytvynov O. 2006: Towards the dynamic calculation of machines / O. Lytvynov, W. Tanas // Motrol. – Tom 8A – 210 – 223.
21. Gennadiy Ivanov, Pavlo Polyansky 2008: // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – LUBLIN – Tom 10 B. – 117–123.
22. Sukach M.K., 2011. Soprotivleniye peschanogo grunta pri shchelevom rezanii shirokim nozhom / Sukach M.K., Novikov R.Yu. // Motrol. – Vol. 13C. 183–189

EXPERIMENTAL TESTS PERFORMANCE SPECIFICATIONS PLOWS DISK GRINDER

Summary. The results and analyze of experimental research of work quality parameters of plough with disc disintegration are given.

Key words: plow, disk shredder, tillage, green manure, green manure crops, fertilizer.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ХЛЕБНОЙ МАССЫ

Александр Демко, Анатолий Демко, Александр Надточий

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Alexander Demko, Anatoliy Demko, Alexander Nadtochiy

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Рассчитаны границы снижения числовых значений коэффициентов влияния соломистости, влажности, засоренности хлебостоя, на изменение пропускной способности молотильно-сепарирующего устройства и производительности комбайна.

Ключевые слова: соломистость, влажность, засоренность хлебостоя, зерноуборочный комбайн, хлебная масса.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Влияние агробиологического состояния хлебной массы на производительность в литературных источниках констатируется, а в практических выводах декларируется прилагательными, но нет аналитического подтверждения числовых значений. При выполнении технологической операции уборки урожая главным условием является качество обмолота хлебной массы и стабильность прохождения технологического процесса, через реализацию показателя пропускной способности для комбайнов классов и конструктивных схем.

Производительность зерноуборочных комбайнов зависит от многих объективных и субъективных факторов и факторов, влияние которых на фактическую производительность можно выразить функциональной зависимостью:

$$W_{\phi} = W_n \cdot f(q_{\phi}), \quad (1)$$

$$q_{\phi} = f(k_1, k_2, k_3, k_4, k_{Bp}, k_{Vp}, k_{\Gamma}, k_{Ne}, k_q), \quad (2)$$

где: k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты, которые учитывают характеристики агробиологического состояния хлебной массы: влажность соломы, соломистость, влажность зерна, засоренность; k_{Bp}, k_{Vp} – коэффициенты, которыми учтено среднее значение ширины захвата жатки и среднее значение рабочей ско-

рости; k_{Γ}, k_{Ne}, k_q – коэффициенты готовности, степени снижения мощности двигателя, от номинального значения и коэффициент снижения пропускной способности.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При разработке технологических карт уборки урожая значения коэффициентов влияния специалистами сельхозпредприятий выбираются эмпирически, опираясь на собственный, обобщенный опыт или квалификацию. Для уменьшения влияния субъективной оценки влияния действующих факторов, характеристик, на производительность комбайнов, числовые значения их влияния следует рассчитывать.

Уборка урожая характеризуется определенными показателями качества: технологическими нормативами (пропускная способность) и допустимыми отклонениями от них (технологический допуск на нормативы); точностью разработанных требований или уровнем сопоставления полученных в реальном производстве показателей качества с допустимыми.

Качественные показатели работы зерноуборочных комбайнов ДОН-1500 и ДОН-1200Б при правильной регулировке рабочих органов и условий определяются ГОСТ 22611-80. Показатели и характеристики допусков приведены в таблице 1.

Равномерность подачи хлебной массы в молотильный аппарат зависит от влияния значительного числа факторов: неравномерности плотности растений, высоты и влажности хлебостоя, использования ширины захвата жатки, неравномерности высоты скашивания, неравномерности подачи шнеком жатки и плавающим наклонным

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ АГРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ХЛЕБНОЙ МАССЫ**

Таблица 1. Качественные показатели работы зерноуборочных комбайнов
Table 1. The high-performance combine harvesters

Показатель	Ед. изм.	Допуск для комбайна	
		ДОН-1500Б	ДОН-1200Б
Производительность по зерну	т/год	14,0	11,3
Потери зерна не больше: за жаткой при полеглости хлебов до 20%	%	0,5	
При полеглости хлебов за подборщиком (недомолотом, очисткой)	%	1,5	
за молотилкой	%	1,5	
Измелчение зерна не больше для:			
колосовых	%	2,0	
кукурузы	%	3,0	
подсолнуха	%	3,0	
Засоренность в зерновой массе бункера	%	2,0	

транспортером, культуры возделывания конкретного поля, степени засоренности. В литературных источниках [1, 2, 3] пропускная способность молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочных комбайнов показывается как постоянная величина, которая зависит от четырех стартовых конструктивных и эксплуатационных характеристик и шести эмпирических коэффициентов (0.458, 32, 0.26, 1.5, 0.8, 0.83).

Практика показывает, что в условиях реального производства пропускная способность и соответственно производительность является величиной переменной, которая зависит от объективных и субъективных факторов, характеристик.

Объективными факторами служат: грунтово-климатические условия, рельеф и контуры полей, физико-механические свойства культуры, конструктивные и эксплуатационные характеристики комбайнов. Субъективные факторы: засоренность, соломистость, влажность хлебной массы и зерна, культура земледелия, квалификация комбайнеров (выбор оптимальной рабочей скорости), высоты среза, ширины захвата жатки.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы являлось получить зависимости фактической пропускной способности молотильно-сепарирующего устройства и производительности комбайнов от характеристики хлебной массы во время комбайнирования: соломистости хлебной

массы, влажности зерна и соломы, степени засоренности поля.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нормативными являются следующие характеристики: соломистость $\delta_c = 1.5$; урожайность $U = 4$ т/га; влажность соломы $Вс = 17\%$; влажность зерна $Вз = 15\%$; засоренность $Вб < 5\%$.

Номинальную часовую производительность при урожайности до 4 т/га можно определить используя зависимость:

$$W_r = \frac{0,36 \cdot B_p \cdot (N_{e_n} \cdot \xi - 2 \cdot q_n)}{B_p \cdot U(1 + \delta_c) \cdot (N_{IIII} + N_{III}) + \frac{g \cdot f \cdot G_T \cdot t}{\eta_{TP}}} \cdot (3)$$

При урожайности более 4 т/га, учитывая пропускную способность молотильно-сепарирующего устройства комбайна из зависимости:

$$W_r = \frac{3,6q_n}{U(1 + \delta_c)} \cdot (4)$$

Для расчета производительности комбайна за формулами (3), (4) необходимо определить показатель пропускной способности МСП, учитывая влияние единичных агробиологических характеристик хлебостоя убираемой культуры. Пропускную способность в свою очередь определяют учитывая числовые значения отдельных коэффициентов.

Очевидно, что приведенные характеристики хлебостоя влияют на увеличение расходов

мощности на единицу обмолоченной хлебной массы.

Специалистам аграрного производства известно, как приведенные характеристики хлебостоя, особеннзасоренность влияет на смену физических и функциональных параметров скатной доски, решетного стана, внутренних поверхностей клавиш соломотряса. Жидкость, которая вижимается барабаном из сырой массы сорняков влажностью 60-70% имеет высокие адгезионные свойства и попадают на рабочую поверхность грохота, решет и внутренние (рабочие) поверхности клавиш соломотряса. Это способствует налипанию на них пыли, половы, измельченной соломы, и созданию на поверхности (особенно у скатной доски) монолитной твердой поверхности иногда толщиной до 50-70 мм После чего скатная доска теряет свои функциональные характеристики отделять зерно от половы. Для очистки скатной доски от налипания грязи нужны значительные физические усилия и специальные технические устройства, а также дополнительно до 4 часов рабочего времени. Неоднородность толщины грязи по периметру скатной доски является причиной дисбаланса и вероятного обрыва креплений. Налипание грязи на рабочих поверхностях решет, соломотрясавлечет повышение потерь зерна за МПС комбайна. В свою очередь остатки сорняков имеют большую массу, геометрические размеры и другие аэродинамические свойства, чем солома и измельчена солома и также является причиной повышенных потерь зерна.

Влияние соломистости, влажности и засоренности, на пропускную способность МПС можно определить следующим образом: влияние соломистости (используем обратное значение коэффициента):

$$q_{\phi 1 \max} = q_n \cdot \frac{1}{k_{1 \max}}, \quad q_{\phi 1 \min} = q_n \cdot \frac{1}{k_{1 \min}}, \quad (5)$$

где: $k_{1 \max}$ и $k_{1 \min}$ - соответственно максимальное и минимальное значение коэффициенту влияния соломистости на пропускную способность МПС комбайна;

влияние влажности хлебостоя (используем обратное значение коэффициента):

$$q_{\phi 2 \max} = q_n \cdot \frac{1}{k_{2 \max}}, \quad q_{\phi 2 \min} = q_n \cdot \frac{1}{k_{2 \min}}, \quad (6)$$

где: $k_{2 \max}$ и $k_{2 \min}$ – соответственно максимальное и минимальное значение коэффициенту влияния влажности хлебостоя на пропускную способность МПС комбайна;

влияние засоренности хлебостоя:

$$q_{\phi 3 \max} = q_n \cdot k_{3 \max}, \quad q_{\phi 3 \min} = q_n \cdot k_{3 \min} \quad (7)$$

где: $k_{3 \max}$ и $k_{3 \min}$ – соответственно максимальное и минимальное значение коэффициенту влияния засоренности хлебостоя на пропускную способность МПС комбайна;

Чтобы получить результирующий коэффициент влияния состояния хлебостоя следует учесть, что направление изменения значения коэффициента влияния должно совпадать с направлением его влияния на пропускную способность. То есть, минимальному значению влажности, соломистости и засоренности, отвечает максимальное значение пропускной способности МСП.

Объединив все коэффициенты влияния состояния хлебостоя пропускную способность МПС комбайна можно выразить зависимостью:

$$q_{\phi \max} = q_n \cdot \frac{k_{3 \max}}{k_{1 \max} \cdot k_{2 \max}},$$

$$q_{\phi \min} = q_n \cdot \frac{k_{3 \min}}{k_{1 \min} \cdot k_{2 \min}} \quad (8)$$

Для учета влияния соломистости автор [6] предлагает использовать коэффициент k_1 , значение которого определяет из выражения:

$$k_1 = \frac{1 - c_0}{1 - c} = \frac{1 - 0.66}{1 - 0.64} = 0.94,$$

$$k_1 = 1 - 0.94 = 0.06 \approx 6\% \quad (9)$$

где: c_0 , c – расчетное и фактическое содержание зерна в соломе, в долях единицы.

Машинно-испытательные станции данный коэффициент определяют иначе:

$$k_1 = \frac{1}{0.6 \left(1 + \frac{1}{\delta_c}\right)} = \frac{1}{0.6 \left(1 + \frac{1}{1.5}\right)} = 1. \quad (10)$$

Расчетные значения коэффициента, в зависимости от соломистости подано на рис. 1 и табл. 2.

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ АГРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ХЛЕБНОЙ МАССЫ**

Таблица 2. Влияние соломиности на значение коэффициента
Table 2. Influence of solomitol on the value of the coefficient

δ_c	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
k_1	0.79	0.83	0.87	0.91	0.94	0.97	1.0	1.02	1.05	1.07	1.09
$\frac{1}{k_1}$	1.266	1.208	1.199	1.093	1.063	1.030	1.0	0.98	0.952	0.934	0.917

Таблица 3. Влияние влажности зерна и соломы на значение коэффициента
Table 3. Impact of humidity of grain and straw on the value of the coefficient

Показатели	Влажность зерна и соломы %								
	Зерно	20	19	18	17	16	15	14	13
Солома	22	21	20	19	18	17	16	15	
Коеф.	1.063	1.048	1.037	1.024	1.012	1.000	0.988	0.976	
$\frac{1}{k_2}$	0.941	0.954	0.964	0.976	0.988	1.0	1.012	1.0245	

Таблица 4. Влияние засоренности хлебной массы на значение коэффициента
Table 4. Impact of contamination of the grain mass in the value of the coefficient

Показатели	Относительная засоренность хлебной массы %									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45
k_3	0.976	0.957	0.943	0.929	0.912	0.882	0.875	0.868	0.850	0.840

Как видно из таблицы 2 изменение соломиности от значения $\delta_c = 0.9$ увеличивает коэффициент влияния k_1 от 0.79 до 1.09, то есть на 30%.

Влияние влажности хлебной массы на значение коэффициента влияния k_2 для засоренных хлебостоев зерновых культур можно определить из зависимости [4]:

$$k_2 = \frac{\frac{100 - B_3}{100 - B_3^1} + \delta_c \cdot \frac{100 - B_c}{100 - B_c^1}}{1 + \delta_c}, \quad (11)$$

где: B_3, B_c, B_3^1, B_c^1 – соответственно нормативная кондиционная влажность зерна и соломы и их фактическое значение %.

Для расчетов примем изменение влажности зерна B_3 от 20% до 13%, соломы B_c от 22% до 15%.

Как свидетельствуют данные таблицы 3 уменьшение влажности зерна B_3 от 20 до 13% и соломы B_c от 22 до 15% снижает коэффициент влияния k_2 от 1.063 до 0.976 или на $\approx 9\%$.

В случае засоренности хлебной массы значения коэффициента влияния k_3 определяется из зависимости:

$$k_3 = \left[c_0 \frac{100 - B_3}{100 - B_3^1} + (1 - c_0 - \varepsilon) \frac{100 - B_3}{100 - B_3^1} \right] \cdot (1 + \varepsilon), \text{ или}$$

$$k_3 = -0.025 \cdot \varepsilon^{0.538} + 1.037, \quad (12)$$

где: ε – содержание сорняков хлебной массе в долях единицы.

Расчетные значения влияния засоренности на показатели коэффициента приведены в таблице 4 при нормативных условиях $B_3 = 15\%$, $B_c = 17\%$.

В работе [4] показан метод расчета пропускной способности молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочных комбайнов на примере ДОН-1500.

Расчетные значения влияния коэффициентов на показатели работы МСП приведены в таблице 5. В частности данные таблицы свидетельствуют, что общее влияние всех коэффициентов на пропускную способность МСП может достигать 43%.

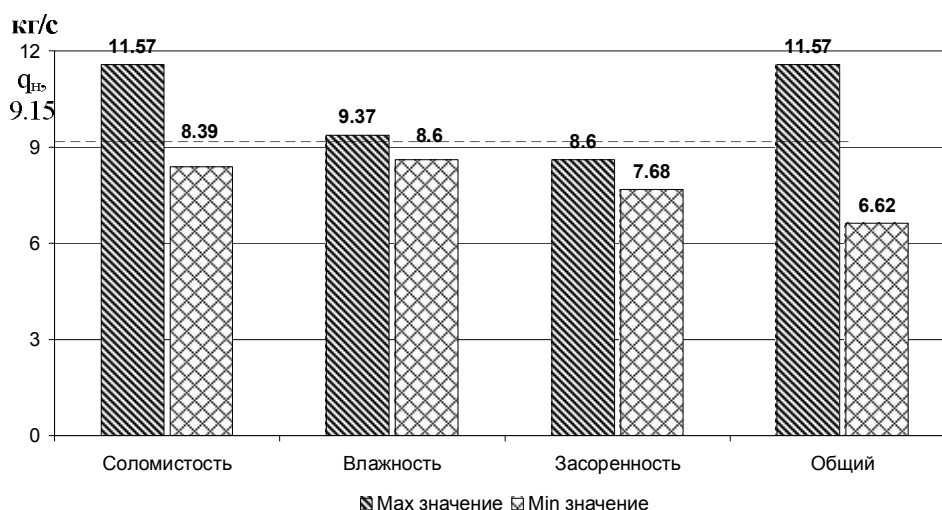


Рис. 1. Влияние отдельных и общих характеристик хлебной массы на пропускную способность МСП комбайна

Fig. 1. Influence of separate and general descriptions of panary mass on the carrying capacity of MSP combine

Таблица 5. Расчетные значения коэффициентов влияния на показатели пропускной способности МСП комбайна ДОН-1500

Table 5. Estimated value of the factors affecting performance throughput method of SMEs harvesters DON-1500

Характеристика хлебостоя	Значение						
	Δ_{\min}	Δ_{\max}	k_{\min}	k_{\max}	q_{\max}	q_{\min}	%
Соломистость	0.9	1.9	$\frac{0.79}{1.265}$	$\frac{1.09}{0.917}$	11.57	8.31	-27%
Влажность	15%	22%	$\frac{0.976}{1.026}$	$\frac{1.063}{0.94}$	9.38	8.60	-8.1%
Засоренность	5%	50%	0.976	0.84	8.60	7.68	-16.1%
Общее влияние			1.265	0.724	11.57	6.62	-43%

Опираясь на зависимости, изложенные выше, пропускную способность МСП ЗК ДОН-1500 для примера определяли при нормативных условиях: урожайность $U = 4$ т/га, зерновая культура – пшеница, влажность соломы $V_c = 17\%$, засоренность, – 0%, влажность зерна $V_z = 15\%$, соотношения зерно: солома, – 1:1.5, мощность двигателя $N_e = 173$ кВт, масса ЗК – 16.8 кН, КПД трансмиссии $\eta_{тр} = 0.88$, коэффициент качения $f = 0.12$, удельная мощность обмолота $N_{пм} = 9.1$ кВт·с/кг, $N_{пп} = 2.1$ кВт·с/кг.

Как следует из показателей таблицы 5 и рис. 1 наибольшее влияние на снижение пропускной способности МСП имеет соломистость хлебостоя. Изменение соломистости $\delta_c = 0.9...1.9$ соответственно приводит к

изменению пропускной способности от $q_{\phi_{\max}} = 11.57$ $q_{\phi_{\min}} = 8.39$ кг/с. В процентном отношении это влияние составляет 27,4%. Влияние засоренности при изменении от 5 до 50% снижает пропускную способность МСП на 16,1%. Минимальное влияние на пропускную способность ЗК осуществляет влажность зерна и соломы и составляет 8.1%.

Расчет производительности комбайна ДОН-1500Б при нормативных характеристиках хлебостоя за формулой (3) показал значение $W_H = 4.05$ га/ч. Изменение соломистости от 0.9 до 1.9 влияет на производительность, изменяя ее обратно пропорционально от 5.12 до 3.71 га/ч, то есть изменяется на 27.5%.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ХЛЕБНОЙ МАССЫ

Влажность при изменении от 22 до 15 % влияет на производительность в пределах от 4.15 до 3.8 га/ч или на 8.4%, а изменение засоренности от 5 до 50% влияет соответственно в пределах от 3.95 до 3.4 га/ч или на 14%.

ВЫВОДЫ

1. Рассчитаны границы вероятных числовых значений коэффициентов солоmistости, влажности и засоренности зернового хлебостоя.

2. Рассчитаны вероятные границы изменения числовых значений пропускной способности молотильно-сепарирующего устройства комбайнов ДОН-1500 в зависимости от влияния одиночных и общего коэффициентов влияния. Наибольшее влияние на смену пропускной способности МСП имеет солоmistость хлебостоя (в пределах 27%), наименьший влажность соломенной массы (в пределах 8%). Засоренность существенно влияет на пропускную способность МСП и на увеличение механических потерь за МСП (в 5-6 раз) в сравнении с нормативным значением (1%) от валового сбора.

3. Рассчитаны вероятные границы числовых значений производительности через час чистой работы (га/ч) в зависимости от влияния одиночных и общего коэффициентов.

4. Предложен метод расчета производительности комбайнов в зависимости от веса влияния отдельных коэффициентов или их общего действия позволит прогнозировать вероятное изменение производительности на конкретном поле и за срок жатв с минимизацией биологических потерь урожая.

5. Изменение высоты среза хлебостоя на 1-1.5 см увеличивает пропускную способность молотильно-сепарирующего устройства комбайнов типа ДОН-1500Б на %, или на 0.1-0.12 кг/с., производительность соответственно на 0.04-0.05 га/1%. Повышенная засоренность хлебостоя на 5% снижает пропускную способность МСП комбайна на 0.147 кг/с., а производительность на 0.0065 га/5%.

6. Проведены расчеты по влиянию массы соломы в молотильно-сепарирующему

устройству комбайнов подтверждают экспериментальные тесты в Швеции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jalnin E.V. 2004: Razvitie ucheniya V/P/Goryachkina v oblasti zernouborochnoy tehniki // Tehnika v selskom hozyaystve №6 – 23–30.
2. Jalnin E.V., Jikimbaev M.S. 2009: O perevode fizicheskikh zernouborochnih kombaynov v etalonnii // Traktory i selskohozyaystvennie mashiny №7 – 37–40.
3. Bosoy E.S. 1978: Teoriya, konstrukciya i raschet selskohozyaystvennie mashin. – M.: «Mashinostroenie». – 332–334.
4. Demko A.A., Nadtochiy A.V., Demko O.A. 2012: Metod viznachennya propusknoyi zdatnosti molotilno-separuuchogo pristroy zernozbiralnih kombayniv iz vrahuvannyam zmini tehniko-ekspluatsiynih karakteristik // Tehnika i tehnologii №2 – 32–35.
5. Demko S.A. 2007: Viznachennya znachen-nya vplivu tarminu ekspluatsii zernozbiralnih kombayniv na ih tehniko-ekspluatsiynih karakteristik. Avtoreferat dis.: 05.05.11 / Kiev. – 20.
6. Vagenin A.M. 1965: Propusknaya sposobnost molotilki kombayna Sb. Nauchnih trudov UIMESH., Vip. 23 – 92–95.
7. Tabashnikov A.M. 1985: Optimizaciya uborki zernovih kultur kombaymovimi agregatami. – M.: Agroprom izdat. – 158.
8. Jalnin E.V., Savchenko A.N. 1985: Tehnologiya uborki zernovih kombaynovimi agregatami. – M.: Rosselhozizdat. – 206.
9. Penkin M.G. 1988: Gibkost tehnologii industrialnoy uborki zernovih kultur. // Mehani-zaciya I elektrofikaciya selskogo hozyaystva, №9 – 15–17.
10. Lipkovich T.I. 1989: Uborka urogaya kombaynami “DON”. – M.: Rosagropromizdat. – 218.
11. Grechkosiy V.D. 1991: Kompleksna tehnologiya virobniictva zerna. – Kiev.: Urogay, – 213.
12. Goryachkin V.P. 1968: Sbranie sochineniy. Tom 1, – Moskva : Izd. «Kolos» – 717.
13. Silskogospodarski mashini 2005: Osnovi teorii ta rozrahunku. / Za red. Voytuka D.G. – Kiev. «Vishya osvita». – 418.

14. Differencialnie uravneniya 1979.: Prilogenie k resheniu nekotoryh interesnih zadach. Ch 2.– Kiev.– 117.
15. Fahtengolc G.M. 1970: Kurs differencialnogo I integralnogo ischisleniya Tom 1. Izd. “Nauka”. – M.: – 586.
16. Cherkosov G.N. 2005: Nadegnost apparatno-programnih kompleksov. S.Peterburg – 478.
17. Nadegnost 1986: Nadegnost I effektivnost v tehnike. M.: Mashinostroenie. Spr. Tom 1 – 223.
18. Skovorodin V.Y, Tishkin I.V. 1985: Spravochnaya kniga po nadegnosti tehniceskikh sredstv.– Leningrad: – 201.
19. Alexander Brovarets 2013: Ustroystvo dlya monitoringa parametrov selskohozyaystvennogo polya. MOTROL. Vob.15 №3 – 131–141.
20. Alexander Bistriy, Ivan Rogovskiy 2013: Opredelenieracionalnogo kolichestva tehniceskogo kontrolya mehanizmov zernouborochnogo kombayna. MOTROL. Vob.15 №3 – 313–321.

**INFLUENCE OF AGROBIOLOGICAL
PROPERTIES OF PANARY ON THE
PRODUCTIVITY OF COMBINE
HARVESTERS**

Summary. The calculated border of change of the numerical importance's factor influences straw, moisture, weed bread glade change to reception capacity threshers device and capacity of the combine.

Key words: straw, humidity, combine harvester, panary the masses.

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ КОМБАЙНОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Вадим Яременко, Анастасия Куценко, Олег Черныш, Мария Бондар
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Vadym Yaremenko, Anastasiya Kutsenko, Oleg Chernysh, Mariya Bondar
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Проанализировано функционирование гидравлических приводов на динамических переходных режимах, обусловленных изменением технологических режимов системы управления гидроагрегатов. Сформировано направление диагностирования гидроприводов по характеристикам изменения давления рабочей жидкости в полостях гидроагрегатов в случае остановки или изменения направления движения подвижных частей и скорости потока рабочей жидкости.

Ключевые слова: диагностирование, переходные процессы, комбайны, гидропривод.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Поддержание надлежащей технической готовности сельскохозяйственной техники в процессе исполнения сельскохозяйственных работ обуславливает повышение качества продукции и уменьшению затрат. Одним из аспектов повышения технической готовности техники есть своевременное предупреждение и устранение неисправностей [1,12,13]. Современные тракторы и комбайны как отечественного так и зарубежного производства имеют достаточно высокий уровень гидрофикации механизмов, нуждающихся в соответствующем уровне технического обслуживания. Несмотря на достаточно широкое использование бортовых электронных средств [2,18,19,21,], техническому диагностированию гидравлических приводов уделяется мало внимания, хотя почти 25% неисправностей, из общего числа по тракторах и комбайнах, приходится на гидроприводы. Перспективы развития технического диагностирования техники на основе бортовых электронных средств описывается в тру-

де [3, 11, 21], особое внимание к потребности выполнения значительных исследований в направлении создания новых, адаптированных к этим средствам, диагностических параметров и способам их измерения. Основательный анализ перспективных методов диагностирования гидравлических приводов авиационной и ракетной техники на базе бортовых автоматизированных средств приведено в труде [4,21], в котором акцентируется особое внимание в возможности применения этих средств для других видов техники. Возможность диагностирования коробки передач трактора не переходных режимах рассмотрено в труде [5], используя в качестве диагностических параметров время переходного процесса (по параметрам изменения давления рабочей жидкости в полостях гидроагрегатов) от начала выключения одной гидромурфты до окончания включения другой и времени перекрытия передач.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Обосновать диагностические параметры определения технического состояния гидравлического привода на переходных режимах их функционирования, которые обеспечивают наименьшие значения трудоемкости диагностирования и есть основой для создания электронных диагностических средств.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для гидравлических приводов комбайнов характерным является их функционирование на нестабильных динамических переходных режимах, которые сопровождаются изменением скорости и направления движения подвижных частей механизмов и потока

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ КОМБАЙНОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

рабочей жидкости, вследствие чего изменяется давление рабочей жидкости. Большинство гидравлических приводов можно представить за схемой представленной на рис. 1.

В случае быстрой остановки движимых частей гидрофицированных механизмов и потока рабочей жидкости, кинетическая энергия перемещения движимых частей и рабочей жидкости трансформируется в потенциальную энергию пружинной деформации рабочей жидкости и деталей гидропривода, что приводит к резкому увеличению давления рабочей жидкости (гидравлический удар) [6, 8, 9, 10, 11]:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{dP}{dx} &= \rho \left(\frac{dv}{dt} + 2av \right), \\ -\frac{dP}{dt} &= c^2 \cdot \rho \frac{d\omega}{dx} = K \frac{d\omega}{dx}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Прирост давления рабочей жидкости в гидравлическом приводе на динамических переходных режимах определяется за формулой полученной в результате решения системы уравнений (1) [7, 8]:

$$\Delta P = 2 \cdot a \cdot \rho \cdot l \cdot \omega_0 + \frac{4}{\pi} \cdot c \cdot \omega_0 \cdot e^{-at} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\sin(\xi_s - 2\theta_s)}{(2S-1)\cos\theta_s}, \quad (2)$$

где: ΔP – прирост давления рабочей жидкости, МПа; l – длина трубопроводов и гидроцилиндров в линии подачи рабочей жидкости, м; ω_0 – скорость перетекания рабочей жидкости в полости гидроцилиндра к моменту остановки поршня, м/с; θ_s, ξ_s – коэффициенты в зависимости от рабочей жидкости и трубопроводов.

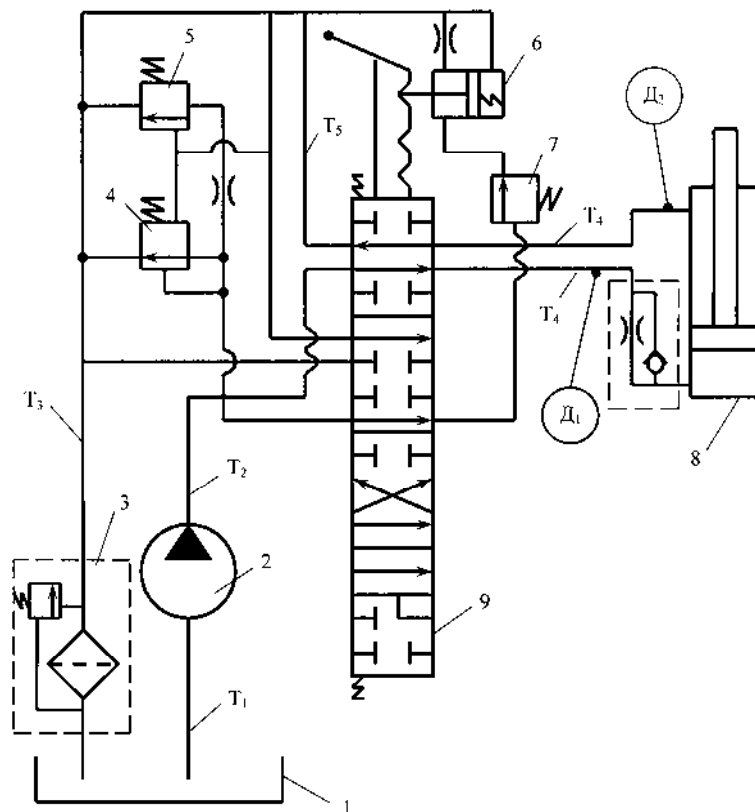


Рис. 1. Принципиальная схема гидропривода и места присоединения датчиков фиксации диагностических сигналов на переходных режимах функционирования:

1 – бак; 2 – насос; 3 – фильтр; 4 – перепускной клапан распределителя; 5 – предохранительный клапан распределителя; 6 – приспособление фиксации золотника в рабочих положениях; 7 – бустерный клапан; 8 – гидроцилиндр; 9 – золотник распределителя; D_1 – датчик давления на входе в гидроцилиндр; D_2 – датчик давления на выходе из гидроцилиндра

Fig. 1. Schematic diagramme of a hydrodrive and a place of association of transmitters of fixing of diagnostic signals on functioning transient regimes

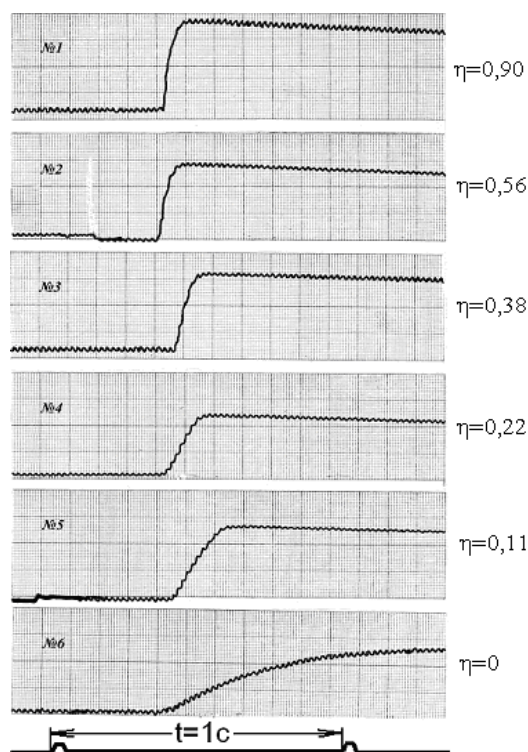


Рис. 2. Осциллограммы характеристик изменения давления рабочей жидкости в безштоковой полости гидроцилиндра рулевого управления комбайна в случае изменения общего объёмно-го коэффициента полезного действия

Fig. 2. Oscillograms of performances of a modification of pressure of the worker liquids in concavities of the hydrocylinder of a steering of a combine in case of a modification of the general volume efficiency

Нами предложено использование в качестве диагностических использовать характеристики изменения давления рабочей жидкости на переходных режимах функционирования гидроприводов согласно полученных осциллограмм, представленных на рис. 2 и на которых изображены перепады давления (ΔP).

Оценку технического состояния гидропривода в целом, и его работоспособность можно давать на основе измерения и анализа параметров характеристик изменения давления рабочей жидкости в гидроприводах на переходных режимах их функционирования. Проверка результатов осциллографирования динамического процесса на переходных режимах свидетельствует, что достоверность технических параметров характеристик изменения давления рабочей жидкости, составляет не меньше 95 %. При этом трудоёмкость экспресс-диагностирования, в случае использования встроенных или переносных электронных диагностических средств, за данными диагностическими параметрами

составляет на больше 0,06 человеко-часов, что в 3–4 раза меньше, чем диагностирование механическими средствами.

ВЫВОДЫ

1. Параметры характеристик изменения давления рабочей жидкости в гидроагрегатах на переходных режимах функционирования гидроприводов целесообразно использовать в качестве диагностических, так как правдивость параметров на их основе не меньше 95 %.

2. Способ диагностирования на динамических переходных режимах функционирования гидроприводов является основой для разработки и применения встроенных и переносных электронных средств для ведения безразборного диагностирования, что обеспечит уменьшение в 2-3 раза трудоёмкости и стоимости работ при правдивости диагноза не меньше 85 % и допустимой погрешности измерения не больше ± 4 %.

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
ПРИВОДОВ КОМБАЙНОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ
ПРОЦЕССОВ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

ЛИТЕРАТУРА

1. Mikhlin V.M. 1984: Upravleniye nadezhnostyu selskokhozyaystvennoy tekhniki. – M.: Kolos.– 335.
2. Ivanishin V., Koval S., Kovpak A. 2006: Bortovyye elektronnyye ustroystva dlya traktorov // Tekhnika APK.–№ 8.– 6–8.
3. Shipilovskiy T.B., Arkhipov V.S. 2004: Perspektivy razvitiya diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniy traktorov na osnove bortovykh elektronnykh sredstv // Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny.– №7.– 3–7.
4. Tekhnicheskaya 1989: Tekhnicheskaya diagnostika gidravlicheskiykh privodov T.V. Alekseyeva, V.D. Babanskaya, T.M. Basha i dr.; Pod obshch. red. T.M. Bashty.– M.: Mashinostroyeniye. – 264.
5. Lebedev A.T. 1982: Gidropnevmaticheskiye privody traktornykh agregatov. – M.: Mashinostroyeniye. – 184.
6. Zhukovskiy N.E. 1949: O gidravlicheskom udare v vodoprovodnykh trubakh. M.: Gostekhizdat. – 103.
7. Charnyy I.A. 1951: Neustanovivsheyeya dvizheniye realnoy zhidkosti v trubakh. L.: Gostekhizdat. – 223.
8. Yaremenko V.M., Yaremenko V.V., Odintsov Yu.V. 2009: Diagnostuvannya gidroprivodiv na perekhidnykh rezhimakh ikh funktsionuvannya. Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva: Mizhvi-domchiy tematchniy naukoviy zbirnik. – Glevakha: NNTs “IMESG”, Vip. 93. – 408–417.
9. Razrabotka 1998: Razrabotka novykh metodov obnaruzheniya neispravnostey i diagnostirovaniye gidrosistem., Jian Wanlu, Wang Jiguu, Kong Xiangdong, Li Jintong // Zhongguo jixie gongching. – China Mech. Eng. – № 9. – 58–60.
10. Vybory 1993: Vybory diagnosticheskikh pokazateley gidroprivoda na baze issledovaniya gidrosistemy kombayna. Metoda diagnozovania niekatorykh elementov uktadu hudraulicznoho. Michalski Ruszard, Pietkun Zbigniew // Zesz. nauk. Rol. / AR Szczecinil. – № 56. – 283–287.
11. John 1997: John Deere Harvester Works. TM 2702. Testirovaniye i diagnostika kombaynov 9400, 9500, 9600. Tekhnicheskoye rukovodstvo. Napechatano v SShA, yazyk russkiy. – 2219.
12. Yaremenko V.V. 2007: Obgruntuvannya diagnostichnykh parametriv osnovnoho gidravlichnoho privodu zernozbiralnykh kombayniv / Yaremenko V.V. // Mizhvid. temat. nauk. zb. Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva. – Glevakha, vip. 91. – 319–331.
13. Bulgakov V.M. 2003: Diagnostuvannya gidravlichnykh privodiv – vazhliivy napryamok v pidvishchenni tekhnichnoï gotovnosti kombayniv ta skorochenni zatrat na tekhservis / Bulgakov V.M., Yaremenko V.M., Yaremenko V.V. // Sbornik nauchnykh trudov Kerchenskogo morskogo tekhnologicheskogo instituta, “Mekhanizatsiya proizvodstvennykh protsessov rybnogo khozyaystva, promyshlennykh i agrarnykh predpriyatiy”. – Vyp. 5. – Kerch, – 147–156.
14. Nikolenko I. 2003: Raschet gidravlicheskoj razgruzki bloka tsilindrov gidromashiny. IV Mizhnarodna naukovu-tekhnichna konferentsiya MOTROL. – T.6. – 281–291
15. Butakov B. 2007: Puti povysheniya nadezhnosti detaley mashin. Motorization and power industry in agricultural. MOTROL. – V.9A. – 38–47.
16. Yaremenko V.V. 2005: Obruntuvannya diagnostichnykh parametriv gidravlichnykh privodiv khodovoi sistemi kombayniv / Yaremenko V.V. // Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu. – Vip. 80, chastina 2. – Kiev. – 351–358.
17. Rozroblennya SOU. 2006: Tekhnichna diagnostika. Kombayni zernozbiralni. Parametri ta yakisni oznaki tekhnichnoho stanu: Zvit pro NDR (zaklyuchniy) / Natsionalniy naukoviy tsentr “Institut mekhanizatsii ta yelektrifikatsii silskogo gospodarstva” (NNTs “IMESG”); № DR 0106U007225; Inv. № 0206U0006566. – Glevakha, – 14.
18. Dosliditi 2005: Dosliditi robochi protsesi dizeliv i gidroprivodiv novykh modeley mashin, obruntuvati metodi ta rozrobiti tekhnichni zasobi dlya tekhnichnoho obslu-govuvannya i diagnostuvannya: Zvit pro NDR (zaklyuchniy) / Natsionalniy naukoviy tsentr “Institut mekhanizatsii ta yelektrifikatsii silskogo gospodarstva” (NNTs “IMESG”); № DR 0102U000234; Inv. № 0206U000978. – Glevakha: Tom 3 “Dosliditi robochi protsesi gidravlichnykh privodiv rulovogo keruvannya i

khodovoї sistemi zernozbiralnikh kombayniv novikh marok ta rozrobiti tekhnologichnu dokumentatsiyu, zasobi kontrolyu ta diagnostuvannya gidroagregativ”, Tom 4 “Dosliditi robochi protsesi osnovnikh gidravlichnikh privodiv zernozbiralnikh kombayniv novikh marok ta rozrobiti zasobi i tekhnologii diagnostuvannya gidroagregativ” – 27.

19. Dimitrov V.P. 2000: Postroyeniye ekspertnoy sistemy dlya diagnostirovaniya zernoubo-rochnykh kombaynov / [Dimitrov V.P., Ilchenko V.D., Smirnov B.N. i dr.] // Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. –№ 3. – 6–8.

20. Bobchuk M. 2004: Naukovo-metodichni printsipi zabezpechennya nadiynosti vitchiznyanikh zernozbiralnikh kombayniv / [Bobchuk M., Koval S., Pogoriliy V., ta inshi] // Tekhnika APK. –, № 4–5. – 8–10.

21. Voskoboynik M.G. 1983: Ob ispolzovanii parametrov temperaturnogo polya dlya diagnostirovaniya nasosov samoletnykh gidrosistem / Voskoboynik M.G., Zagrebelniy V.I., Milov M.F. // Sovershenstvovaniye metodov tekhnicheskoy ekspluatatsii letatelnykh apparatov. – Riga: RKIIGA. – 47–50.

CREATION OF ELECTRONIC DIAGNOSTIC MEANS OF HYDRAULIC DRIVES OF COMBINES ON THE BASIS OF DYNAMIC TRANSIENTS OF THEIR FUNCTIONING

Summary. Dynamic characteristics of hydraulic drives are analysed in case of performance of the dynamic technological operations caused by change of technological modes of a control system of hydrounits. The direction of diagnosing of hydrodrives under characteristics of change of pressure of a working liquid in emptiness of hydrounits is generated in case of a stop or change of a direction of movement of mobile parts and speed of a stream of a working liquid, as consequence (investigation) of transition of kinetic energy of movement of parts of mechanisms and a stream of a working liquid in potential energy of spring deformation of details.

Key words: diagnosing, transients, combines, hydrodrive.

О ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ В ПЕРИОДИЧЕСКИХ ОДНОМЕРНЫХ ВОЛНОВОДАХ

Анастасия Куценко, Вадим Яременко, Олег Черныш, Мария Бондар
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Anastasiya Kutsenko, Vadym Yaremenko, Oleg Chernysh, Mariya Bondar
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Рассмотрено распространение волн изгиба в одномерных механических системах, которые закреплены шарнирно периодическим образом. В первом случае находятся периодические решения задачи о колебании бесконечной периодической шарнирно закрепленной балки, нагруженной в среднем сечении периода сосредоточенной силой, которая изменяется по гармоническому закону во времени. Затем исследования распространены на случай, когда аналогичная балка нагружена в произвольном пролете силой, с постоянной амплитудой. Для каждой задачи были получены решения, которые носят квазипериодический характер, что подтверждает правомочность использования теории Флоке для одномерных периодических структур.

Ключевые слова: периодическая структура, балка, волна, мультипликатор, „окна прозрачности”, теория Флоке.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для реализации многих механических устройств иногда необходимо уметь передать энергию вдоль упругой периодической структуры с помощью волн определенной частоты. Достаточно часто возникает и обратная проблема – обеспечить быстрое уменьшение в определенном пространственном направлении амплитуды колебаний, возмущенных внешней нагрузкой. Так, например, подобные задачи возникают при разработке частотных фильтров, методов виброзащиты элементов конструкций сельскохозяйственной техники и т.д. [1].

Изучение явления распространения волн в периодических структурах неразрывно связано с развитием механики твердого деформируемого тела. Впервые дискретную пе-

риодическую механическую систему, которая состояла из точечных масс, расположенных вдоль прямой линии и соединенных упругими элементами рассмотрел еще Ньютон при вычислении скорости звука [Бриллюэн Л., Пароди М., 1959]. В дальнейшем одномерная цепь Ньютона стала ключевым объектом исследований в теории колебаний и волн на протяжении двух столетий.

Бернулли было установлено несколько важных свойств колебаний конечной цепи. Он показал, предложив тем самым принцип суперпозиции, что в такой системе произвольное колебание может быть представлено в виде суммы независимых колебаний числом, равным числу масс в цепи. Это дало возможность Лагранжу, используя результаты Эйлера, полученными им для однородной струны, построить мост между дискретным и непрерывным, фактически, положив начало спектральному анализу.

В 1830 году Коши, пытаясь объяснить явление дисперсии света, исследовал волновые свойства цепи Ньютона и установил, что для волн значительно длиннее от периода цепи скорость практически не зависит от длины волны. Для коротких же волн скорость существенно зависит от данного параметра.

В дальнейшем в работах [3 – 11] впервые предложено для исследования распространения волн в периодических структурах использовать теорему Флоке, которая показывает, в каком виде нужно искать волновое поле, и положена в основу всех современных методов расчета колебаний периодических структур [12 – 16]. Смысл ее состоит в том, что колебания двух соседних периодов отличаются на постоянную величину S , которую называют мультипликатором. Это утверждение есть следствием трансляционной сим-

метрии периодических структур, которая состоит в неизменности структуры при сдвиге ее на расстояние, кратное размеру одной ячейки периодичности. Мультипликатор полностью характеризует процесс прохождения волны вдоль периодической структуры. Если $S \equiv 1$, тогда волна проходит без никаких искажений. В общем случае S есть комплексным числом, которое можно представить в виде: $S = |S|e^{i\arg(S)}$.

Модуль мультипликатора равен амплитуде волны, а аргумент – сдвигу фазы волны, который возникает при прохождении последующего периода системы. Исходя из физических соображений, логично припустить, что $|S| \leq 1$. Случай, когда $|S| > 1$ соответствует волне, которая распространяется в противоположном направлении. Когда $|S| = 1$, амплитуда волны не изменяется во время ее распространения вдоль системы, в противном случае она будет уменьшаться по экспоненциальному закону. Для получения полной информации о волновых свойствах периодической системы необходимо знать все частотные промежутки, для которых $|S| = 1$ и которые называются „окнами прозрачности”.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В данной работе делается попытка на примере бесконечной периодической шарнирно закрепленной балки показать, что независимо от вида внешней нагрузки, на большей части ее устанавливаются колебания, которые соответствуют однородной квазипериодической волны, исключение составляют пролеты, к которым непосредственно приложена внешняя нагрузка.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассматривается бесконечная периодически шарнирно закрепленная однородная балка, к среднему сечению произвольного пролета которой приложена сосредоточенная сила, которая изменяется во времени по гармоническому закону $P e^{-i\omega t}$. Для математической постановки задачи используем метод суперпозиции и функцию влияния:

$$w^*(x) = \frac{1}{4p^3 EJ} \left(e^{-p|x|} - i e^{ip|x|} \right), \quad (1)$$

которая соответствует волне, возбужденной единичной сосредоточенной перерезающей силой, приложенной в сечении $x = 0$. Учитывая, что внешняя сила вызывает в шарнирах реакции с неизвестными амплитудами P_n , $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, амплитудная функция прогиба балки может быть представлена в следующем виде:

$$w(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{P_n}{4p^3 EJ} \left(e^{-p|x-(n+1/2)a|} - i e^{ip|x-(n+1/2)a|} \right) + \frac{1}{4p^3 EJ} \left(e^{-p|x|} - i e^{ip|x|} \right). \quad (2)$$

Будем считать, что ближайшие к точке приложения нагрузки опоры имеют индексы -1 и 0 . За начало отсчета оси x выбрано точку приложения сосредоточенной силы, то есть середину соответственного пролета.

Для того, что бы выражение (2) однозначно задавало поле прогибов в балке, необходимо найти амплитуды реакций P_n . Последние определяются из условий отсутствия прогибов в шарнирах, которые на основании (2) можно записать в виде бесконечной системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ):

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} P_k \left(e^{-(n-k)pa} - i e^{i(n-k)pa} \right) = P \left(e^{-(n+1/2)pa} - i e^{i(n+1/2)pa} \right), \quad n \in Z. \quad (3)$$

Система (3) относится к разностным, к таким, индексы k и n в коэффициенты которой входят только в виде разницы $n - k$. Для нахождения решения таких систем используют преобразование Лорана [19, 20]. Но если параметр p , который пропорциональный квадратному корню с круговой частоты волны, считать действительной величиной, то при таких условиях коэффициенты системы (3) не станут ничтожно малыми при росте их индекса, а потому правомерность использования преобразования Лорана вызывает определенные сомнения.

Для решения этой проблемы будем считать p комплексным числом с малой положительной мнимой частью. Физически ненулевая мнимая часть параметра p соответствует учету сил внутреннего сопротивления, которые действуют в балке. При этом СЛАУ (3) стремятся к нулю в геомет-

рической прогрессии с ростом их индекса, что позволяет применить к ней преобразование Лорана. После проведения всех преобразований соответственные результаты для балки без внутренних потерь получаем граничным переходом, направляя мнимую часть p к нулю.

Представим (3) в следующем виде:

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{n-k} P_k = c_n, \quad (4)$$

где:

$$\begin{aligned} a_n &= e^{-(n)pa} - ie^{i(n)pa}, \\ c_n &= P(i e^{i(n+1/2)pa} - e^{-(n+1/2)pa}). \end{aligned} \quad (5)$$

Ряд, который стоит в левой части (4), называется сверткой последовательностей a_n и P_n . Применяя к (4) преобразование Лорана:

$$\begin{aligned} A(t) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k t^k, \quad C(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k t^k, \\ P(t) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} P_k t^k, \end{aligned} \quad (6)$$

или умножая уравнения на t^n , складывая их, и используя свойство: преобразование Лорана от свертки двух последовательностей равно произведению их образов, в пространстве получаем функциональные уравнения на единичном круге комплексной плоскости t :

$$A(t)P(t) = C(t), \quad |t|=1. \quad (7)$$

Проведя несложные преобразования, в основу которых положена формула для суммы членов геометрической прогрессии, для коэффициента правой части уравнения (7) найдем явные выражения:

$$\begin{aligned} A(t) &= \frac{2t \sin(pa)}{1-2t \cos(pa)+t^2} - \frac{2tsh(pa)}{1-2tch(pa)+t^2} \\ C(t) &= -2P \left[\frac{(1+t)\sin(pa/2)}{1-2t \cos(pa)+t^2} - \frac{(1+t)sh(pa/2)}{1-2tch(pa)+t^2} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, решение (3) получаем как обратное преобразование Лорана от функции $P(t)$:

$$P_n = \frac{1}{2} \int_{|t|=1} \frac{P(t)}{t^{n+1}} dt = \frac{1}{2\pi} \int_{|t|=1} \frac{C(t)}{A(t)t^{n+1}} dt, \quad n \in Z. \quad (9)$$

Положив $t = \exp(i\varphi)$ и подставив (8) у (9), после очевидных преобразований, получим:

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (\cos n\varphi + \cos(n+1)\varphi) \times \\ &\times \frac{(\cos\varphi - \cos(pa))sh(pa/2) - (\cos\varphi - ch(pa))\sin(pa/2)}{(\cos\varphi - ch(pa))\sin(pa) - (\cos\varphi - \cos(pa))sh(pa)} d\varphi \end{aligned} \quad (10)$$

или

$$P_n = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (\cos n\varphi + \cos(n+1)\varphi) \frac{\tilde{c} + \tilde{d} \cos\varphi}{\tilde{b} - \cos\varphi} d\varphi, \quad (11)$$

где:

$$\begin{aligned} \tilde{b} &= \frac{sh(pa)\cos(pa) - ch(pa)\sin(pa)}{sh(pa) - \sin(pa)}, \\ \tilde{c} &= -\frac{sh(pa/2)\cos(pa) - ch(pa)\sin(pa/2)}{sh(pa) - \sin(pa)}, \\ \tilde{d} &= \frac{sh(pa/2) - \sin(pa/2)}{sh(pa) - \sin(pa)} \end{aligned} \quad (12).$$

Только из самого вида интеграла (11) можно сделать вывод, что: $P_{-(n+1)} = P_n$, поэтому достаточно найти P_n для $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Таким образом, нахождение решения бесконечной СЛАУ (3) свелось к вычислению интеграла (11). Это несложно сделать, если ввести в рассмотрение параметр S , который есть меньшим по модулю корнем уравнения вида:

$$S^2 - 2\tilde{b}S + 1 = 0, \quad (13)$$

и воспользоваться значениями интегралов [17, 20]:

$$\begin{aligned} \int_0^\pi \frac{\cos n\varphi}{S^2 - 2S \cos\varphi + 1} dx &= \frac{\pi S^n}{1 - S^2}, \\ \int_0^\pi \frac{\cos n\varphi \cos\varphi}{S^2 - 2S \cos\varphi + 1} dx &= \frac{\pi}{2} S^{n-1} \frac{1 + S^2}{1 - S^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

В выражениях интегралов (14) существенным есть то, что S меньший по модулю корень уравнения (13). Для большего по модулю корня данные выражения модифицируются путем замены S на обратную величину.

Подставив выражения интегралов (14) в (11), остаточнo находим:

$$\begin{aligned} P_0 &= P \frac{S}{1-S} [(1+S)\tilde{d} + 2\tilde{c}], \\ P_n &= P \frac{S^n}{1-S} [(1+S^2)\tilde{d} + 2S\tilde{c}], \quad n = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (15)$$

На основе несложных, но громоздких алгебраических преобразований можно показать, что (15) совпадают с ранее установленными выражениями для амплитуд реакций в шарнирах в работе [21]:

$$\begin{aligned} P_0 &= -M_0 p \left[\frac{\cos(pa) - S}{2\sin(pa)} + \frac{ch(pa) - S}{2sh(pa)} + \right. \\ &+ \left. \frac{\alpha \cos \frac{pa}{2} + \alpha ch \frac{pa}{2} + \sin \frac{pa}{2} + sh \frac{pa}{2}}{ch \frac{pa}{2} - \cos \frac{pa}{2}} \right], \\ P_n &= 2M_0 p S^n \frac{\cos(pa) - ch(pa)}{sh(pa) - \sin(pa)}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

где:

$$M_0 = \frac{P}{2p} \frac{ch \frac{pa}{2} - \cos \frac{pa}{2}}{2\alpha ch \frac{pa}{2} \cos \frac{pa}{2} + ch \frac{pa}{2} \sin \frac{pa}{2} + sh \frac{pa}{2} + \cos \frac{pa}{2}},$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left[\frac{S - \cos(pa)}{\sin(pa)} + \frac{ch(pa) - S}{sh(pa)} \right].$$

Таким образом, получили решение в виде квазипериодической волны без использования теории Флоке. Использованный метод плотно связан с теорией граничных задач функций комплексной переменной [18]. Учитывая хорошо обоснованные результаты этой теории, можно утверждать, что (15) есть единственным ограниченным решением бесконечной СЛАУ (3). С последнего следует, что поле прогибов, полученное на основании теории Флоке в работе [21], есть единственным ограниченным на бесконечности решением поставленной задачи.

Был рассмотрен интересный, но частный случай внешней нагрузки, наделенный конкретными свойствами симметрии по отношению к самой балке. Может возникнуть допущение, что квазипериодичность соответственного решения благодаря именно этому обстоятельству. Для того, чтобы развеять подобные сомнения, рассмотрим бесконечную периодически шарнирно закрепленную балку, нагруженную сосредоточенной силой амплитудой P в произвольном сечении пролета $\xi \in [-a/2, a/2]$, середина которого совпадает с началом отсчета оси x .

Проведя аналогичные к предыдущим выкладки, найдем соответственные реакции опор:

$$P_n = \frac{2PS1}{\pi} \int_0^\pi \left\{ \cos n\varphi \frac{\tilde{c}^+ + \tilde{d}^+ \cos \varphi}{1 - 2S \cos \varphi + S^2} + \cos(n+1)\varphi \frac{\tilde{c}^- + \tilde{d}^- \cos \varphi}{1 - 2S \cos \varphi + S^2} \right\} d\varphi, \quad (16)$$

где введены обозначения:

$$\tilde{c}^\pm = -\frac{sh(pa/2 \pm \xi) \cos(pa) - ch(pa) \sin(pa/2 \pm \xi)}{sh(pa) - \sin(pa)},$$

$$\tilde{d}^\pm = \frac{sh(pa/2 \pm \xi) - \sin(pa/2 \pm \xi)}{sh(pa) - \sin(pa)}. \quad (17)$$

После взятия интеграла (16) получаем:

$$P_n = P \frac{S^{-(n+1)}}{1-S^2} \left[(1+S^2) (\tilde{d}^- + S\tilde{d}^+) + 2S(\tilde{c}^- + S\tilde{c}^+) \right],$$

$$n < -1,$$

$$P_{-1} = P \frac{S}{1-S^2} \left[(1+S^2) \tilde{d}^+ + 2S(\tilde{d}^- + S\tilde{c}^+) + 2\tilde{c}^- \right], \quad (18)$$

$$P_0 = P \frac{S}{1-S^2} \left[(1+S^2) \tilde{d}^- + 2S(\tilde{d}^+ + S\tilde{c}^-) + 2\tilde{c}^+ \right]$$

$$P_n = P \frac{S^n}{1-S^2} \left[(1+S^2) (\tilde{d}^+ + S\tilde{d}^-) + 2S(\tilde{c}^+ + S\tilde{c}^-) \right], \quad n > 0.$$

Амплитудную функцию прогибов, которая соответствует (18), можно использовать, как функцию влияния, для получения решения задачи о балке, нагруженной произвольной распределенной нагрузкой q на пролете $[-a/2, a/2]$.

ВЫВОД

Если интервал нагрузки распространяется на нескольких пролетах, тогда для получения решения необходимо воспользоваться принципом суперпозиции, разбив нагрузку на составляющие за пролетами. Общий характер решения при этом очевидно сохранится: сразу за последним нагруженным пролетом поле прогибов можно будет представить в виде квазипериодической волны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Golovach I., Bulgakov V., Finko S. 2003: Yeksperimentalni doslidzhennya yenergetichnikh pokaznikov vibratsiyogo vikopuyuchogo robochogo organu // IV International Research and Technical Conference, MOTROL – Vol. 6. – 32 – 40.
2. Brillouin L., Parodi M. 1959: Rasprostraneniye voln v periodicheskikh strukturakh: Per. s angl. – M. – 457.
3. Alam N., Asani N.T. 1984: Vibration and damping analysis of multilayered rectangular plate with constrained viscoelastic layers // J. Sound and Vibr. – Vol. 97, N4. – 597 – 614.
4. Doyle J.F. 1997: Wave propagation in structures // Springer-Verlag.
5. Langley R.S. 1994: On the modal density and energy flow characteristics of periodic structures // J. Sound and Vibr. – Vol. 172, N4. – 491 – 511.
6. Lin Y.K. 1976: Random vibration of periodic and almost periodic structures // J. in Mechanics Today. – Vol. 3. – 93 – 124.
7. Lust S.D., Friedmann P.P., Bendiksen O.O. 1985: Free and forced response of multispan

beams and multibay trusses with localized modes // *J. Sound and Vibr.* – Vol. 180. – 313 – 332.

8. Mead D.J. 1996: Wave propagation in continuous periodic structures: research contributions from Southampton, 1964–1995// *J. Sound and Vibr.* – Vol. 190, N3. – 495 – 524.

9. Miles J.W. 1956: Vibrations of beams on many supports // *Pros. Am. Soc. Civil Eng.* – Vol. 82, N1. – 1 – 9.

10. Ouyang H.J., Williams F.W., Kennedy D. 1994: A general method for analyzing wave propagation along longitudinally periodic structures // *J. Sound and Vibr.* – Vol. 177, N2. – 277–281.

11. Zhu D.C. 1993: The mutual variational principle of free wave propagation in periodic structures // *Acta Mechanica Sinica.* – Vol. 9, N2. – 149 – 155.

12. Banerjee J.R., Su H. 2004: Development of a dynamic stiffness matrix for free vibration analysis of spinning beams // *Computers and Structures.* – Vol. 82. – 2189 – 2197.

13. Duhamel D., Mace B.R., Brennan M.J. 2006: Finite element analysis of the vibration of waveguides and periodic structures // *J. Sound and Vibr.* – Vol. 294, N5. – 205 – 220.

14. Lee J., Thompson D.J. 2001: Dynamic stiffness formulation, free vibration and wave motion of helical springs // *J. Sound and Vibr.* – Vol. 239. – 297 – 320.

15. Mencik J.M., Ichchou M.N. 2007: Wave finite elements in guided elastodynamics with internal fluid // *Inter. J. of Sol. And Structures.* – Vol. 44. – 2148 – 2167.

16. Wang D., Zhou C., Rong J. 2003: Free and forced vibration of repetitive structures // *Inter. J. of Solids and Structure.* – Vol. 40. – 5477 – 5494.

17. Brychkov Yu.A., Prudnikov A.P., Marichev O.A. 1981: *Integraly i ryady.*: V Zt. – M.: Nauka, t. 1.: Elementarnyye funktsii. – 800.

18. Gakhov F.D., Cherskiy Yu.I. 1978: *Uraveniya tipa svertki.* – M.: Nauka. – 296.

19. Gradshteyn M.S., Ryzhik I.M. 1962: *Tablitsy integralov, summ, ryadov i proizvedeniy.* – M: Fizmatgiz. – 1100.

20. Dech G. 1971: *Rukovodstvo k prakticheskomu primeneniyu preobrazovaniya Laplasa i Z-preobrazovaniya.* – M.: Nauka. – 288.

21. Kutsenko A.G. 1997: *Poshirennyya khvil v balkakh, zakriplenikh periodichnim chinom* //

Visnik Kievskogo universitetu. Ser. fiz.-mat. nauk., N3. – 69 – 76.

ABOUT FORCED VIBRATION OF PERIODICALLY ONE-DIMENSIONAL WAVE GUIDE

Summary. In the present paper wave propagation through under one-dimensional engineering systems which simple periodically supported is investigated. As examples, two problems of simple periodically supported beams with various forced conditions is considered. For every type of forced conditions quasi-periodic solutions has been obtained, what made it possible to use Floquet's principle of corresponding problems.

Key words: periodic structure, beam, wave, pass-band, Floquet's principle.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В ВИБРАЦИОННЫХ ПРИВОДАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Олег Черныш, Вадим Яременко, Анастасия Куценко, Мария Бондар
 Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
 Украина, г. Киев, ул. Героев Оборонь, 15

Oleg Chernysh, Vadym Yaremenko, Anastasiya Kutsenko, Mariya Bondar
 National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
 Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Рассмотрена теоретическая модель для исследования и описания движения вынужденных гармонических колебаний упругих механических систем в условиях вязкой среды. Модель основана на методе приложения вынужденной силы не к колеблющейся массе, а к свободному концу упругого элемента колебательной системы.

Ключевые слова: вынужденные колебания, колеблющаяся масса, упругие механические системы, вибрационные процессы.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Кинематические и динамические параметры колебательных процессов в сельскохозяйственном производстве существенно влияют на долговечность, качество, надежность механического оборудования, а прогнозирование и расчеты заданных вибрационных режимов является основой для создания высокоэффективных машин вибрационного действия. Исследование и моделирование вибраций и колебаний необходимо как при эксплуатации сельскохозяйственных машин, так и на стадии их проектирования.

Вибрационным и колебательным процессам, их моделированию, практическому применению на сегодня посвящено много научных исследований и публикаций [1, 2, 7, 13–16, 20]. Проблемам создания теории вибрационных процессов в сельскохозяйственном производстве посвящены работы [4, 8, 9, 18, 19, 21]. Основоположные подходы относительно особенностей создания общих математических моделей процессов, методов расчетов и оценки их параметров рассмотрены в работах [13, 15, 16, 17, 18]. Анализ сложных колебаний проводится в работах [1, 4, 11]. При этом использование современных численных методов базируется на примене-

нии математических пакетов компьютерной обработки данных [15, 17].

Но проблема выбора теоретических и практических моделей, методики исследований и расчетов параметров колебательных систем при решении технических и научных задач разработки современной сельскохозяйственной техники и оборудования остается актуальной. Решение этих вопросов согласуется с основными задачами развития современных механизмов и машин для агропромышленного комплекса [3, 5, 10].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Смоделировать вынужденные колебательные движения в вибрационных приводах сельскохозяйственной техники

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из обычных способов поддержки незатухающих колебаний есть непрерывное воздействие на колеблющуюся массу механической системы возмущающей периодической силы $\bar{F}(t)$, которая по величине может произвольно меняться в пределах периода T :

$$F(t) = F(t + T). \quad (1)$$

Если такую возмущающую силу $\bar{F}(t)$ приложить к колеблющейся массе m упругой механической системы, которая находится в среде с вязким сопротивлением $F_{mp} = -\mu \dot{u}$, то дифференциальное уравнение движения в проекции на направление это движения будет:

$$m\ddot{u} = -\mu\dot{u} - cu + F(t), \quad (2)$$

Исследования показывают, что в случае, когда возмущающая сила начинает действо-

вать внезапно (в момент времени $t = 0$), то система начнет колебаться постепенно и спустя некоторое время ее движение станет устойчивым. По порядку величины время установки этих вынужденных колебаний будет совпадать со временем их затухания:

$$\tau = \frac{1}{\delta} = \frac{2m}{\mu}. \quad (3)$$

Понятно, что параметры таких колебаний будут зависеть от конкретного вида приложенной к колебательной системе возмущающей силы $\bar{F}(t)$. При этом известно, что любую периодическую функцию, в том числе и периодическую функцию возмущающей силы $F(t)$, можно представить в виде ряда Фурье:

$$F(t) = \sum_{n=0}^{\infty} F_{0n} \sin\left(\frac{2\pi}{T}nt + \psi_n\right). \quad (4)$$

Физическое смысл такого разложения состоит в том, что периодическое влияние возмущающей силы $F(t)$ эквивалентно одновременному влиянию постоянной силы F_{00} и набора гармонических сил с соответствующими амплитудами F_{0n} , начальными фазами ψ_n и круговыми частотами

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T}n = \omega n, \text{ которые кратны наиболее}$$

низкой (основной) частоте $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

Для того чтобы получить полную картину вынужденных колебаний под действием силы (4), обратим внимание на линейность уравнения (2). Это позволяет представить его решение $u(t)$, как сумму гармонических колебаний:

$$u(t) = \sum_{n=0}^{\infty} u_{0n} \sin\left(\frac{2\pi}{T}nt + \varphi_n\right), \quad (5)$$

которые происходят с постоянными амплитудами u_{0n} и фазами φ_n на частотах ω_n , соответствующих гармоникам возмущающей силы (4)

Каждое слагаемое в (5) может рассматриваться как вынужденное гармоническое колебание, которое происходит под действием

внешней гармонической силы с амплитудой

$$F_{0n} \text{ и частотой } \omega_n = \frac{2\pi}{T}n.$$

С технической точки зрения к таким колебательным системам приложить гармоническую возмущающую силу непосредственно к самой подвижной массе сложно.

Но такие вынужденные колебания можно поддерживать другим способом, не прикладывая внешнюю силу $F(t)$ непосредственно к массе m .

Для этого можно применить упругую механическую модель, в которой возмущающая сила $\bar{F}(t)$ прикладывается лишь к свободному концу упругого элемента так, чтобы этот конец двигался согласно гармоническому закону:

$$\xi(t) = \xi_0 \sin \omega t. \quad (6)$$

При этом удлинение упругого элемента составит величину $u - \xi$, а сила упругости, которая приложена к массе m , будет

$$F_{np} = -c(u - \xi). \quad (7)$$

После преобразования, дифференциальное уравнение колебательного движения массы m механической упругой системы запишется в виде:

$$m\ddot{u} = -\mu\dot{u} - c(u - \xi). \quad (8)$$

Если учесть, что сила упругости при отсутствии смещения в такой механической колебательной системе ($u = 0$) определяется как

$$F(t) = c\xi(t) = c\xi_0 \sin \omega t, \quad (9)$$

то дифференциальное уравнение (8) будет эквивалентным известному дифференциальному уравнению вынужденных гармонических колебаний массы m в вязкой среде:

$$m\ddot{u} = -cu - \mu\dot{u} + F_0 \sin \omega t. \quad (10)$$

При этом сила (9) исполняет роль внешней гармонической силы в упругой механической системе, возбуждаемой обычным способом.

Эта сила легко может быть определена, поскольку ее величина и направление однозначно определяется смещением свободного конца подвижного упругого элемента. Это, в свою очередь, дает возможность наглядно продемонстрировать фазовые соотношения

между силой $F(t)$ (или смещением $\xi(t)$) и смещением $u(t)$ колеблющейся массы.

Запишем уравнение (8) следующим образом:

$$\ddot{u} + 2\delta\dot{u} + \omega_0^2 u = \frac{F_0}{m} \sin \omega t, \quad (11)$$

где: $F_0 = c\xi_0$.

Решение такого уравнения можно найти в виде:

$$u(t) = u_0 \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (12)$$

где: амплитуда u_0 и фаза φ_0 легко определяется, если подставить (12) в (11).

С учетом этого проанализируем три режима таких колебаний.

В режиме низкочастотных колебаний, когда частота возмущающей силы значительно меньше частоты собственных колебаний системы ($\omega \ll \omega_0$), скорость \dot{u} и ускорение \ddot{u} колеблющейся массы будут очень малы. Поэтому первыми двумя членами в левой части уравнения (11) можно пренебречь и записать приближенно в виде:

$$\omega_0^2 u = \frac{F_0}{m} \sin \omega t, \quad (13)$$

Решение такого уравнения очевидно:

$$u(t) = \frac{F_0}{m\omega_0^2} \sin \omega t = \frac{F_0}{c} \sin \omega t. \quad (14)$$

В этом режиме смещение массы m пропорционально величине внешней возмущающей силы и не зависит от этой массы. Данное решение есть по физической сути выражением закона Гука для статической деформации упругого элемента. Поэтому данный режим колебаний квазистатический.

Амплитуда колебаний согласно этому закону будет $u_0 = \frac{F_0}{c}$, а смещение $u(t)$ изменяется в фазе с внешней силой.

Для рассматриваемой модели колебаний, это эквивалентно тому, что смещение массы m практически повторяет смещение свободного конца упругого элемента:

$$u(t) = \frac{F_0}{c} \sin \omega t = \frac{c\xi_0}{c} \sin \omega t = \xi(t). \quad (15)$$

Это понятно, потому что для движения массы m с бесконечно малым ускорением

\ddot{u} не нужно больших деформаций упругого элемента:

$$u(t) - \xi(t) \approx 0. \quad (16)$$

В режиме высокочастотных колебаний, когда частота возмущающей силы значительно превышает частоту собственных колебаний системы ($\omega \gg \omega_0$), период вы-

нужденных колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega}$ мал. Это

означает, что на массу m действует в основном лишь внешняя возмущающая сила $F(t)$, а сила упругости cu и сила вязкого трения $\mu\dot{u}$ бесконечно малы.

Исследование таких колебаний показывают, что за половину периода колебаний T , когда масса m движется в одном направлении, она не успевает набрать существенной скорости \dot{u} и соответственно существенного смещения u от положения равновесия.

Поэтому в уравнении (11) члены, которые содержат u и \dot{u} , можно отбросить и записать его приближенно в виде:

$$\ddot{u} = \frac{F_0}{m} \sin \omega t, \quad (17)$$

Интегрируя это уравнение, находим закон движения колеблющейся массы m :

$$u(t) = -\frac{F_0}{m\omega^2} \sin \omega t = \frac{F_0}{m\omega^2} \sin(\omega t - \pi). \quad (18)$$

Из полученного уравнения видно, что смещение по отношению к внешней возмущающей силе $F(t)$ запаздывает по фазе на величину π ($\varphi_0 = -\pi$), а амплитуда соответственно уменьшается с увеличением частоты.

Для рассматриваемой модели колебаний в таком режиме свободный подвижный конец упругого элемента и масса m всегда движутся в противоположных направлениях:

$$u(t) = -\frac{c\xi_0}{m\omega^2} \sin \omega t = -\frac{\omega_0^2}{\omega^2} \xi(t). \quad (19)$$

По абсолютной величине смещение массы m будет в $\frac{\omega^2}{\omega_0^2} \gg 1$ раз меньше смещения свободного конца пружины, то есть практически очень малым.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В ВИБРАЦИОННЫХ ПРИВОДАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В режиме резонансных колебаний, когда частота возмущающей силы совпадает с частотой собственных колебаний системы ($\omega \gg \omega_0$), вынужденные колебания происходят на собственной частоте системы.

Это означает, что:

$$\ddot{u} + \omega_0^2 u = 0. \quad (20)$$

Итак, уравнение (11) с учетом (20) примет вид:

$$2\delta \dot{u} = \frac{F_0}{m} \sin \omega t. \quad (21)$$

Интегрируя это уравнение, получим закон колебательного движения массы m в условиях резонанса:

$$u(t) = \frac{F_0}{2\delta m \omega_0} \sin\left(\omega_0 t - \frac{\pi}{2}\right). \quad (22)$$

Выражение (22) можно записать также как:

$$u(t) = \frac{F_0}{c} Q \sin\left(\omega_0 t - \frac{\pi}{2}\right), \quad (23)$$

где: $Q = \frac{\pi}{\delta T}$ – добротность колебательной системы.

Если добротность системы $Q \gg 1$, то амплитуда колебаний может значительно превышать амплитуду низкочастотных квазистатических колебаний (14). Этот режим соответственно будет резонансным.

Значительными здесь будут также величины скорости \dot{u} и ускорения \ddot{u} . Поскольку скорость \dot{u} , как видно из (21), изменяется в фазе с внешней силой $F(t)$, то с энергетической точки зрения это содействует процессу подачи энергии в колебательную систему.

Работа внешней силы за период колебаний будет:

$$A = \int_0^T F(t) \cdot \dot{u}(t) dt = \frac{F_0^2}{2\delta m} \int_0^T \sin^2 \omega_0 t dt = \frac{F_0^2 T}{4\delta m}, \quad (24)$$

что значительно превышает работу этой силы в предыдущих режимах.

Эта дополнительная работа необходима для компенсации потерь из-за силы вязкого сопротивления среды.

Для примененной модели в резонансном режиме, как видно из решения (23), амплитуда смещения массы m в Q раз превосхо-

дит амплитуду смещения свободного конца упругого элемента:

$$u(t) = \xi_0 Q \sin\left(\omega_0 t - \frac{\pi}{2}\right). \quad (25)$$

При прохождении массой m положения равновесия $u = 0$, когда ее скорость максимальна, свободный конец упругого элемента смещен на максимальную величину ξ_0 в направлении скорости движения массы. В этот момент мощность силы упругости имеет максимально возможное положительное значение при заданной величине ξ_0 .

В дальнейшем эта мощность также остается положительной и обеспечивает наиболее эффективную передачу энергии телу упругой системы при его колебательном движении в вязкой среде.

ВЫВОДЫ

Рассмотрена упругая модель вынужденных гармонических колебаний в механических системах с вязким сопротивлением, которая позволяет исследовать и описать простейшие его режимы и виды. Теоретические исследования упругих механических систем аналогичного типа дают возможность в дальнейшем рассмотреть и проанализировать более сложные колебания и определить их оптимальные параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anishchenko V.S. 1990: Slozhnyye kolebaniya v prostykh sistemakh / V.S. Anishchenko. – М.: Nauka. –312.
2. Anisimov I.O. 2003: Kolivannya ta khvili / I.O. Anisimov. – К.: Akad. Pres. – 280.
3. Boris M.M. 2013: Stvorenniya buryakozbiralnikh mashin suchasnogo tekhnichnogo rivnya / M.M. Boris, O.M. Chernish, V.V. Yarenko // Mekhanizatsiya ta yelektifikatsiya silskogo gospodarstva: Mizhvidomchiy tematichniy nauk. zbirnik. – Glevakha: NNTs «IMESG» NAAN Ukraini, – Vip. 98. – 515–522.
4. Bulgakov V.M. 2003: Teoriya vibratsiy-nogo vikopuvannya koreneplodiv / V.M. Bulgakov, I.V. Golovach // Zb. nauk. prats NAU «Mekha-

- nizatsiya silskogos-podarskogo virobnitstva». – K.: NAU. – Т. XIV. – 34–86.
5. Bulgakov V.M. 2011: Vid zemlerobskoi mekhaniki do suchasnikh metodiv mekhaniki ta teorii mekhanizmv i mashin dlya visokotehnologichnogo silskogo gospodarstva / V.M. Bulgakov, V.O. Dubrovin, I.V. Golovach, O.M. Chernish // Nauk. visnik Luganskogo nats. agrarnogo universitetu: Seriya «Tekhnichni nauki». – Spets. vip. № 29. Lugansk: LNAU. – 318–333.
6. Vulfson I.I. 1990: .Kolebaniya mashin s mekhanizmami tsiklovogo deystviya / I.I. Vulfson. – L.: Mashinostroyeniye. – 306.
7. Glukhivskiy L.Y. 2008. Neliniyni kolivannya: chiselne poligarmonichne modelyuvannya / L.Y. Glukhivskiy. – K.: Alfa Pik. – 204.
8. Golovach I.V. 2011: Zastosuvannya rivnyan Yeylera pri doslidzhenni vibratsiyynogo vikopuvannya koreneplodiv / I.V. Golovach, M.G. Berzoviy, V.I. Soltisyuk, O.M. Chernish // Konstruyuvannya, virobnitstvo ta ekspluatatsiya silskogospodarskikh mashin: Zagalnodержavniy mizhvidomchiy nauk.-tekhn. zbirnik. – Kirovograd: KNTU. – Vip. 41. – Ch. I. – 53–61.
9. Golovach I.V. 2012. Matematichna model vibratsiyynogo vikopuvannya koreneplodu tsukrovogo buryaku / I.V. Golovach, M.G. Berzoviy, O.M. Chernish // Mekhanizatsiya ta yelektifikatsiya silskogo gospodarstva: Mizhvidomchiy tematchniy nauk. zbirnik. – Glevakha: NNTs «IMESG» NAAN Ukraini. – Vip. 96. – 155–165.
10. Dubrovin V.O. 2011: Perspektivi rozvitku suchasnikh mekhanizmv i mashin dlya agropromislovogo kompleksu / V.O. Dubrovin, V.M. Bulgakov, I.V. Golovach, O.M. Chernish // Naukoviy visnik NUBiP Ukraini: Seriya «Tekhnika i yenergetika APK». – Vip. 166. – Ch. 1. – K.: NUBiPU. – 9–20.
11. Mangus K. 1982: Kolebaniya. Vvedeniye v issledovaniye kolebatelnykh sistem. Per. s nem. / K. Mangus. – M.: Mir. – 304.
12. Pavlovskiy M.A. 2002: Teoretichna mekhanika. Pidruchnik / M.A. Pavlovskiy. – K.: Tekhnika. – 512.
13. Rudyak V. 2003: Matema-ticheskiye modeli prirodnykh yavleniy i tekhnologicheskikh protsessov. Chast I / V.Ya. Rudyak. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, – Ch. I. – 181.
14. Sidorenko V.V. 2004: Malyye kolebaniya v mekhanicheskikh sistemakh / V.V. Sidorenko. – M.: MFTI. – 37.
15. Strutinskiy V.B. 2001: Matematichne modelyuvannya protsesiv ta sistem mekhaniki / V.B. Strutinskiy. – Zhitomir: ZhITI. – 613.
16. Tarasevich Yu.Yu. 2004: Mate-maticheskoye modelirovaniye. Kolebaniya i volny / Yu.Yu. Tarasevich, I.V. Vodolazskaya. – Astrakhan: Astrakh. gos. univ. – 80.
17. Khutorova O.G. 2001. Kompyuternoye modelirovaniye fizicheskikh protsessov / O.G. Khutorova, Yu.M. Stenin, R.Kh. Fakhrtdinov i dr. – Kazan: KGU. – 53.
18. Chernish O.M. 2013. Yenergetichni pokazniki parametrichnogo kolivalnogo protsesu / O.M. Chernish // Mekhanizatsiya silskogospodarskogo virobnitstva. Visnik Kharkivskogo nats. tekhn. universitetu silskogo gospodarstva im. Petra Vasilenka: Zb. nauk. prats. – Vip. 139. – 316–321.
19. Chernish O.M. 2013. Rozrakhunkova model kolivalnogo rukhu navisnogo ochisnika golovok koreneplodiv / O.M. Chernish, V.V. Yaremenko // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. Vseukr. nauk.-tekhnichniy zhurnal. – Vinnitsya, – №. 1 (69). – 140–148.
20. Kelly S.G. 2011. Mechanical Vibrations: Theory and Applications / S.G. Kelly. – Cengage Learning. – 876.
21. Golovach I., Bulgakov V., Finko S. 2003: Yeksperimentalni doslidzhennya energetichnikh pokaznikov vibratsiyynogo vikopuyuchogo robotochogo organu // IV Internatioal Research and Techical Conference, MOTROL – Vol. 6, 32 – 40.

SIMULATION OF OSCILLATING MOTION IN VIBRATIONAL DRIVE GEARS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Summary. The theoretical sample piece for probe and the exposition of movement of the forced simple harmonic motions of elastic mechanical systems in the conditions of the viscous environment is considered. The sample piece is grounded on a method of the application of the forced force not to the fluctuating mass, and to a running end of an elastic element of a vibratory system.

Key words: forced vibrations, fluctuating mass, elastic mechanical systems, vibrational processes.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СРЕДЫ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Валерий Макаренко, Константин Муравьев, Танзания Евпак, Николай Каливошко

Національний університет біоресурсів і природопольовання України

Україна, г. Київ, ул. Героїв Оборони, 15

Valery Makarenko, Konstantin Muravyev, Tanzania Yevpak, Nicholas Kalivoshko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований трещиностойкости нефтяных резервуаров.

Ключевые слова: Трещиностойкость, коррозия, резервуары, нейросеть.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Большая часть эксплуатируемых в настоящее время резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов построена 20-30 лет назад. По продолжительности эксплуатации парка резервуаров наблюдается следующая динамика: до 10 лет – 24,5%; от 10 до 15 лет – 27,2%; от 16 до 20 лет – 33,3%; от 21 до 25 лет – 5,4%; от 26 до 30 лет – 9,5%;

Как показывают результаты мониторингового анализа, нормативный срок 20 лет эксплуатации превысил 14,9% резервуара.

Анализ динамики старения резервуарного парка свидетельствует, что к 2020 году срок эксплуатации 90% резервуаров превысит нормативный, поэтому уже сейчас необходимо принимать экстренные меры по восстановлению эксплуатационной пригодности большей части существующего резервуарного парка.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что практически вся нефть, добываемая в Украине, транспортируется подразделениями АК «Укрнафгаз». Поэтому технологический процесс перекачки нефти в таких количествах предполагает наличие большого объема резервуарных емкостей.

Несмотря на снижение объемов перекачки в последнее время, вызванное

сокращением добычи нефти, основная часть резервуарного парка продолжает активно эксплуатироваться. Наличие большого запаса резервуарных емкостей позволяет в новых экономических условиях получать дополнительные прибыли от товаротранспортных операций и дает преимущества в сферах управления и принятия решений руководством компаний и фирм. Поэтому вопросу обеспечения эксплуатационной надежности резервуарных парков в настоящее время уделяется большое внимание. Из анализа литературных данных [5-9, 11-22] и результатов многочисленных наблюдений авторов данного исследования можно заключить, что к основным причинам разрушения резервуаров, эксплуатируемых на территории Украины, можно отнести коррозионный износ днища, низкая коррозионная трещиностойкость нижних поясов вертикальной стенки резервуаров, заводские и монтажные дефекты.

К коррозионным повреждениям относится коррозия сварных соединений и основного металла, сильно проявляющаяся под действием циклических и вибрационных нагрузок. Поэтому становится очевидным необходимость в изучении коррозионной трещиностойкости резервуарных сталей при изменении напряженно – деформированного состояния вертикальных стальных резервуаров (РВС) в условиях воздействия коррозионно-активных сред, переменных нагрузок и минусовых температур.

Кроме того, многочисленные исследования изменений прочностных свойств металлоконструкций после 20 лет эксплуатации показали практически полное их постоянство. Следует обратить внимание на то, что хотя запас надежности РВС насто-

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СРЕДЫ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

лько велик (известны случаи, когда резервуары безаварийно эксплуатировались более 20 лет имея как заводские, так и монтажные дефекты), однако в связи с ухудшением качества изготавливаемой резервуарной стали и транспортируемых эксплуатационных продуктов, однако вопросы коррозионной трещиностойкости металла сварных швов и основной стали имеют право на существование и дополнительное изучение.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование влияния коррозионной среды на трещиностойкость резервуарных сталей, находящихся в длительной эксплуатации, с применением нейросетевого метода анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследования служила резервуарная легированная сталь марки ВСт.3сп (ГОСТ 380–88), эксплуатируемая 3, 15 и 25 лет, фрагменты которой вырезали из демонтируемых резервуаров. Для сравнения использовали неэксплуатируемую сталь такой же марки, химический состав которой равен (в %): С 0,18; Mn 0,16; Si 0,23; S 0,039; P 0,037; Cr 0,28; Ni 0,25; Cu 0,26.

Механические свойства стали: $\sigma_B = 460$ МПа; $\sigma_T = 240$ МПа; $\delta = 26\%$; КСУ = 69 Дж/см² ($t = +20^\circ\text{C}$); КСУ = 29 Дж/см² ($t = -20^\circ\text{C}$).

Коррозионную трещиностойкость исследовали согласно стандарта NACE TM 01 – 77 (90), метод А, на цилиндрических образцах диаметром рабочей части 3 мм, что позволяла толщина листов стенки резервуара. Испытывали образцы на установке УСМР – 6 под нагрузкой, составляющей $0,8\sigma_{0,2}^{\min}$ (в каждом эксперименте использовали по 3 образца). При этом определяли пороговые значения показателя коррозионной трещиностойкости σ_{ssc} для того, что бы сравнить качество сталей разных сроков эксплуатации. Условия испытаний по этому стандарту следующие:

продолжительность – 720 ч в растворе подтоварной воды (рН 6,4) с добавлениями: $C_{Cl^-} = 5...80$ мг/л; $C_{O_2} = 5...50$ мг/л. Выбранные хлорсодержащие растворы позволили получить данные о зависимости коррозионной трещиностойкости резервуарных сталей от совместного содержания в подтоварной воде входящих в её состав указанных компонентов. При этом температура испытаний составляла $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Параметр σ_{ssc} определяли из зависимостей $\sigma_i - \lg\tau$ (σ_i – начальное нагружение; τ – время до разрушения, ч), при которых образцы не разрушаются на принятой временной базе испытаний.

Зависимости $\sigma_i - \lg\tau$ строили по минимальным значениям времени до разрушения под каждой нагрузкой, поскольку использование средних значений τ недопустимо ввиду необходимости гарантированной работоспособности резервуарных конструкций в технологических средах с хлор-анионами и кислородом.

Учитывая большое разнообразие, значительный объем и, зачастую, противоречивость информации о механических и коррозионных повреждениях, назрела острая необходимость в поиске новых методов её эффективного анализа. Решение этой задачи связано с новыми информационными технологиями, важное место среди которых занимают искусственные нейронные сети (ИНС) [1].

Из работ известно [2, 3, 4], что метод нейросетевого моделирования применим к изучению коррозионных процессов, которые в большинстве своем представляют как многофакторные системы, характеризующиеся совокупностью коррозионно-механических параметров (критерии трещиностойкости, работа зарождения и распространения трещины, прочностные и вязко-пластические показатели), нелинейно изменяющихся с изменением параметров среды (концентрация, анионный состав, температура, рН, химический состав стали и др.). В настоящей работе впервые предпринята попытка создания и обучения ИНС на основе ограниченного набора

экспериментальных данных с целью получения недостающих сведений для корректного прогнозирования коррозионно – механического поведения резервуарной стали ВСт.3сп, как наиболее распространенной в строительстве резервуаров, в близких к нейтральным хлоридных средах, содержащих коррозионно–активный компонент – растворенный кислород. Нейронные системы должны предсказывать характеристические критерии трещиностойкости стали в коррозионно–активных средах по любому набору параметров среды: концентрация анионов и кислорода, и идентифицировать состояние коррозионной системы (стабильно высокое или низкое сопротивление трещиностойкости) по предсказанным критериям.

В данной работе использовали ИНС с одним выходом, т.е. её структура включает (рис. 1): 1 – слой нейронов – рецепторов (входной слой), осуществляющий прием информации извне; 2 – слой ассоциативных нейронов (скрытый); 3 – слой выходных нейронов, формирующих реакцию сети на внешний стимул.

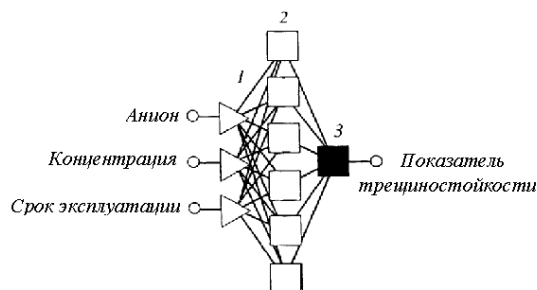


Рис. 1. Структура ИНС для показателя коррозионной трещиностойкости σ_{ssc} (слой нейронов: 1 – входной; 2 – скрытый; 3 – выходной)

Fig. 1. Structure of ANN for the index of corrosive splitdurability

Из литературы [2, 3] известно, что, как правило, одного скрытого слоя достаточно для решения подобных задач.

Для выбора оптимального числа нейронов в скрытом слое ИНС использовали в соответствии с рекомендациями работы [4] нейрогенетический алгоритм, который обеспечивает быстрый поиск оптимальной

структуры [10]. Для исследуемого критерия трещиностойкости анализировали 25 вариантов сети.

На предварительном этапе при обучении выбранной ИНС, выбор экспериментальных данных случайным образом разделялся на подмножество – обучающее (70% данных используется непосредственно для обучения) и тестовое (30% данных используется для контроля способности ИНС к обобщению информации).

Обучение ИНС состояло из нескольких циклов, на каждом из которых определялась ошибка наборов экспериментальных данных в обучающем и тестовом подмножестве по отношению к результатам, полученным с использованием ИНС. При этом оценивали не только абсолютную величину ошибки, но и тенденцию её изменения в процессе обучения сети. Обучение прекращали в случае достижения минимума ошибки на тестовом подмножестве. Выбор алгоритма обучения определяли, в основном, быстротой достижения и качеством оптимальных параметров обучения ИНС.

Созданные ИНС были реализованы с помощью пакета Statistica Neural Network. С использованием обученных ИНС были получены обобщенные зависимости критериев трещиностойкости стали ВСт.3сп от параметров раствора и на их основе выполнен инженерный прогноз деформационного поведения резервуарных сталей.

С помощью Visual Basic обученные ИНС интегрировали в Excel в виде программных модулей, что позволило быстро анализировать большие массивы данных и визуализировать результаты работы ИНС стандартными средствами без разработки интерфейса пользователя и системы “ввода – вывода” данных.

Результаты экспериментальных исследований стали (рис. 2–4) ВСт.3сп в средах с различными концентрациями хлорид – ионов и кислорода получены в ограниченном диапазоне условий и сроков эксплуатации резервуаров, что не позволяет провести масштабный анализ зависимостей критерия трещиностойкости от параметров раствора..

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СРЕДЫ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

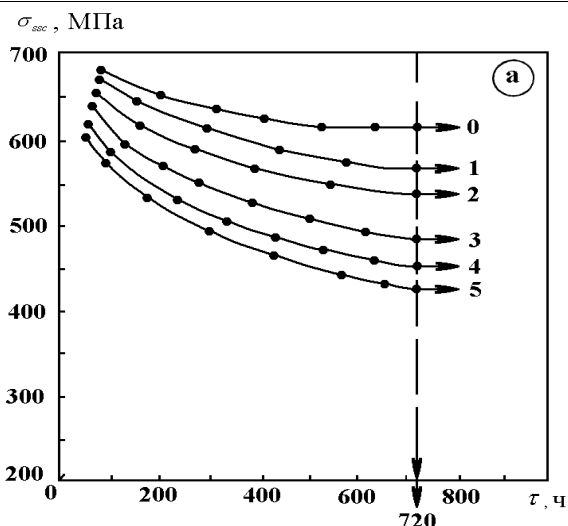


Рис. 2. Графики зависимости показателя коррозионной трещиностойкости σ_{ssc} от концентрации кислорода в модельной среде

Fig. 2. Charts of dependence of index of corrosive splitdurability σ_{ssc} from the concentration of oxygen in a model environment

Сталь резервуарная не эксплуатировалась. Цифровые обозначения: 0 – 5 мг/л O_2 ; 1 – 10 мг/л O_2 ; 2 – 20 мг/л O_2 ; 3 – 30 мг/л O_2 ; 4 – 40 мг/л O_2 ; 5 – 50 мг/л O_2 . Разброс значений σ_{ssc} не превышает $\pm 10 - 12\%$

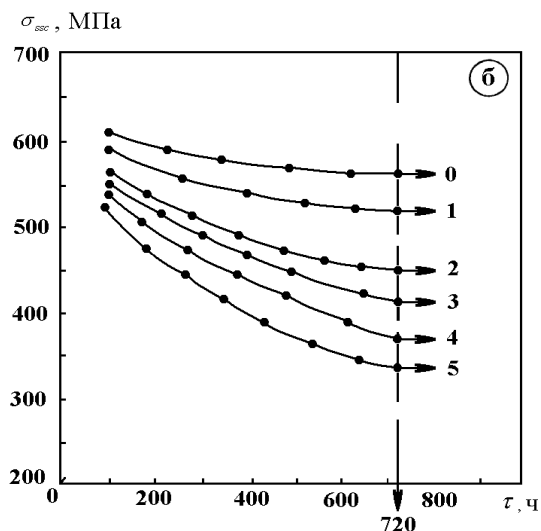


Рис. 3. Графики зависимости показателя коррозионной трещиностойкости σ_{ssc} от концентрации кислорода в модельной среде

Fig. 3. Charts of dependence of index of corrosive splitdurability σ_{ssc} from the concentration of oxygen in a model environment

Сталь резервуарная эксплуатировалась 15 лет. Цифровые обозначения: 0 – 5 мг/л O_2 ; 1 – 10 мг/л O_2 ; 2 – 20 мг/л O_2 ; 3 – 30 мг/л O_2 ; 4 – 40 мг/л O_2 ; 5 – 50 мг/л O_2

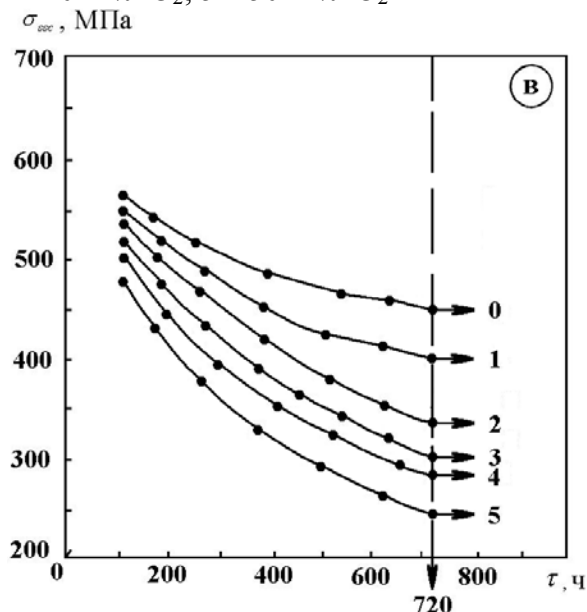


Рис. 4. Графики зависимости показателя коррозионной трещиностойкости σ_{ssc} от концентрации кислорода в модельной среде

Fig. 4. Charts of dependence of index of corrosive splitdurability σ_{ssc} from the concentration of oxygen in a model environment

Сталь резервуарная эксплуатировалась 25 лет. Цифровые обозначения: 0 – 5 мг/л O_2 ; 1 – 10 мг/л O_2 ; 2 – 20 мг/л O_2 ; 3 – 30 мг/л O_2 ; 4 – 40 мг/л O_2 ; 5 – 50 мг/л O_2

Графические зависимости критерия коррозионной трещиностойкости σ_{ssc} от содержания химически агрессивных ингредиентов экспериментальной среды НАСЕ, приведенные на рис. 2–7, показали, что с повышением содержания в испытываемой модельной среде таких компонентов, как хлор-ионы и кислород, трещиностойкость резервуарной стали снижается, причем низкой сопротивляемостью образованию трещин характеризуются стали, эксплуатируемые более 5 лет. Наиболее низкие коррозионно-механические свойства характерны для сталей с длительным сроком эксплуатации нефтяных резервуаров, в частности, более 15 лет. Полученные результаты экспериментальных коррозионно-механических испытаний выявили очевидное наличие

определенно нелинейных связей между переменными. Поэтому для исследования симбатно изменяющихся зависимостей между показателем коррозионной трещиностойкости σ_{ssc} и концентрацией в модельной среде коррозионно-активных компонентов использовался метод нейросетевого анализа полученных результатов экспериментальных исследований.

Известно [2 – 4], что структура и методы обучения ИНС зависят от качественного массива экспериментальных данных, подаваемых на входы ИНС, и сложности изучаемых коррозионных процессов. Результаты компьютерных экспериментов по выбору структуры ИНС и ее последующему обучению позволили выбрать оптимальное число нейронов в скрытом слое, причем ошибка обучения и тестирования выбранной структуры ИНС, несмотря на различный алгоритм обучения, несущественно

отличается при анализе критерия трещиностойкости (табл. 1).

Обученные ИНС использовали для прогнозирования σ_{ssc} как внутри области экспериментально апробированных параметров, так и за ее пределами. Как видно из рис. 6, показатель σ_{ssc} сложным образом зависит от концентрации хлор – аниона и кислорода в испытываемой среде, но тем не менее возможно проследить некоторые общие закономерности.

Так, (рис. 2) при совместном увеличении концентрации хлор – аниона и кислорода в растворе резко снижается коррозионная трещиностойкость резервуарной стали.

Особенно это четко наблюдается для сталей, вырезанных из демонтированных резервуаров, эксплуатируемых довольно продолжительное время – 15 и 25 лет.

Таблица 1. Оптимальные параметры ИНС для прогнозирования критерия коррозионной трещиностойкости и ошибка ИНС при обучении и тестировании

Table 1. Optimum parameters of ANN for prognostication of criterion of corrosive splitdurability and error of ANN at teaching and testing

Критерий трещиностойкости на выходе сети	Количество нейронов в скрытом слое сети	Ошибка обучения сети	Ошибка тестирования сети	Алгоритм обучения	Число циклов обучения
σ_{ssc}	6	0,0071	0,0422	ЛМ	350
	6	0,0054	0,0374	ССГ	285

Примечание: ЛМ – Левенберга – Маркара; ССГ – спуск по сопряженным градиентам.

Таблица 2. Влияние концентрации аниона хлора и кислорода на показатель трещиностойкости резервуарной стали ВСт.3сп

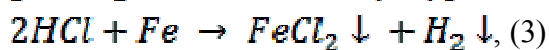
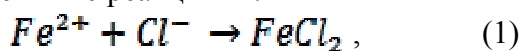
Table 2. Influence of concentration of anion of chlorine and oxygen on the index of splitdurability of reservoir steel of VSt.3sp

Параметр	Входные переменные			
	Обучение		Тестирование	
	концентрация		концентрация	
	Cl^-	O_2	Cl^-	O_2
Ранг	2	1	2	1
Ошибка	0,074	0,195	0,052	0,131
Отношение	11,237	22,315	2,286	4,712

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СРЕДЫ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Эти данные хорошо согласуются с результатами исследований отечественных [5, 7–9] и зарубежных [6] авторов.

Известно [7], что при контакте листовой резервуарной стали с подтоварной водой, находящейся в нижней части резервуара, протекает хлоридно-кислотная коррозия. Так, ионы Cl^- , присутствующие в значительных количествах в подтоварной воде, ускоряют процесс ионизации железа и интенсифицируют развитие локальной коррозии по границам кристаллов (что и провоцирует зарождение от питтингов микротрещин под напряжением) в соответствии с реакциями:



Продукты реакции (1)–(5), обнаруженные на внутренней поверхности нижних участков эксплуатируемых резервуаров, полученные с применением фазового рентгеноструктурного анализа, подтверждают механизм, основную роль в котором играют ионы Cl^- .

Из работы [9] известно, что концентрация растворенного кислорода в смеси оказывает существенное влияние на скорость коррозии лишь при температурах до 40...80 °С. Механизм взаимодействия стали с кислородом в присутствии водной среды описывается, в общем случае, следующим уравнением:



При этом образование карбонатно – оксидных продуктов коррозии тесно связано с анодным растворением металла.

Взаимодействие металла с кислородом возможно и по другим механизмам, однако рассмотрение их не входило в задачу настоящего исследования.

ВЫВОДЫ

Экспериментально установлено, что с повышением содержания в испытываемой модельной среде таких компонентов, как

хлор-ионы и кислород, трещиностойкость резервуарной стали снижается, причем низкой сопротивляемостью образованию трещин характеризуются стали, эксплуатируемые более 5 лет. Наиболее низкие коррозионно-механические свойства характерны для сталей с длительным сроком эксплуатации нефтяных резервуаров, в частности, более 15...20 лет. Полученные результаты экспериментальных коррозионно-механических испытаний выявили очевидное наличие определенно нелинейных (симбатных) связей между переменными, для анализа которых использовался нейросетевой метод.

С использованием метода нейросетевого моделирования установлено, что в близких к нейтральным хлоридных средах характер растворения низкоуглеродистых сталей в большей мере обусловлен кислотностью раствора, чем концентрацией хлорид-анионов – активаторов коррозионного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Uosserman F. 1992: Neyrokompyuternaya tekhnika: Teoriya i praktika. – М.: Mir. – 183.
2. Gorban A.N. 1991: Obucheniye neyronnykh setey. – М.: SP “ParaGraf”. – 156.
3. Gorban A.N., Dunin – Barkovskiy V.L., Kipdin A.N. i dr. 1998: Neyroinformatika. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoye otdeleniye RAN. – 296.
4. Neyronnyye 2000: Neyronnyye seti v Statisticheskoy Neural Network / Per. s angl. – М.: Goryachaya liniya – Telekom. – 182.
5. Moiseyeva L.S. 2005: Uglekislottnaya korroziya neftegazopromyslovogo oborudovaniya. – Zashchita metallov. – t. 41. - №1. – 82 – 90.
6. Vengertsev Yu.O., Globa V.M., Martinyuk T.A. 1996: Zasobi pidvishchennya ekspluatatsiyoi nadiynosti stalevikh rezervuariv // Naftova i gazova promislovist. – №4. – 47 – 48.
7. Verevkin S.N., Rzhavskiy Ye.L. 1980: Povysheniye nadezhnosti rezervuarov, gazgolderov i ikh oborudovaniya. – М.: Nedra. – 248.
8. Prokhorov V.A. 1998: Razrusheniye rezervuarov i ikh ushcherb v usloviyakh Severa // Problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh. – Yakutsk: YaGU. – 7 – 16.

9. Makarenko V.D. 2006: Nadezhnost neftegazopromyslovogo oborudovaniya. Chelyabinsk: Izd – vo TsNTI. – 826.
10. Makarenko V.D., Sinkevichyus A.A., Belyayev V.A. i dr. 2008: Neyrosetevoy analiz tekhnologicheskikh svoystv materialov. – Nizhnevartovsk: Izd – vo Nizhnevartovskogo gos. gumanit. un – ta. – 168.
11. Burenin V.A. 1994: Prognozirovaniye individualnogo ostatochnogo resursa stalnykh vertikalnykh rezervuarov: Diss. dokt. tekhn. nauk. – Ufa. – 270.
12. Galejev V.B. 1987: Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye rezervuarov postroyennykh na slabykh pereuvlazhennnykh gruntakh: Diss. dok. tekhn. nauk. – Tyumen. – 668.
13. Burenin V.A. 1980: Issledovaniye vliyaniya neravnomernykh osadok na napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye stalnoye vertikalnogo tsilindricheskogo rezervuara: Diss. kand. tekhn. nauk. – Ufa. – 157.
14. Daychik M.L., Grigorovskiy N.I., Khurshudov G.Kh. 1989: Metody i sredstva naturnoy tenzometrii: – M.: Mashinostroye-niye.– 234.
15. Ivanov Yu.K., Konovalov P.A., Mangusheva R.A. i dr. 1989: Osnovaniya i fundamenty rezervuarov. – M.: Stroyizdat. – 95.
16. Isima T. 2005: Issledovaniye prichin avariyy pri khraneniі nefti v rezervuarakh na predpriyatikh firmy “Mitsubisi Sekiyu” // Perevod s yaponskogo yazyka iz zhurnala “Doboku Seko”. – t.16, №9. – 93 – 94.
17. Rozenshteyn I.M. 1985: Avariі i nadezhnost stalnykh rezervuarov. – M.: Nedra. – 253.
18. Slepnev I.V. 1988: Napryazhenno-deformirovannoye uprugo-plasticheskoye sostoyaniye stalnykh vertikalnykh tsilindricheskikh rezervuarov pri neravnomernykh osadkakh osnovaniy: Diss. kand. tekhn. nauk. – M.: MISI. – 225.
19. Tarasenko A.A., Prokofyev V.V. 1997: Metody remonta elementov konstruksiy stalnykh vertikalnykh tsilindricheskikh rezervuarov posle dlitelnoy ekspluatatsii // Vedomstvennaya instruktsiya AOOT “Sibnefteprovod”. – Tyumen.
20. Tarasenko A.A., Prokofyev V.V. 1997: Elektronnyy uchebnik “RemontRVS” na SD-nositele SD disk. – Tyumen: TyumGNGU. – 640 Mb.
21. Fedorova Zh.A. 1969: Analiz obsledovaniy rezervuarov na ploshchadke Sokur // Tr. UNI / Proyektirovaniye i stroitelstvo, vyp. 3. – Ufa. – 254 – 258.
22. Yamamoto S., Kavano K. 2006: Rassledovaniye prichiny avariі neftekhрани-lіshcha San-Diyego, Kaliforniya.
23. Litvinov O. 2006: K dinamicheskomu rasschetu mashin / Oleg Litvinov, Wojciech Tanas // Motrol. Tom 2A. – Lublin – 210 – 213.
24. Loveykin V.S., Chovnyuk Yu.V., Yavorskaya A.V., Kostyna O.Yu. 2010: Vzaimodeystviye glinistykh mineralov, donnykhmorskikh osadkov, ikh vodnykh nanodespersnykh smesey s KVCh-elektromagnitnymi izlucheniymi // Motrol. Tom 12B. – Lublin – 54-64.

**RESEARCH OF INFLUENCE OF
CORROSION ENVIRONMENT ON
CRACK RESISTANCE OF METAL OF
OPERATED OIL TANKS**

Summary. Results of experimental researches of crack resistance of oil tanks are given.

Key words: crack resistance, corrosion, tanks, neuronet.

ДИНАМИКА МНОГОЦИЛИНДРОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРОВ И ЦИКЛОВ

Алексей Бешун

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Oleksiy Beshun

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Анализ существующих научных источников, посвящённых улучшению экономических и экологических показателей многоцилиндровых дизельных двигателей внутреннего сгорания на режимах частичных нагрузок и холостого хода позволил сделать вывод о практически отсутствующих данных о исследовании показателей их динамики. Цель данного исследования – определение динамических параметров многоцилиндровых дизельных двигателей с регулированием мощности отключением цилиндров и циклов. Представлен алгоритмы отключения отдельных рабочих циклов для многоцилиндровых дизельных двигателей. Приведены расчётные данные исследований качественной и количественной оценки индикаторного крутящего момента и неравномерности хода дизеля в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и количества отключенных циклов согласно с предложенными алгоритмами.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, дизель, регулирование, мощность, отключение, цилиндр, цикл, алгоритм, динамика, параметр, неравномерность, вращение, коленчатый вал, частичная нагрузка, холостой ход.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Стремление снизить расход топлива и вредные выбросы с отработавшими газами приводит часто к значительному усложнению конструкций двигателей внутреннего сгорания [1]. Но есть и другой, более рациональный подход, основанный на анализе наиболее употребляемых в эксплуатации режимов работы двигателей и разработке для этих режимов методов и способов снижения расхода топлива.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Многочисленными исследованиями [1–6] установлено, что наиболее употребляемыми в эксплуатации режимами работы автомобильных двигателей в условиях городского движения является холостой ход и частичные нагрузки. Работа дизелей самоходных лесных машин [7] и тракторов [1, 6, 8–16] также характеризуется значительной длительностью эксплуатации на холостом ходу и малых нагрузках, что объясняется большим объёмом транспортных работ, включая переезд с пустым прицепом, а также частой разрядкой аккумуляторных батарей.

Повысить эффективность работы дизеля большого объёма на холостом ходу и частичных нагрузках можно путём применения метода регулирования мощности отключением цилиндров и циклов (ДРЦ) [17 – 20], который имеет несколько существенных преимуществ по сравнению с известным методом отключения цилиндров [2, 21 – 29]. Однако регулирование мощности двигателей таким методом при работе на частичных нагрузках и холостом ходу сопровождается увеличением неравномерности крутящего момента [21], что является одним из недостатков данного метода, а также одной из основных причин повышения вибраций двигателя. Поэтому при решении вопроса о целесообразности использования способа отключения рабочих циклов необходимо исследовать динамические параметры дизельного ДРЦ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В связи с выше изложенным, было поставлено задание разработать алгоритмы отключения отдельных рабочих циклов для

ДИНАМИКА МНОГОЦИЛИНДРОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРОВ И ЦИКЛОВ

многоцилиндровых дизельных двигателей, и определить изменение динамических параметров дизельных ДРЦ. В частности, провести качественную и количественную оценку индикаторного крутящего момента и неравномерности хода дизеля в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и количества отключенных циклов согласно с предложенными алгоритмами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалы и методы исследований. Исчерпывающую информацию о динамике двигателя даёт математическое моделирование.

Поэтому изучение динамических параметров дизельных ДРЦ выполнялось на уточнённой математической модели динамики поршневых ДРЦ [18, 19], разработанной на кафедре автотракторного, сельско- и лесохозяйственного машиностроения НУ-БиП Украины.

Следует отметить, что эта модель не учитывает динамики газовых процессов, а также колебаний коленчатого вала.

Результаты выполненных раньше исследований показали, что разница в расчётных и теоретических значениях не превышает 6 %, что свидетельствует о достаточно высокой адекватности этой математической модели.

Объекты исследований – 4-тактные многоцилиндровые дизели наиболее распространённых схем: 6-цилиндровый с рядным размещением цилиндров и порядком работы 1–5–3–6–2–4 и 8-цилиндровый с V-образным размещением цилиндров и порядком работы 1–5–4–2–6–3–7–8.

Динамический расчёт дизеля с регулированием мощности отключением цилиндров и циклов выполнялся путем интегрирования дифференциального уравнения движения, которое связывает угловую скорость коленчатого вала с индикаторным моментом, моментом от сил инерции, моментом от сил трения и моментом сопротивления [18] и решается посредством специально разработанной на языке «Фортран» программы для ПК, которая позволяет применять стандартное решение данного уравнения методом Рунге-Кутты.

Интегрирование уравнения проводилась

в интервале, на котором расположено $2 \cdot i$ рабочих циклов в каждом цилиндре, где i количество цилиндров двигателя.

На этом интервале определялись средние значения, среднеквадратические отклонения и коэффициенты вариации угловой скорости, индикаторного крутящего момента, момента трения и эффективного крутящего момента.

Алгоритмы отключения цилиндров и циклов могут быть представлены в виде последовательностей, приведённых в табл. 1 – для 6-цилиндрового двигателя, и в табл. 2 – для 8-цилиндрового.

Цифры в каждой строке означают, что из каждых $2 \cdot i$ рабочих циклов пропускается, в зависимости от нагрузки, определенное их количество.

Например, обеспечение отключения $(3/12) \cdot N_i$ создаётся пропуском рабочих циклов 1, 5 и 9 (см. табл. 1).

То есть отключается 3/12 индикаторной мощности дизеля. Отключение рабочих циклов осуществлялось из условия обеспечения минимальной неравномерности хода двигателя. На рис. 1 и рис. 2 представлены результаты расчёта основных показателей динамики дизельных многоцилиндровых ДРЦ – зависимости неравномерностей индикаторного крутящего момента μ и неравномерностей хода двигателей δ от количества отключенных рабочих циклов и частоты вращения для многоцилиндровых дизельных ДРЦ.

Расчёты выполнены для рабочих диапазонов частот вращения коленчатого вала дизелей ($n = 600 \dots 2000$ об/мин) с шагом в 200 об/мин и дополнительно на пониженных частотах вращения $n = 500$ об/мин.

Из приведенных данных видно, что с увеличением количества отключенных циклов на всех скоростных режимах неравномерность крутящего момента монотонно возрастает согласно с законом вогнутой параболы, и это увеличение максимальное на режиме отключений: $(10/12) \cdot N_i$ при $n = 600$ об/мин для 6-цилиндрового ДРЦ и $(15/16) \cdot N_i$ при $n = 1800$ об/мин для 8-цилиндрового ДРЦ.

Значение μ в этом случае составляет соответственно 29,28 и 70,97, и по сравнению с номинальным режимом увеличивается почти в 18 и 35 раз соответственно.

Таблица 1. Алгоритм отключения цилиндров и циклов для 6-цилиндрового дизельного ДРЦ с рядным размещением цилиндров и степенью регулирования мощности $(1/12) \cdot N_i$
Table 1. Algorithm of cylinders and cycles deactivation for a 6-cylinder in-line diesel engines with power control coefficient $(1/12) \cdot N_i$

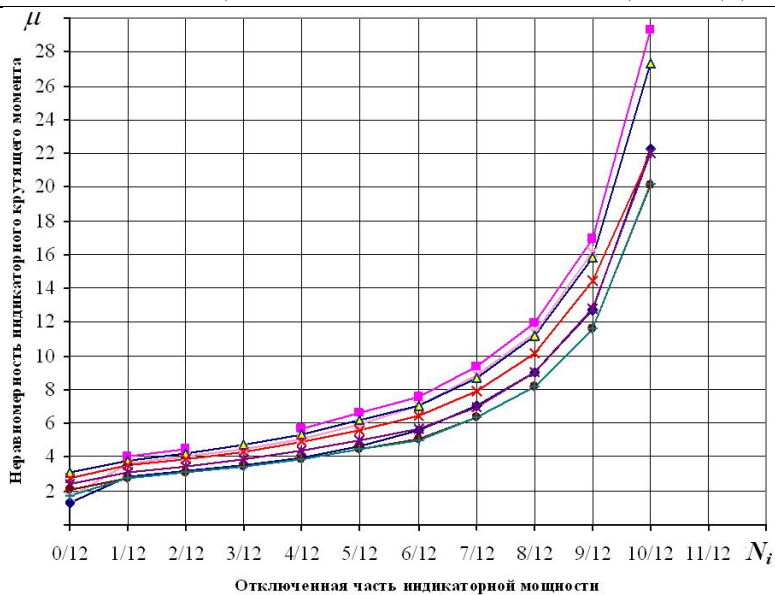
Отключенная часть индикаторной мощности*	Номера цилиндров в порядке их работы											
	1	5	3	6	2	4	1	5	3	6	2	4
	Номера отключенных циклов											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$(0/12) \cdot N_i$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$(1/12) \cdot N_i$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$(2/12) \cdot N_i$	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
$(3/12) \cdot N_i$	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
$(4/12) \cdot N_i$	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
$(5/12) \cdot N_i$	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
$(6/12) \cdot N_i$	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
$(7/12) \cdot N_i$	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0
$(8/12) \cdot N_i$	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
$(9/12) \cdot N_i$	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
$(10/12) \cdot N_i$	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
$(11/12) \cdot N_i$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
$(12/12) \cdot N_i$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

* В табл. 1 и 2 обозначено: «1» – отключенные циклы; «0» – рабочие циклы.

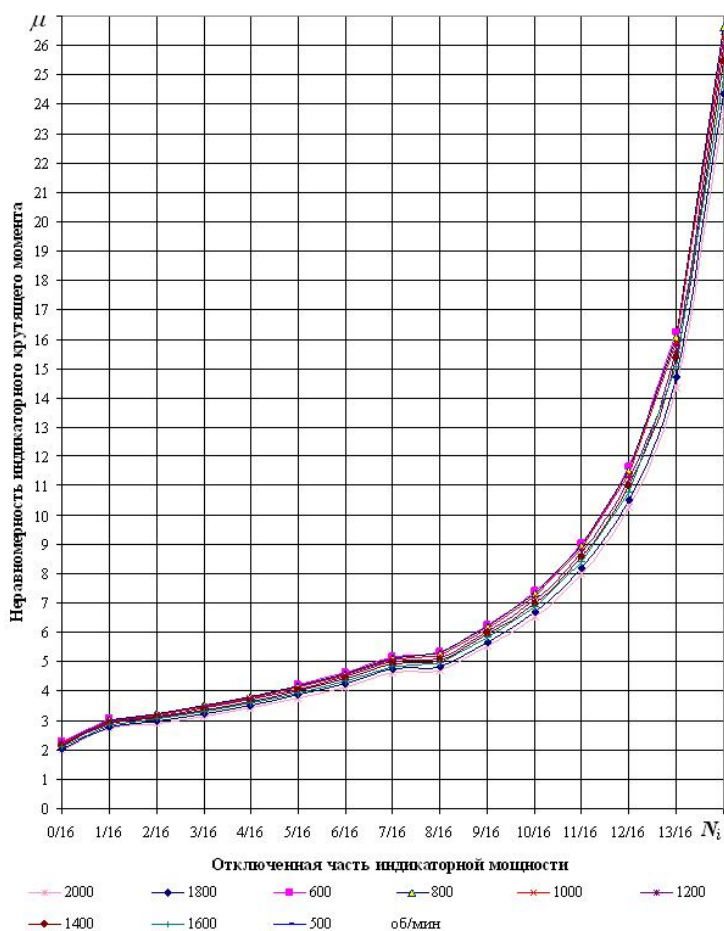
Таблица 2. Алгоритм отключения цилиндров и циклов для 8-цилиндрового дизельного ДРЦ с V-образным размещением цилиндров и степенью регулирования мощности $(1/16) \cdot N_i$
Table 2. Algorithm of cylinders and cycles deactivation for a 8-cylinder V-type diesel engines with power control coefficient $(1/16) \cdot N_i$

Отключенная часть индикаторной мощности*	Номера цилиндров в порядке их работы															
	1	5	4	2	6	3	7	8	1	5	4	2	6	3	7	8
	Номера отключенных циклов															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$(0/16) \cdot N_i$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$(1/16) \cdot N_i$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$(2/16) \cdot N_i$	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
$(3/16) \cdot N_i$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
$(4/16) \cdot N_i$	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
$(5/16) \cdot N_i$	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
$(6/16) \cdot N_i$	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
$(7/16) \cdot N_i$	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
$(8/16) \cdot N_i$	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
$(9/16) \cdot N_i$	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
$(10/16) \cdot N_i$	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
$(11/16) \cdot N_i$	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
$(12/16) \cdot N_i$	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
$(13/16) \cdot N_i$	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
$(14/16) \cdot N_i$	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
$(15/16) \cdot N_i$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
$(16/16) \cdot N_i$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ДИНАМИКА МНОГОЦИЛИНДРОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРОВ И ЦИКЛОВ



а



б

Рис. 1. Зависимости неравномерностей индикаторного крутящего момента μ от количества отключенных рабочих циклов и частоты вращения для многоцилиндровых дизельных ДРЦ
Fig. 1. Dependences of indicator torque μ instabilities from the quantity of the deactivation cycles and rotational frequency for multicylinder diesels engines

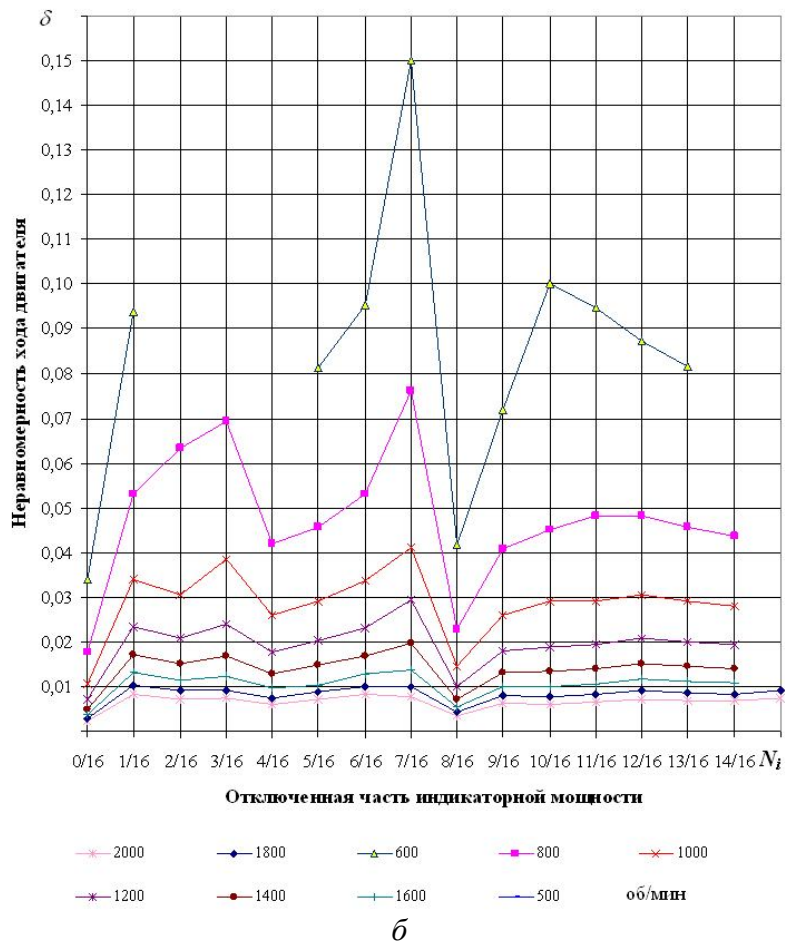
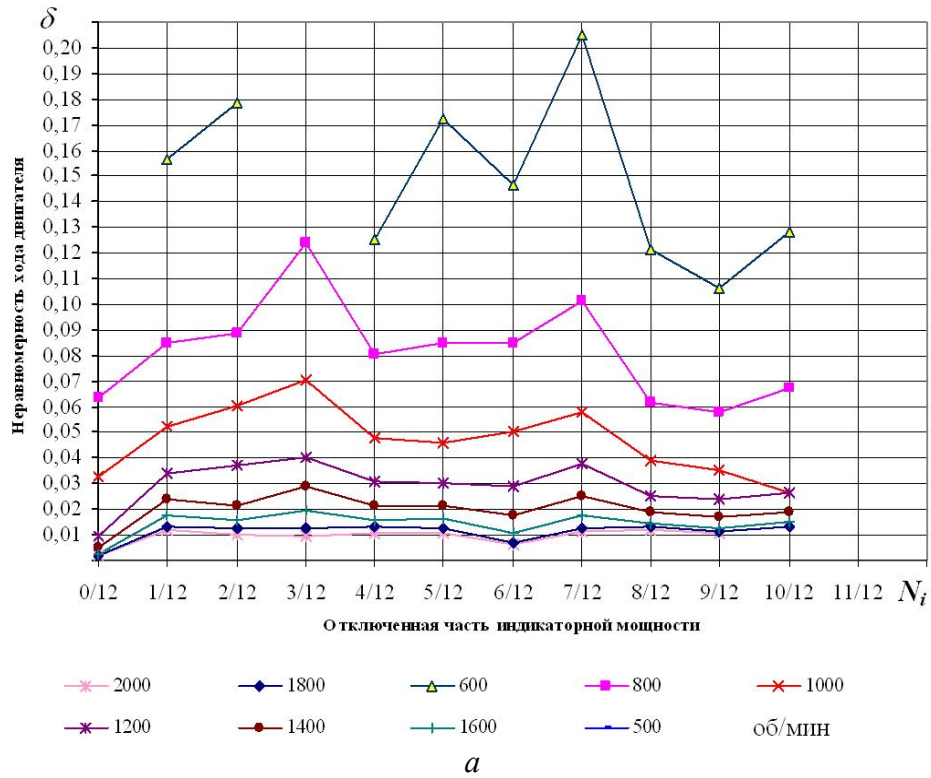


Рис. 2. Зависимости неравномерностей хода двигателей δ от количества отключенных рабочих циклов и частоты вращения для многоцилиндровых дизельных ДРЦ
Fig. 2. Dependences of angular velocity δ instabilities from the quantity of the deactivation cycles and rotational frequency for multicylinder diesels engines

ДИНАМИКА МНОГОЦИЛИНДРОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРОВ И ЦИКЛОВ

Как видно из рис. 1а и 1б μ существенно зависит также от частоты вращения коленчатого вала. Наименьшие значения μ имеют место на режимах: для 6-цилиндрового ДРЦ при $n = 1400$ и 1600 об/мин во всём диапазоне отключений кроме режима 0/12 (без отключений циклов), для которого минимальные значения μ имеют место при частоте $n = 1800$ об/мин, а для 8-цилиндрового ДРЦ – при $n = 1800$ и 2000 об/мин в диапазоне отключений $(1/16 \dots 15/16) \cdot N_i$ кроме режима 0/16, для которого минимальные значения μ имеют место при частоте $n = 2000$ об/мин.

Следует отметить, что согласно с данными расчётов 6-цилиндровый ДРЦ не сможет работать на режимах 0/12 и 3/12 отключений при $n = 600$ об/мин, и 10/12 отключений при $n = 2000$ об/мин, а 8-цилиндровый – на режимах 2/16, 3/16 и 4/16 отключений при $n = 600$ об/мин, а также 15/16 отключений при $n = 600 \dots 1600$ об/хв.

На рис. 2а и 2б представлены расчётные значения коэффициента неравномерности вращения вала двигателей δ при разных скоростных режимах и количестве отключенных циклов. С увеличением числа отключенных циклов коэффициент неравномерности хода обеих двигателей δ увеличивается. Он в значительной степени зависит от режима отключений. Например, для 6-цилиндрового ДРЦ на режимах 2/12, 4/12, 6/12 и 8/12, а для 8-цилиндрового на режимах 2/16, 4/16 и 8/16, значения δ существенно меньше по сравнению с режимами отключения 3/12, 5/12, 7/12 и 1/16, 3/16, 5/16, 6/16, 9/16, 10/16, 11/16 и 12/16 соответственно.

Особенно обращает на себя внимание уменьшения неравномерности хода двигателя на режимах 6/12 (см. рис. 2а) и 8/16 (см. рис. 2б) отключений рабочих циклов, то есть при отключении половины индикаторной мощности.

Существенным является влияние на неравномерность хода двигателя частоты вращения коленчатого вала, при уменьшении которой неравномерность δ стремительно возрастает, достигая наибольших значений на режиме минимального холостого хода ($n = 600$ об/мин).

Характерным также есть то, что в диапазоне частот $2000 \dots 1600$ об/мин числовые значения

неравномерности δ отличаются незначительно. При последующем уменьшении частоты вращения разница становится более существенной. Наибольшая неравномерность имеет место на режимах 3/12, 5/12, 7/12, а также 7/16, 10/16 и 1/16 отключений рабочих циклов соответственно. При последующем уменьшении частоты вращения разница становится более существенной.

Видно также, что при работе двигателя на режиме минимального холостого хода во всем диапазоне отключений рабочих циклов неравномерность хода двигателя выше допустимых значений. Напомним, что допустимые значения δ для тракторных двигателей на номинальном режиме составляют $0,010 \dots 0,016$. Для режима минимального холостого хода значения δ в литературных источниках, как правило, не приводятся. Очевидно, что для этих режимов допустимые значения δ будут больше, чем на номинальном режиме. Это можно объяснить целым рядом причин. Например, межцилиндровой и межцикловой нестабильностью максимального давления p_z , которое влияет на неравномерность δ , значительным ухудшением рабочего процесса, неудовлетворительной работой топливной аппаратуры и другими причинами. Но с учётом момента инерции средства, на котором будет установлен дизельный ДРЦ, например автомобиля, а также взаимного действия момента сопротивления, неравномерность хода двигателя и его крутящего момента может резко уменьшиться, комфортность последнего при этом будет нарушаться незначительно.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные на оригинальной математической модели исследования неравномерности хода 6-ти и 8-цилиндровых дизельных ДРЦ в зависимости от частоты вращения и количества отключенных циклов показали, что при увеличении последних неравномерность хода значительно увеличивается.

2. Существенно на неравномерность хода исследуемых двигателей влияет частота вращения, уменьшение которой вызывает увеличение первой. На неравномерность индикаторного крутящего момента двигателей

она оказывает значительно меньшее влияние.

3. Особенно обращает на себя внимание уменьшение неравномерности хода двигателя на режимах 6/12 и 8/16 отключений рабочих циклов, то есть при отключении половины индикаторной мощности (половины цилиндров).

4. В данном исследовании приведены результаты для случая применения метода регулирования мощности отключением цилиндров и циклов путем прекращения лишь подачи топлива (без влияния на процессы газообмена). Для случая синхронного прекращения процессов газообмена при отключении циклов целесообразно выполнить аналогичные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dvigun 2004: Dviguni vnutrshnogo sgoraniya: serya pdruchnikv u 6 tomakh. T. 3. Komp'yuterni sistemi keruvannya DVZ / Za red. prof. A.P. Marchenka ta zasl. dyacha nauki ukrani prof. A.f. Shekhovtsova. – Kharkv: Prapor. – 344.
2. Olesov I.Y. 2005: Povyshenie ekonomicheskikh, effektivnykh i ekologicheskikh kachestv avtotraktorного dizelya ispolzovaniem metoda otklyucheniya-vklyucheniya tsilindrov i tsiklov: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – M. – 201.
3. Krushedolskij O.G. 2007: Modelyuvannya robochikh protsesv transportnikh dizelv na ekspluatatsijnikh rezhimakh [Tekst]: Navch. posbnik / O.G. Krushedolskij; Ukranska derzhavna akademya zalznichnogo transportu. – Kh.: Ukrdazt. – 218.
4. Galiullin P.P. 2009: Povyshenie effektivnykh pokazatelej traktornykh dizelej elektronnym upravleniem toplivopodachi: Diss. dokt. tekhn. nauk. – Sankt-Peterburg-Pushkin. – 600.
5. Pojda A.N. 2007: Model monitoringa zagruzki avtotraktorных dizelej v ekspluatatsii // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – №2. – 126-131.
6. Grigorev E.A. 1978: Statisticheskaya dinamika porshnevykh dvigatelej. – M.: Mashinostroenie. – 104.
7. Beshun O.A., Gumennij S.S. 2012: Analz rezhimv roboti zavantazhenost dvigunv samokhdnikh lsovikh mashin // Zbrnik naukovikh prats / Visnik magistraturi Tekhnchnogo NHI Natsonalnogo unversitetu biopecypciv i prirodokoristuvannya Ukrani. – K., – Vip. 2. – 58-63.
8. Golovchuk A.F. 2012: Uluchshenie toplivnoj ekonomichnosti i snizheniya dymnosti traktornykh dizelej putem sovershenstvovaniya sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya: Monografiya / A.F. Golovchuk – Kharkov: KNADU. – 472.
9. Ageev L.E. 1978: Osnovy raschta optimalnykh i dopuskaemykh rezhimov raboty mashinno-traktornykh agregatov / L.E. Ageev. – L.: Kolos. – 293.
10. Zhdanovskij N.S. 1974: Neustanovivshiesya rezhimy porshnevykh i gazoturbinnnykh dvigatelej avtotraktorного tipa / Zhdanovskij N.S., Kovrigin A.I., Shkrabak V.S., Sominich A.V. – L.: Mashinostroenie (Leningradskoe otdelenie). – 224.
11. Tyrnov Y.A. 2001: Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya mashinno-traktornykh agregatov sovershenstvovaniem sistem kontrolya rezhimov ikh raboty: Dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.20.01, 05.20.03. – Tambov. – 333.
12. Vodyanik I.I. 1994: Ekspluatatsijn vlastivost traktorv avtomoblv. – K.: Urozhaj. – 222.
13. Luschitskij Y.V. 1985: Ekspluatatsionnyj rashhod topliva i metod ego opredeleniya / Luschitskij Y.V., Kosulin A.G. // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – Kh. – Vyp. 41. – 96-104.
14. Traktory 1981: Traktory. Ch. III. Konstruirovaniye i rascht: [Ucheb. posobie dlya vtuzov po spets. "Avtomobili i traktory" / V.V. Guskov, I.P. Ksenevich, Y.E. Atamanov, A.S. Solonskij]; Pod obsch. red. V.V. Guskova. – Mn.: Vysh. shkola. – 383.
15. Iofinov S.A. 1985: Spravochnik po ekspluatatsii mashinno-traktorного parka / Iofinov S.A., Babenko E.L., Zuev Y.A. – M.: Agropromizdat. – 272.
16. Koval I.A. 1980: Snizhenie ekspluatatsionnogo rashhoda topliva / Koval I.A., Simson A.E., Luschitskij Y.V. // Dvigatelestroenie. – №1. – 30-34.
17. Flppov A. 2001: Pro mozhlivst regulyuvannya potuzhnost bagatotsilndrovikh dizelnikh dvigunv metodom vdklyuchennya okremikh robochikh tsiklv / Flppov A., Beshun O., Krasowski E. // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, Natsonalnij agrarnij unversitet, Kyiv, Polska Akademia Nauk Oddzial w Lublinie. – Lublin. – T. 1. – C. 33-37.
18. Flppov A.Z. 2005: Matematichna model

ДИНАМИКА МНОГОЦИЛИНДРОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
С РЕГУЛИРОВАНИЕМ МОЩНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРОВ И ЦИКЛОВ

dinamki bagatotsilindrovogo dizelnogo dviguna z reguluyannam potuzhnost vdklyuchennyam okremikh robochikh tsiklv (drts) / A.Z. Flppov, O.A. Beshun, S.I. Topchj // Naukovij vsnik Nats. agrarn. un-tu. – Kyiv. – Vip. 80. – 317-325.

19. Filippov A. 2005: Dinamika dizelnogo DRTS (Dvigatelya s regulirovaniem moschnosti otklyucheniem otdelnykh robochikh tsiklov) / A. Filippov, A. Beshun, Y. Gerasimchuk, O. Gluhovska, L. Evchenko // MOTROL: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – Lublin. – T.7. – C. 83–91.

20. Flppov A.Z. 2009: Sistema reguluyannya potuzhnost bagatotsilindrovogo dizelya vidklyuchennyam robochikh tsiklv z sinkhronnim pripinennyam protsesv gazoobminu / Flppov A.Z., Beshun O.A. // Sakon'09: Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojednych: Zarzadzanie i marketing w motoryzacji. – Rzeszov. – T. XX. – 127-131.

21. Peters G. 2007: Cylinder deactivation on 4 cylinder engines: A torsional vibration analysis [text] / Gilbert Peters // Eindhoven University of Technology (TU/e), DCT 2007-11. February 15, 2007. – 83.

22. Howard G. 1983: 2, 4, 6, 8. Which cylinder shall we operate // Motor (L), 1983, – 25 VI. – №4207. – 52-53.

23. Watanabe E. 1982: Cylinder Cut-off of 4-stroke Cycle Engines at Part-Load and Idle / Watanabe E., Fueutani I. // SAE Technical Paper 820156. – 9.

24. Linnik A.V. 1983: Povyshenie ekspluatatsionnoj toplivnoj ekonomichnosti transportnykh dizelej putm avtomaticheskogo regulirovaniya chisla rabotayuschikh tsilindrov: Dis... kand. tekhn. nauk.: 05.04.02. – Kh. – 134.

25. Andres V.R. 1995: Povyshenie ekonomicheskikh i ekologicheskikh kachestv dizelya metodom otklyucheniya tsilindrov i tsiklov: Dis. ... kand. tekhn. nauk : 11.00.11. – M. – 161.

26. Balabin V.N. 2007: Regulirovanie transportnykh dvigatelej otklyucheniem chasti tsilindrov. Monografiya. – M.: GOU "Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transporte. – 143.

27. Medvedv A.N. 2008: Povyshenie toplivnoj ekonomichnosti avtomobilnykh dizelej otklyucheniem chasti tsilindrov: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – Chelyabinsk. – 138.

28. Khusainov V.N. 2011: Obosnovanie metodiki

i razrabotka tekhnicheskikh sredstv dlya issledovaniya effektivnosti konvertatsii dizelej na regulirovanie rezhimov raboty propuskom robochikh khodov porshnem: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – Sankt-Peterburg-Pushkin. – 116.

29. Strashnov S.V. 2012: Regulirovanie dizelya 6CH11/12,5 izmeneniem chisla rabotayuschikh tsilindrov ili tsiklov: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – M. – 18.

DYNAMICS OF MULTICYLINDER DIESEL ENGINES WITH POWER CONTROL BY DEACTIVATION OF CYLINDERS AND CYCLES

Summary. Analysis of the existent scientific sources devoted to the improvement of economic and ecological indicators of multicylinder diesel combustion engines on the modes of the partial loading and idling allowed to do a conclusion about practically absent data about research of indexes of their dynamics. The determination of dynamic parameters of multicylinder diesel engines with power control by cylinders and cycles deactivation is purpose of this research. It is presented algorithms of deactivation of separate working cycles for multicylinder diesel engines. Computation data of researches of quality and quantitative estimation of indicator torque and angular velocity instabilities from the quantity of the deactivation cycles and rotational frequency of crankshaft for multicylinder diesels engines in accordance with the offered algorithms are resulted.

Key words: internal combustion engine, diesel, power, control, deactivation, cylinder, cycle, algorithm, dynamics, parameter, instabilities, rotation, crankshaft, partial loading, idling.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАНКИ МОТОВИЛА ИЗ КОЛОСОНОСНЫМ СЛОЕМ

Валерий Дубровин¹, Николай Шведик²

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

²*Луцкий национальный технический университет
Украина, г. Луцк, ул. Львовская, 75*

Valeriy Dubrovin, Mykola Shvedik

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15. Kiev, Ukraine

Lutsk National Technical University

Str. Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine

Аннотация. В статье приведены результаты анализа процесса взаимодействия планки мотовила с колосоносным слоем и аналитические зависимости для определения скорости восходящего потока воздуха, который обеспечивает процесс пневмоулавливания зерна выбитого планками мотовила в прямолинейном и наклоненном участках пневмопровода.

Ключевые слова: мотовило, планка, колосс, зерно, удар, сила, воздушный поток, скорость, пневмопровод.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основой продовольственного и кормового баланса Украины является зерно [1, 2, 3, 4], объёмы производства которого за последних пять лет были доведены до 50...55 млн. т, что дало возможность среди импортеров зерна занять второе место на мировом рынке. Однако, чтобы удержаться на этом рынке необходимо и далее наращивать темпы его производства, что на ближайшие годы вполне достижимо, поскольку за счет повышения урожайности и расширения посевных площадей валовой сбор зерна можно довести до 60 млн. т. Однако в дальнейшем эти резервы будут исчерпываться поскольку темпы прироста урожайности замедлятся, а изыскивать дополнительные посевные площади будет все сложнее. С учетом этого, а также все чаще проявляющегося в последние годы негативного влияния на рост растений зерновых культур и созревание урожая погодных условий, вызванных изменением климата [5, 6, 7], валовой сбор

зерна будет находиться в пределах достигнутого уровня – 60...62 млн. т. При этом необходимо взять во внимание и то, что в структуре зерновой продукции около 50% připадает на зерновые колосовые культуры, то из выращиваемых 40 сортов пшеницы и 18 сортов озимой ржи, почти их две трети склонны к полеганию [8]. Это резко усложняет процесс работы машин, увеличивает обычные сроки сбора, и что самое главное, приводит к потерям зерна, которые достигают 10...30%, а иногда и больше, поскольку полегший хлебостой остается ниже уровня среза жатки [9, 10]. Наиболее простым способом борьбы с полеганием стеблестоя в настоящее время является применение специальных химических препаратов, которые при минимальной дозе 1...4 кг/га сдерживают рост растений и способствуют утолщению стебля, развития корневой системы и делают его стойким к полеганию [8, 10].

Однако этот способ не всегда является эффективным. Очевидно, что для решения этой проблемы более перспективным является широкое применение короткостебельных, карликовых сортов, которые отмечаются значительной стойкостью к полеганию и высокой урожайностью. Однако такие сорта требуют небольшой глубины заделки – не более 2 см [11, 12], из-за чего их не во всех зонах можно выращивать.

Поэтому возникает потребность в разработке новых рабочих органов, которые бы могли в полной мере обеспечить эффективный сбор как прямо стоящего, так и павшего стеблестоя. Поскольку традиционный способ сбора зерновых колосовых культур преду-

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАНКИ МОТОВИЛА ИЗ КОЛОСОНОСНЫМ СЛОЕМ

сматривает прямой срез хлебной массы со следующим ее обмолотом в одной машине, то с целью увеличения производительности зерноуборочного комбайна целесообразно, как мы полагаем, применить двухъярусный срез. Сущность этого способа уборки заключается в раздельном срезании верхней колосонной части стеблестоя, в 30-ти сантиметровом слое которого содержится около 70% полноценного зерна, и отдельно нижней части, так называемого подгона. В этом слое содержится 30% остального зерна. Заметим, что по своим качественным параметрам оно является мелким, щуплым и пригодным лишь для фуража.

Однако, анализ рабочего процесса среза стеблей показывает, что и в этом случае, как и во всех существующих жатках, в результате ударов планок мотовила по стеблям значительная часть зерна выбивается из колосков. Простые расчеты показывают, что если на момент сбора на 1 м^2 поля в среднем находится 500...600 стеблей [8], а из каждого колоска выбивается по две зернины, которые являются наиболее крупными и самыми ценными по всем параметрам (натура 1000 шт. такого зерна составляет 60...80г), то на каждом гектаре выбивается по 6...8 ц зерна. Проведенные нами исследования таких потерь в реальных условиях на посевах пшеницы «Поліська 90», «Либідь» и «Артеміда» с наложением квадратной рамки (площадью 1 м^2) на стерни после прохода комбайна (рис.1а) и ручным сбором с этой площади осыпавшегося зерна в лоток (рис.1б) показыва-

ли, что на каждом квадратном метре стерни остается от 120 до 280 и даже 320 шт зерен, что в среднем составляет потерю урожая около 3 ц/га.

Практически эти потери являются необратимыми, поскольку современное техническое состояние как отечественных так и зарубежных зерноуборочных комбайнов не позволяет их устранить.

Как мы полагаем наиболее эффективным способом устранения этих недостатков является применение пневмоподъема павшего стеблестоя и пневмоуловливания зерна выбитого планками мотовила, который основывается на создании разрежения в зоне мотовила. Поэтому возникает необходимость провести анализ процесса взаимодействия планки мотовила с колосонным слоем.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ литературных источников, посвященных вопросам пневмотранспортирования зерна и вороха, а также его сепарации, показывает, что они достаточно изучены. На основании результатов исследований авторами [11,12,13,14,15] разработаны и предложены сельскохозяйственному производству соответствующие рекомендации, которые легли в основу разработки современных зерноуборочных комбайнов и зерноочистительных машин.



Рис.1. Определение потерь зерна выбитого планками мотовила:

а – наложение рамки на стерню; б – собранное зерно в лоток

Fig. 1. Determination of losses of grain of reel knocked out by slats:

a – is imposition of scope on stubble; б – is the collected grain in tray

Однако вопросы, касающиеся непосредственного применения пневмоподъема павшего стеблестоя и пневмоулавливания зерна выбиваемого планками мотвила комбайна, в литературных источниках не освещались. А поэтому отсутствие теоретического обоснования процесса пневмоулавливания зерна не способствует и разработке эффективных технических решений для его реализации.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является проведение анализа процесса взаимодействия планки мотвила с колосноносным слоем и получение аналитических зависимостей для определения скорости восходящего потока воздуха, который обеспечит пневмоулавливание зерна на выбитого планками мотвила.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения условия, при котором будет улавливаться зерно, что выбивается планками мотвила из колосков, рассмотрим схему их взаимодействия в момент удара, рис. 2,а.

При этом выделим в колоске одно зерно расположенное с его противоположной стороны, что контактирует с планкой мотвила в момент удара, и делаем предположение, что оно потеряло все связи с колоском, но еще находится в нем. Проведем через центр O зерна координатную систему, которую обозначим ZOX и покажем, что на это зерно в момент удара сверху вниз действует сила веса

$$G = m \cdot g = \rho_H \cdot g \cdot V_H, \quad (1)$$

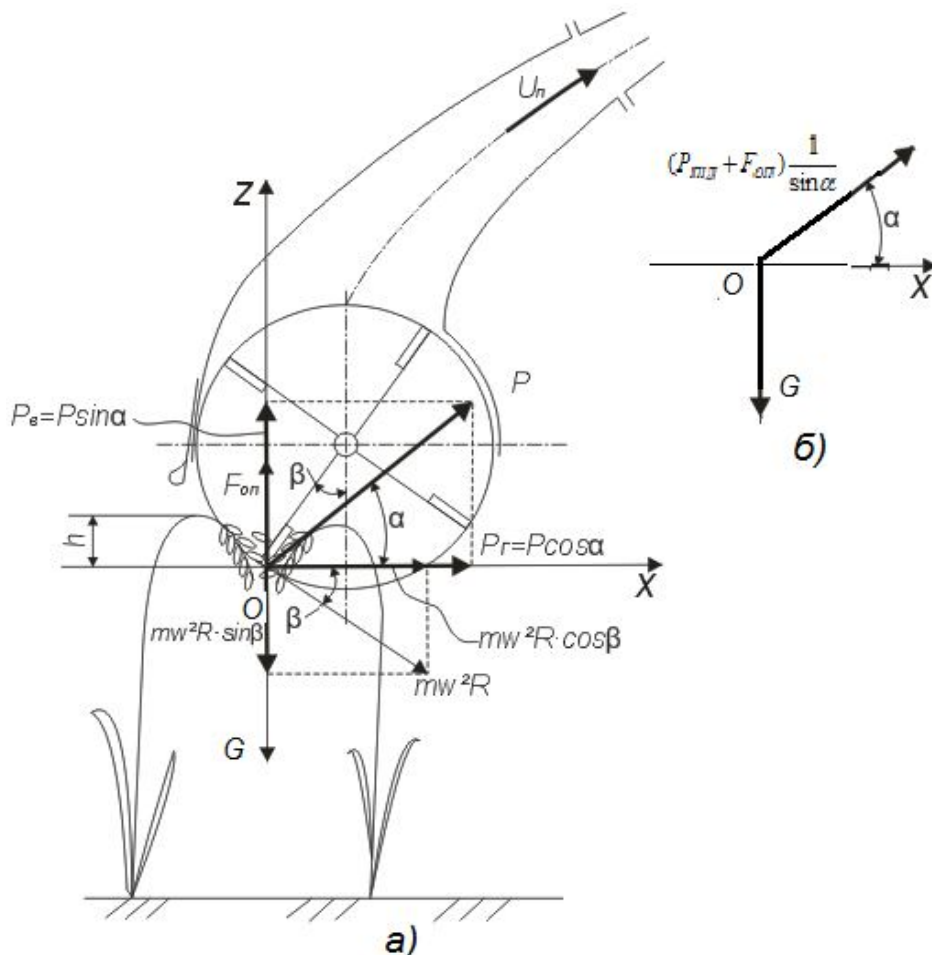


Рис. 2. Схема сил, которые действуют на зерно:
а) в момент удара планки мотвила по колоску;
б) в наклоненном участке пневмопровода

Fig. 2. Chart of forces which operate on grain:
а) in the moment of blow of slat of reel to the ear;
б) in the inclined area of pnevmoprovod

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАНКИ МОТОВИЛА
ИЗ КОЛОСОНОСНЫМ СЛОЕМ

и центробежная сила, которая направлена под углом β к горизонтальной оси ОХ равному углу вхождения лопасти в хлебостой (начало взаимодействия с колоском):

$$J = m \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (2)$$

где: ρ_H – плотность зерна, кг/м³; g – ускорение свободного падения тела, м/с²; V_H – объем зерна, м³; m – масса зерна, кг; ω – угловая скорость вращения мотвила, рад/с; R – радиус мотвила, г.

Разложим центробежную силу J на горизонтальную составляющую:

$$J_B = m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta, \quad (3)$$

и вертикальную:

$$J_G = m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \cos \beta. \quad (4)$$

Из приведенной схемы видно, что вертикальная составляющая силы инерции оказывает влияние на перемещение зерна вниз. Очевидно, что перемещение зерна вверх будет осуществляться под действием подъемной силы (Архимедова сила) [16, 17].

$$P_{пд} = \rho_{п} \cdot g \cdot V_H, \quad (5)$$

где: $\rho_{п}$ – плотность воздуха, кг/м³.

Поскольку зерно имеет определенные размеры, то есть характеризуется парусностью, то при падении оно будет оказывать соответствующее сопротивление. Таким образом на зерно снизу вверх будет действовать еще и сила сопротивления воздуха, которая определяется за известной формулой сопротивления во время обтекания тела [18, 19, 20]:

$$F_{оп} = C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2}, \quad (6)$$

где: C_T – коэффициент сопротивления давления; S – площадь миделевого сечения зерна, м²; U – скорость восходящего потока воздуха, которая удерживает зерно в зависшем состоянии, м/с.

Следовательно, зерно будет находиться в воздушном потоке в равновесии при условии:

$$G + J_B - P_{пд} - F_{оп} = 0.$$

Принимая во внимание что $m = \rho_H \cdot V_H$, то условие равновесия после учета выражений (1), (3) (5) и (6) приобретет вид:

$$\rho_H \cdot g \cdot V_H + \rho_H \cdot V_H \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta - \rho_{п} \cdot g \cdot V_H - C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2} = 0.$$

Последнее выражение после группирования членов можно записать так:

$$V_H [g(\rho_H - \rho_{п}) + \rho_H \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta] - C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2} = 0.$$

Отсюда находим скорость восходящего потока воздуха, при которой выбитое зерно будет оставаться в зависшем состоянии, то есть не будет подниматься вверх и не падать вниз:

$$U = \sqrt{2V_H \frac{g(\rho_H - \rho_{п}) + \rho_H \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta}{C_T \cdot S \cdot \rho_{п}}}. \quad (7)$$

Однако это выражение адекватно описывает скорость витания зерна после его отрыва от колоска, то есть в вертикальном участке пневмопровода, а в другой части – наклоненной под углом α к горизонту, скорость будет другой. Для ее определения будем считать, что все принятые предположения для прямолинейного участка пневмопровода будут справедливы и для наклоненной его части. При этом считаем, что направление равнодействующей P подъемной силы и силы сопротивления воздуха (рис. 2,а) совпадает с направлением воздушного потока, то есть она направлена под углом α к горизонту. Следовательно, зерно в таком случае будет находиться в воздушном потоке в равновесии при условии, что:

$$G + J_B - (P_{пд} + F_{оп}) \frac{1}{\sin \alpha} = 0.$$

Данное условие равновесия после учета выражений (1), (3) (5) и (6) приобретет вид:

$$\rho_H \cdot g \cdot V_H + \rho_H \cdot V_H \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta - (\rho_{п} \cdot g \cdot V_H + C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2}) \frac{1}{\sin \alpha} = 0.$$

После группирования его членов это условие можно записать так:

$$\rho_H \cdot V_H \cdot \sin \alpha (g + \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta) - \rho_{п} \cdot g \cdot V_H - C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2} = 0,$$

или в таком виде:

$$2V_H [\rho_H \cdot \sin \alpha (g + \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta) - \rho_{п} \cdot g] = C_T \cdot S \cdot \rho_{п} U^2.$$

ВЫВОД

Из последнего равенства находим скорость восходящего потока воздуха в наклоненной части, при которой выбитое зерно будет оставаться в зависшем состоянии:

$$U = \sqrt{2V_H \frac{\rho_H \cdot \sin \alpha (g + \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta) - \rho_{II} \cdot g}{C_T \cdot S \cdot \rho_{II}}} \quad (8)$$

В случае же, когда зерно находится в наклоненной части пневмопровода и вне зоны действия планок мотвила, черт. 2б, то условие его равновесия в воздушном потоке будет иметь вид:

$$G - (P_{\text{пщ}} + F_{\text{оп}}) \frac{1}{\sin \alpha} = 0,$$

которое после учета выражений (1), (5) и (6) приобретет вид:

$$\rho_H \cdot g \cdot V_H \sin \alpha - \rho_{II} \cdot g \cdot V_H - C_T \cdot S \cdot \rho_{II} \frac{U^2}{2} = 0.$$

Запишем последнее выражение в таком виде:

$$2g \cdot V_H (\rho_H \cdot \sin \alpha - \rho_{II}) = C_T \cdot S \cdot \rho_{II} \cdot U^2,$$

и из него найдем скорость восходящего потока воздуха в наклоненной части, при которой выбитое зерно будет оставаться в зависшем состоянии:

$$U = \sqrt{2g \cdot V_H \frac{\rho_H \cdot \sin \alpha - \rho_{II}}{C_T \cdot S \cdot \rho_{II}}} \quad (9)$$

Следовательно, можно считать, что проведенный анализ является теоретическими предпосылками для разработки новых рабочих органов зерноуборочного комбайна, предназначенных для пневмоулавливания зерна выбитого планками мотвила, а также и во время подъема полеглых стеблей.

Анализ полученных выражений (7), (8) и (9) показывает, что наибольшее значение скорости воздушного потока дает выражение (7). Это объясняется тем, что зерно после удара планки мотвила по колосу вылетает из него и дальше под действием центробежной силы перемещается в пневмопроводе на встречу воздушному потоку. При этом вертикальная составляющая скорости перемещения зерна зависит от угла вхождения планки мотвила (угол удара), значение которого находится в диапазоне от 90° до 0°. Очевидно, что максимальное значение этого угла может быть не больше 45°.

Для надежного пневмоулавливания зерна выбитого планками мотвила необходимо создавать такой воздушный поток, скорость которого должна быть больше ее критического значения, что определяется за формулой (7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Remeslo V.N., Sayko V.F. 1981: Sortovaji agroteh-nika pshenizi.– K.: Vrozhaj. – 200.
2. Sortovaji 1989: Sortovaji agrotehnika zernovih kultvr / N.A. Fedorova, V.A. Kononjk./ – Vrozhaj. – 328.
3. Homenko M.S., Zirjinov V.F., Nosonov V.A. 1989: Mehanizacij poseva zernovih kultur i trav. Spravozhnik. – Vrozhaj. – 168.
4. Spravozhnik po zernovih kultvrah/ I.M. Karasujk, A.I. Zdorovcov, P.V. Gordijenko. 1991: – Vrozhaj. – 320.
5. Kholoptsev A. 2012: Izmenenija temperatur poverhnostnykh techeniy teplovogo okeanicheskogo konveyyera pri sovemennom poteplinii klimata // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol.14, 1. 104–114.
6. Melnychuk M.D. 2011: Analiz sovremennoho stanu y perspektyv razvytyya Svitovoi ta ukrajinskoji Sonyachnoji enerhetyky // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol.13, V. 5–12.
7. Zolotovckaji E., Mironov A. 2013: Tehnologji resursosberegajchogo nakopleniji vlagi v polevih uslovijih // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol.15, 1V. 62–68.
8. Kompleksna 1991: Kompleksna mehanizac-ziji virobniictva zerna / V.D. Grech-kosiy. D.M. Alimov, V.I. Kiforenko, P.M. Chayika; Za ped. V.D. Grechkosiy. – K.: Vrozhaj, 1991. – 216.
9. Pogorelyi L., Kovalyi V., Jisenechkiy V. 2003: Zernozbiralna tehnika: problemi, alnervativ, prognozi / Gyrmal «Tehnika APK», №7.– 4–7.
10. Alferov C.A., Kaloshin A.I., Ugarov A.D. 1981: Kak rabotaet zernouborochniy combayn. – M.: Mashinostroenie. – 190.
11. Shmat I.K., Sisolin P.V., Samarin O.E., Bondarev E.I. 2009: Menody i principi

proektuvannji Silskogospodarskih mashin i agregativ. Navchalnyi posibnik. – Herson.: «Oldi-plys»,-132.

12. Silskogospodarski 1991: Silskogospodarski mashiny: teoretichni osnovi, konstrukchiji, proektuvannji. Kn.1. Mashin dlji pilnitstva/Sisolin P.V., Salo V.M., Kropivnyi V.M.; Za red. M.I. Chernovola. – K.: Vrozhaj. – 216.

13. Bosoy E.S., Vermeev O.V., Smirnov I.I., Syltan-Shah E.G. 1978: Teoriji i raket silskogospodarskih mashin. – Mashinostroenie. – 568.

14. Shmat K.I., Samarin O.E., Bondarev E.I., Migaliov O.V. 2009: Teoriji i raket ztrnouborochnih combayniv – Herson.: «Oldi-plys».- 256.

16. Smislov V.V. 1979: Gidravlika i aerodinamika: Uchebnik dlji vuzov. – Kiev: Vicha shkola. Golovyoe izdatelstvo. – 336.

17. Kaliczun V.I., Drozdov E.V. Osnovi gidravliki i aerodinamiki. – M.: Stoyiizdat, 1980. – 247.

15. Kravcyuk V.I., Melnik J.F. Mashiny dlji zbirannji zernovih ta tehnichnyh kultur. Doslidnichke:UkrNDIPVT im.L. / Pogorilogo. – 2009. – 296.

18. Loyiczjnskiy L.G. Mthanika zhidkosti i gaza. – M.: Nauka. 1973. – 847.

19. Kutateladze S.S., Starikov M.A. Gidrodinamika gazogitkostnih system. –M.:Energiji, 1976. – 296.

20. Evstifeev V.N. 1989: Truboprovodnyi transport Plastikovih i sipuchih materialov v stroitelstve. – M.: Stroiizdat. – 248.

ANALYSIS OF PROCESS OF CO-OPERATION OF SLAT OF REEL FROM TO CEREALS BY LAYER

Summary. In paper the results of analysis of process of co-operation of slat of reel with a to the cereals layer and analytical dependences are resulted for determination of speed of ascending blast which provides the process of pneumatic catcher grain of the reel knocked out slats in the rectilineal and inclined areas of pneumatic.

Key words: reel, slat, colossus, grain, blow, force, current of air, speed.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕИНЖИНИРИНГА СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Евгений Коноплянченко, Владислав Герасименко, Виталий Колодненко

Сумской национальный аграрный университет

Украина, г. Сумы, ул. ул. Герасима Кондратьева, 160

Evgenie Konopljanchenko, Vladislav Gerasimenko, Vitaly Kolodnenko

Sumy National Agrarian University

Str. Gerasim Kondratyev, 160, Sumy, Ukraine

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы реинжиниринга средств транспорта специального назначения. Изложена методика сохранной разборки их элементной базы с учетом специфики условий эксплуатации и остаточного влияния на окружающую среду.

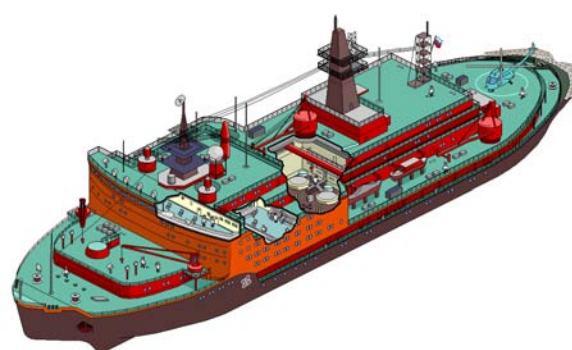
Ключевые слова: ресурс, технология, реинжиниринг, транспорт.

жизненного цикла; определяет обязанности и взаимодействие должностных лиц и подразделений организации по обеспечению безопасности.

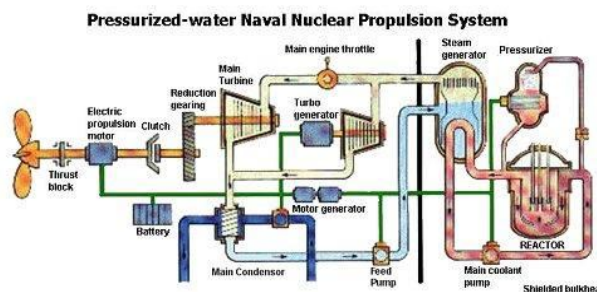
ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основой продовольственного и кормового среди всего разнообразия средств транспорта, в отдельную группу, можно выделить такие средства, к которым предъявляются повышенные требования по безопасности эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту, в силу специфических особенностей их конструкции и функционального назначения. Представителем таких средств является морской транспорт с ядерными силовыми установками (рис. 1).

Безопасность ядерных установок требует системной организации работ. Для безопасности эксплуатации такого рода оборудования существует масса нормативной документации, такой как стандарт организации СТО СМК-117-2009 «Обеспечение безопасности ядерных установок», который: отражает приверженность организации требованиям культуры безопасности; распространяется на сотрудников (специалистов), осуществляющих разработку всех типов ядерных установок, находящихся в компетенции организации; формирует систему мер по комплексному решению вопросов безопасности создаваемых и эксплуатируемых установок; устанавливает требования к организации и содержанию работ, связанных с обеспечением безопасности ядерных установок и их составных частей для всех этапов



а)



б)

Рис. 1. Схема расположения (а) и схема работы (б) корабельной ядерной установки

Fig. 1. Arrangement scheme (a) and the work scheme (б) ship nuclear installation

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На этапе ремонта и модернизации таких изделий возникает необходимость их разборки до вышедшей из строя детали (рис. 1).

Известно, что полная разборка оборудования при ремонте или модернизации – одна из нежелательных операций, так как даже при самой квалифицированной сохранной разборке нарушаются сопряжение прирабо-

таных деталей и нормальный натяг в пазах с неподвижными посадками [1, 4, 7]. Часть деталей при разборке повреждается (ломаются приливы, лапки, фланцы, сбиваются грани болтов, гаек, разрушаются шплинты, заклепки и т. п.). Агрегаты и детали, не требующие ремонта, вообще не рекомендуется снимать с оборудования из-за возможного снижения работоспособности машин в целом. Поэтому перед разборкой оборудования важно определить объективную потребность выполнения работ [1, 3, 5].

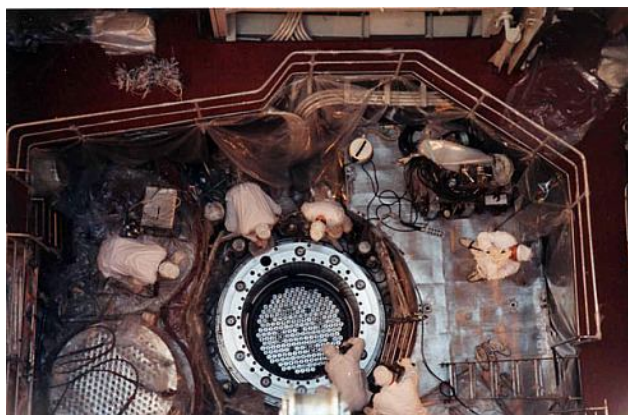


Рис. 2. Процесс ремонта ядерного реактора корабельной установки

Fig. 2. Process of repair of nuclear reactor of ship installation

Однако вопросы, касающиеся непосредственного применения пневмоподъема павшего стеблестоя и пневмоувливания зерна выбиваемого планками мотвила комбайна, в литературных источниках не освещались. А поэтому отсутствие теоретического обоснования процесса пневмоулавливания зерна не способствует и разработке эффективных технических решений для его реализации.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является проведение анализа процесса ресурсосберегающей технологии реинжиниринга средств транспорта специального назначения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В реальных условиях эксплуатации оборудования может меняться не только тип соединения входящих в него деталей, но и степень их воздействия на окружающую среду

(химическая, радиологическая опасность и т.д.), что непременно приводит к изменению набора задействованных при разборке методов [6, 10, 12].

Поиску оптимальной последовательности разборки посвящен ряд концепций таких как [3, 11]: Диаграмма последовательности сборки, которая позволяет выполнить анализ на возможность/невозможность присоединения детали на этапе узловой сборки; И/ИЛИ граф, устанавливающий условия предшествования между деталями; Граф связи, который описывает взаимосвязь и ограничение на перемещение сопрягаемых деталей; Неориентированный граф препятствий, определяющий природу блокирования перемещений деталей, используя понятие разбиения графа; Концепция геометрических ограничений, учитывающая простоту разборки. Кроме этого широкое применение для формализации генерации последовательностей разборки и сборки вызвало их представление в виде сетей Петри [13]. Основная проблема вышеуказанных подходов состоит в том, что они ориентированы только на геометрические объекты без учета технологической специфики их разборки.

С этой целью предлагается адаптировать метод сохранной разборки, получивший название «Распространение Волны Разборки», суть которого состоит в определении последовательности частичной разборки минимизированной по количеству отделяемых от изделия элементов, для специфических условий эксплуатации оборудования [8, 15-17, 19].

Данным подходом решаются две задачи:

- построение волны разборки, для определения топологии доступа к детали до которой необходимо выполнить разборку;
- определение точек пересечения волн разборки для формирования множества вариантов последовательности разборки изделия.

В общем случае в процессе разборки изделия рассматриваются два вопроса – полная и выборочная (частичная) разборка. Проиллюстрируем оба варианта при помощи геометрической модели (рис. 3).

При этом сама геометрическая модель сборочной единицы или изделия (*A*), является совокупностью деталей (компонентов) (*C*)

входящих в множество последовательностей разборки (S) [19, 20].

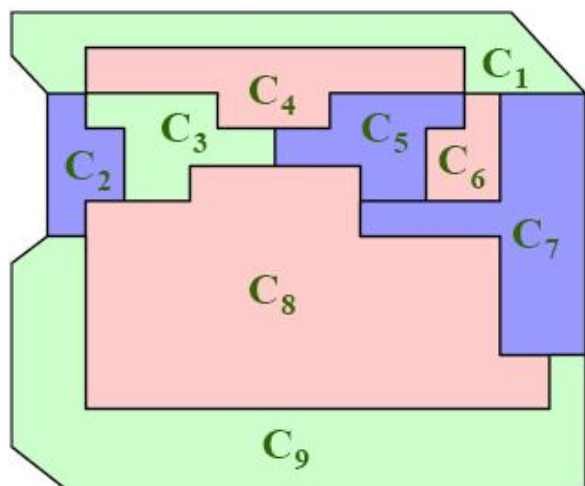


Рис. 3. Модель изделия для иллюстрации процесса разборки

Fig. 3. Model of product for illustration of process of dismantling

В случае полной разборки (CD) все детали изделия A содержатся в последовательности S . Для примера, представленного на рис. 3 данная последовательность описывается выражением:

$$S = \{C_9, C_7, C_1, C_2, C_8, C_6, C_4, C_3, C_5\}.$$

В случае частичной разборки (SD) процесс выполняется только до необходимой детали или их совокупности. Например, для совокупности целевых деталей $C = \{C_3, C_5\}$ (рис. 1) одним из вариантов разборки может быть последовательность $S = \{C_1, C_4, C_3, C_5\}$.

Однако при необходимости доступа к одной или n деталям в изделии A возникает вопрос минимизации отделяемых деталей т.е. вопрос поиска оптимальной последовательности разборки (OS).

Решения проблемы частичной разборки (SD) методом «Распространение волны» (WP) происходит согласно алгоритму автоматизированного поиска варианта последовательности S частичной разборки SD , который учитывает m – количество деталей C до которых необходимо выполнить разборку в изделии A состоящего из n – элементов.

Данный алгоритм выполняет обработку для двух условий частичной разборки:

1. SD до одной детали – определяемой как $Single\ SD$ ($m = 1$),

2. SD до m – деталей ($1 < m < n$) – определяемой как $Multiple\ SD$.

При этом целевым элементом ($target\ component - C_x$) является деталь до которой необходимо выполнить разборку.

Детальными первой «волны» являются детали имеющие сопряжения (поверхность контакта) с целью.

Во вторую волну входят детали имеющие поверхности сопряжения с деталями первого круга, и т.д. до «граничных» элементов ($boundary\ component - C_b$), находящихся на поверхности изделия.

Рис. 4 иллюстрирует распространение волны разборки от элемента C_x .

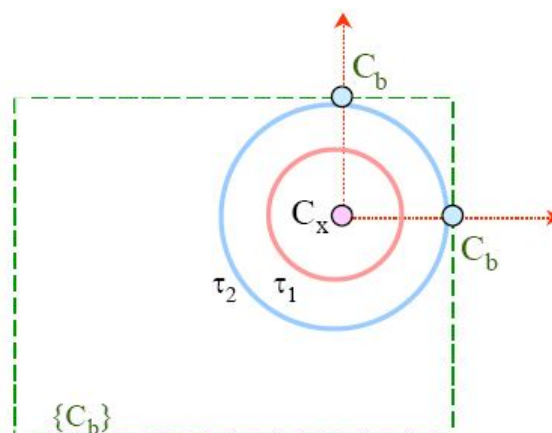


Рис. 4. Распространения волн разборки

Fig. 4. Distributions of waves of dismantling

Пример применения волн разборки приведен на рис. 5, где целевым компонентом является $C_x = C_{16}$. Для демонтажа элемента C_{16} – необходимо удалить элемент C_{17} в волне τ_1 , а C_{17} демонтировать после удаления элемента C_{18} в волне τ_2 [14,15].

Таким образом формируется последовательность $S = \{C_{18}, C_{17}, C_{16}\}$.

Также может существовать альтернативная последовательность $S = \{C_4, C_{10}, C_{16}\}$.

Используя данный метод в этом конкретном примере анализу подвергаются всего 13 элементов, что значительно меньше общего количества компонентов ($n = 42$) в изделии.

Кроме этого, при анализе возможности разборки, данный метод учитывает различные виды геометрических ограничений на перемещение элементов (винты, болты, заклепки и т.д.).

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕИНЖИНИРИНГА
СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈
C ₁₉	C ₂₀	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄
C ₂₅	C ₂₆	C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉	C ₃₀
C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅	C ₃₆
C ₃₇	C ₃₈	C ₃₉	C ₄₀	C ₄₁	C ₄₂

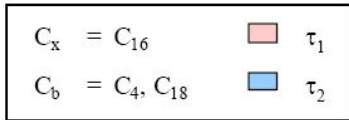


Рис. 5. Элементы разбираемого изделия
Fig. 5. Elements of an assorted product

Волны разборки представляются в виде графа степени удаленности, узлы которого соответствуют деталям в волне разборки, а дуги – степени удаленности между деталями. Рисунок 6 иллюстрирует τ и β – распространение волн, где τ_a – волна определяет множество деталей в a-том фронте волны из всей совокупности C_x, а β_a – волна определяет количество граничных или удаляемых деталей из сборочной единицы или изделия A.

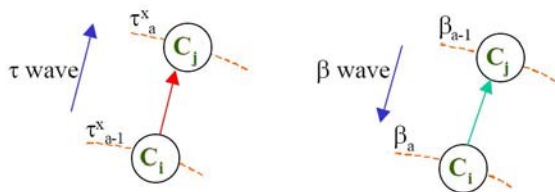


Рис. 6. Граф распространения τ и β волн разборки

Fig. 6. Count of distribution τ and β dismantling waves

На графе τ – волна от C_i до C_j компонента изделия, представленных в графе как C_i → C_j, подразумевает, что C_i компонент будет демонтирован только после удаления компонента C_j. При этом β – волна от C_i ∈ β_{a-1} до C_i ∈ β_a, представленная в графе как C_i → C_j обозначает, что C_i компонент перейдет в статус граничного после демонтажа всех компонентов C_j.

Математическое описание события «пересечения τ и β волн» представляется как:

для любого m (1 ≤ m ≤ s) пересечение τ – волны (τ^{x1}, τ^{x2}, ..., τ^{xm}, где C_{x1}, C_{x2}, ..., C_{xm} ∈ C) и β – волны в C_w ∈ A, подразумевая, что C_w ∈ τ^{x1}, τ^{x2}, ..., τ^{xm}, β.

Процедура пересечения волн определяет минимально необходимое количество отсединяемых элементов. Допустим C_i \xrightarrow{P} C_j обозначает минимальнокомпонентную последовательность разборки от C_i до C_j. Тогда каждое пересечение τ – волны (τ^{x1}, τ^{x2}, ..., τ^{xm}), для m > 0 определяется как:

$$S = \left\{ \begin{array}{l} C_b \xrightarrow{P} C_w, C_w \xrightarrow{P} C_{x1}, \\ C_w \xrightarrow{P} C_{x2}, \dots, C_w \xrightarrow{P} C_{xm} \end{array} \right\},$$

для C' = {C_{x1}, C_{x1}, ..., C_{xm}} ⊆ C и C_w ∈ A. Суть процедуры сводится к поиску компонента в котором пересекаются волны, что позволяет формировать оптимальную, с точки зрения минимизации количества отделяемых компонентов последовательность.

Адаптация вышеприведенного метода состоит в формализации процесса разборки изделий с учетом влияния, как условий эксплуатации на изделие, так и учета степени влияния остаточных негативных эксплуатационных факторов в изделии на окружающую среду [9].

Изделие, с точки зрения технологии разборки представляется совокупностью видов соединений входящих в него деталей. При этом период эксплуатации изделия представляется как функция E = f(t, u, v), зависящая от ряда факторов: t – времени эксплуатации; u – условий эксплуатации; v – степени остаточного воздействия на окружающую среду. Фактор времени – за длительное время эксплуатации деталей даже в нормальных условиях происходит изменение вида соединения, связанное например, с износом пар трения, изменения физических свойств деталей находящихся в контакте (пересыхание резиновых уплотнений, намагничивание поверхности контакта и т.д) [2,5]. Фактор условий эксплуатации – воздействие агрессивной среды, запыленность рабочей зоны, термовоздействие, тяжелые нагрузки, эксплуатация в условиях жесткого излучения (повышенная радиация), и др. виды зараже-

ния. Фактор степени остаточного воздействия на окружающую среду – определяет степень последствий воздействия неблагоприятных условий эксплуатации на изделие в целом, и входящие в него детали в частности (взрывоопасность, остаточная радиационное излучение, биологическая опасность и т.д.). Все вышеуказанные факторы оказывают влияние, по отдельности и в своей совокупности, не только на трансформацию видов соединений, но и на генерацию последовательности частичной разборки изделий до вышедшей из стоя детали. Кроме того, выбор производственных условий на ремонтном предприятии и средств технологического оснащения также зависит от комбинации их влияния [4, 7].

Так как задача выбора технологий разборки является инвариантной, т.е. реализуемой различными методами или их комбинацией, на первом этапе направленного выбора формируем матрицу достижимости решения задачи $R = [r_i]$, которая определяется следующим образом:

$$r_i = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } P_0 \text{ достижима из } P_i \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases},$$

где: P_0 – решение задачи; P_i – элемент решения.

Таким образом происходит отсев всех вариантов, которые не позволяют достичь необходимые требования (тупиковые варианты). Возможные варианты реализации задачи частичной разборки представляем в виде графа (рис. 7).

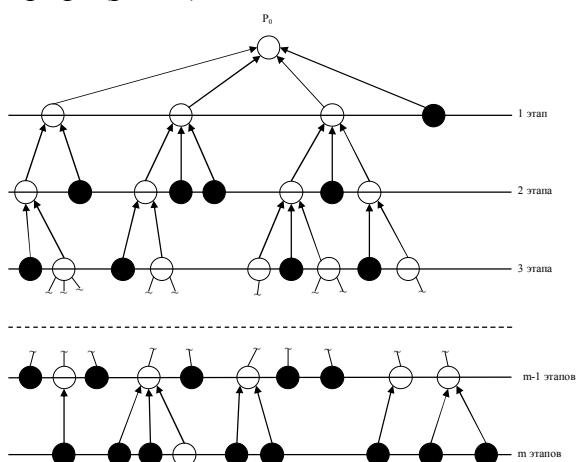


Рис. 7. Граф реализации задачи (дерево решений)

Fig. 7. Count of realisation of problem (tree of decisions)

Граф является ориентированным, вершина которого P_0 является решением задачи, уровни графа соответствуют этапам решения, т.е. количеству задействованных методов из возможных «m» вариантов комбинаций. Узлы графа – методы достижения необходимых требований. Ребра графа – технологии, позволяющие реализовать методы. В графе имеются висячие вершины – нижний уровень разбиения задачи.

Граф строится согласно матрицы достижимости R , в которой множество вершин $R(P_i)$ графа достижимых из вершин P_0 состоит из таких элементов P_i , для которых i -й элемент в матрице равен 1.

В этом случае математическая модель процедуры направленного выбора технологий реинжиниринга представляется в виде гиперкуба, набор плоскостей которого соответствует методам разборки, а сами плоскости представляют собой матрицы средств технологического оснащения и соответствующих им технологических режимов.

Данная модель позволяет построить матрицу смежности методов $A = [a_{i,j}]$ (рис. 8), которая определяется следующим образом:

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если существует связь между методами } (M_i, M_j), \\ 0, & \text{если связи нет.} \end{cases}$$

Матрица имеет размерность $n \times n$ по числу анализируемых методов.

Заполнение матрицы происходит построчно. Согласно графа реализации задач (рис. 7) строка матрицы соответствует набору методов, а столбец определяет сложность решения задачи (количество этапов).

Множество решений данной задачи на качественном уровне описывается уравнением (необходимое условие):

$$\forall_{\psi \in \Psi} R_{\psi} = \{R \mid \gamma_R^{\min} \leq \gamma_R \leq \gamma_R^{\max}\},$$

т.е. для всех существующих вариантов решения задачи (совокупности технологий) заложенные критерии по качеству процесса должны находиться в области допустимых значений $\lambda_{P_0}^{\min} \leq \lambda_{P_0} \leq \lambda_{P_0}^{\max}$, по прогнозированию вероятности бездефектной разборки ответственных изделий, по обеспечению заданной точности, герметичности и т.п.

A =	0	0	0	1	0	...	0	1
	0	0	1	0	0	...	0	2
	1	0	0	0	0	...	0	3
	0	0	0	0	1	...	0	4
	0	0	0	0	0	...	1	5

0	1	0	0	0	...	0	n	
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	...	M _n	

Рис. 8. Матрица смежности методов разборки
Fig. 8. Matrix of contiguity of methods of dismantling

Кроме того, одним из приоритетных критериев является экологическая безопасность доступа к деталям, которые работают в условиях опасных для человека и/или окружающей среды.

Решением задачи на технологическом уровне (достаточное условие):

$$\exists_{\xi \in \theta} R_{\xi} = \bigcap_{\psi=1}^{\chi} R_{\psi} \vee \exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi} \vee \exists_{\zeta=1}^{\lambda} STO_{\zeta} \vee \exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon},$$

где: $\exists_{\xi \in \theta} R_{\xi}$ – существующий вариант решения задачи; $\bigcap_{\psi=1}^{\chi} R_{\psi}$ – совокупность вариантов решения задачи, удовлетворяющих необходимому условию; $\exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi}$ – наличие методов решения задачи для каждого варианта; $\exists_{\zeta=1}^{\lambda} STO_{\zeta}$ – наличие средств технологического оснащения, способных реализовать необходимые методы; $\exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon}$ – наличие необходимых технологических режимов для средств технологического оснащения под каждый метод.

В этом случае из технологических себестоимостей вариантов решения задачи удовлетворяющего необходимому и достаточному условию формируется множество, согласно выражения [6,7]:

$$\{C_{P_0}\} = \bigcup_{k \in X} \{C_{P_0}(k) \mid \begin{array}{l} \exists_{\xi \in \theta} R_{\xi} = \bigcap_{\psi=1}^{\chi} R_{\psi} \vee \exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi} \vee \exists_{\zeta=1}^{\lambda} STO_{\zeta} \vee \exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon}, \\ \forall_{\psi \in \Psi} R_{\psi} = \{R \mid \gamma_R^{\min} \leq \gamma_R \leq \gamma_R^{\max}\} \end{array} \}$$

Оптимизационная задача по экономическим критериям (минимуму технологической

себестоимости) тогда представляется выражением:

$$P_0^{opt} = \lim_{C_{mex} \rightarrow \min} P_0 \mid C_{mex} \in \{C_{P_0}\}.$$

ВЫВОДЫ

Основная идея приведенной в работе концепции заключается в разработке методологии системного подхода к проектированию высокоэффективных технологических систем, применяемых при реконструкции, модернизации и восстановлении работоспособности технических средств и объектов материального производства в машиностроении.

Практическое применение предлагаемого подхода позволит повысить качество и безопасность процесса ремонта и модернизации такой сложной техники, как средства транспорта специального назначения, а внедрение формализованной методики в условиях реального производства позволит повысить уровень и эффективность использования имеющихся средств технологического оснащения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borisov Yu.S. 1978: Organizatsiya remonta i tehničeskogo obsluzhivaniya oborudovaniya. M.: Mashinostroenie. – 359.
2. Zaharov N.V., Konoplyanchenko E.V. 2006: Prikladnoe primenenie teorii vremennykh tehnologičeskikh tsepey v protsessah sborki izdelij// Sborka v mashinostroenii i priborostroenii, M.: Mashinostroenie. – 9(74). – 3–11.

3. Ivahnenko A.G., Oleynik A.V. 2003: Generatsiya posledovatelnostey razborki izdeliy dlya povtornogo ispolzovaniya i pererabotki//Modelirovanie sistem. – 1(5). – 33–40.
4. Konoplyanchenko E.K. 2009: Voprosu obespecheniya kachestva remonta oborudovaniya napravlenным vyiborom tehnologii ego razborki// VI Konferencija Naukovo-Techniczna TERO-TECHNOLOGIA 2009 Targi-Kielce, 29-30 – Wrzesnia (Polsha). – 188–195.
5. Konoplyanchenko E. 2010: Osobennosti primene-niya teorii vremennyih tsepey na etape reno-vatsii promyshlennogo oborudovaniya /Konoplyanchenko E., Kolodnenko V.// Naukova konferencija IV LETNIA SZKOŁA INŻYNIERIIPOWIERZCHNI Kielce, 7-8.10.2010 (Poland) – 41–46.
6. Konoplyanchenko E.V. 2013: Obespechenie kache-stva reinzhiniringa slozhnoy tehniki vned-reniem resursosberegayuschih CALS-tehnologiy v remontnom proizvodstve/ Konoplyanchenko E.V., Gerasimenko V.A., Kolodnenko V.N.// VIsnik HNTUSG. Tehnichnyi servis mashin dlya roslinnitstva – Harkiv: HNTUSG. – Vip. 134 – 80–86.
7. Konoplyanchenko E.V. 2010: Obespechenie resur-sosberezheniya slozhnoy tehniki na etape remonta napravlenным vyiborom tehnologii ee razborki/ Konoplyanchenko E.V. // VIsnik HNTUSG. Problemi nadlynosti mashin ta zasobiv mehanizatsiyi silskogospodarskogo virobnitstva. – Harkiv: HNTUSG. – Vip. 100 – 317–321.
8. Konoplyanchenko E.V. 2010: Primenenie metoda «rasprostranyayuscheysya volnyi» v prikladnyih zadachah optimizatsii chastichnoy razborki otvetstvennyih izdeliy mashinostroeniya/ Konoplyanchenko E.V., Gerasimenko V.A., Kolodnenko V.N.//VIsnik HNTUSG. Problemi tehlichnoyi ekspluatatsiyi mashin. Sistemotehnika I tehnologiyi ilsovogo kompleksu – Harkiv: HNTUSG. – Vip. 94 – 123–129.
9. Konoplyanchenko E.V., Radchuk O.V., Kolodnenko V.N. 2009: Problemyi formalizatsii posle-dovatelnosti razborki izdeliy pri ih vos-tanovlenii, remonte i modernizatsii// VIsnik HNTUSG. Tehnichnyi servis APK, tehnik ta tehnologiyi u silskogospodars-komu mashinobuduvanni. – Harkiv: HNTUSG. – Vip. 77 – 122–127.
10. Konoplyanchenko E.V. 2010: Obespeche-nie kachestva protsessa renovatsii mashin vnedreniem resursosberegayuschih tehnologiy ih razbor-ki / Konoplyanchenko E.V., Kolodnenko V.N. // VIsnik Sumskogo natsionalnogo agrarnogo unIversitetu, Vip. 2(22), – 15–19.
11. Beasley, D., and Martin, R.R., 1993: “Dis-assembly sequences for objects built from unit cubes,” *Journal of Computer Aided Design*, Vol. 25, no. 12, – 751–761.
12. Boothroyd, G., and Alting, L., 1992: “De-sign for assembly and disassembly,” *CIRP Annals*, Vol. 42, no. 2, – 625–636.
13. C.A. Lakos, 1995: From Coloured Petri Nets to Object Petri Nets, Spring Veerlag, Vol. 935. – 124–132.
14. Gadh, R. and Srinivasan, H., 2000: “As-sembly and disassembly sequences of compo-nents in computerized multi-component assem-bly models,” *U.S. Software Utility Patent*, P99152US.
15. Gupta S.M. 1996: Disassembly of Products/ Gupta S. M., McLean C. R. // *Computers and Industrial Engineering*. – Vol.31(1) – 225–228.
16. Kuo T.C., Zhang H.C., Huang S.H., 2000: Disassembly analysis for electromechanical products: a graph based heuristic approach, *International Journal of Production research*, vol. 38, №.5 – 201–208.
17. Lee, Young Q., Kumara Soundar R.T., 1992: “Individual and Group Disassembly Se-quence Generation Through Freedom and Inter-ference Spaces”, *J. of Design and Manufactur-ing*, 143–154.
18. Penev, K.D., and Ron, A.J., 1996: “Deter-mination of a disassembly strategy,” *Interna-tional Journal of Production Research*, Vol. 34, no. 2, – 495–506.
19. Srinivasan, H., Figueroa, R., and Gadh, R., 1999: “Selective disassembly for virtual proto-typing as applied to de-manufacturing,” *Journal of Robotics and Computer Integrated Manufactur-ing*, Vol. 15, No. 3. – 231–245.
20. Xu, Y., Mattikalli, R., and Khosla, P., 1995: “Generation of partial medial axis for disassem-bly motion planning,” *Journal of Design and Manufacturing*, Vol. 5, no. 2. – 89–102.
21. Kholoptsev A. 2012: Izmeneniya temperatur poverhnostnykh techeniy teplovogo okeani-cheskogo konveyera pri sovemennom poteplinii klimata // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol.14, 1. 104–114.

22. Melnychuk M.D. 2011: Analiz sovremenno-ho stanu y perspektyv razvytyya Svitovoi ta ukrajinskoji Sonyachnoji enerhetyky // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol.13, V. – 5–12.

**SPECIAL PURPOSE TRANSPORT
SAFE RESOURCE REENGINEERING
TECHNOLOGIES**

Summary. In paper questions of special purpose transport reengineering are considered. The technique of their element base safe disassembly in view of service conditions specificity and residual influence on an environment is stated.

Key words: resource, technology, reengineering, transport.

ПЕРИОДИЧНОСТЬ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Валерий Дубровин¹, Евгениуш Красовски², Константин Держан¹, Иван Роговский¹

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

²*Польская академия наук*

Польша, г. Люблин, ул. Велкопольская, 62

Valeriy Dubrovin¹, Eugeniusz Krasowski², Konstantin Derzan¹, Ivan Rogovskii¹

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

²*Polish Academy of Sciences*

Str. Wielkopolska, 62, 20-725 Lublin, Poland

Аннотация. В работе рассмотрены системы массового обслуживания с переменными во времени характеристиками. Исследована многолинейная система массового обслуживания типа с наличием у комбайнов времени восстановления. Для указанной системы найдены переходные и предельные вероятности, математическое ожидание интервалов времени между событиями потока требований, наблюдается, и на его основании предложена оценка пропускной способности системы по методу моментов.

Ключевые слова: система массового обслуживания, Марковский процесс, распределение, факторы.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для исследования многих процессов, происходящих в природе (процессы рождения и гибели, процессы распада и регенерации), технике (технологические процессы, различные виды конвейеров), организации производства (потоки транспорта, техническое обслуживание, ремонт) широко используются результаты теории массового обслуживания. Поэтому изучение указанных процессов, в частности, построение такой модели системы массового обслуживания (СМО), которая достаточно точно описывала реальную систему, является важной задачей с точки зрения приложений.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Общая теория массового обслуживания была разработана в научных трудах [1-10].

В работе исследуются системы массового обслуживания с переменными во времени характеристиками, соответствует прикладным задачам.

Подчеркнем, что к настоящему времени в этом направлении были получены отдельные разрозненные результаты. В этой связи можно упомянуть работы [11-20].

Многие задачи, возникающие при исследовании технических, экономических, биологических и других процессов, связанных с изучением потоков событий различной природы.

Такие задачи возникают при исследовании потоков информации, циркулирующей в технических системах. В реальных системах эти потоки, как правило, являются нестационарными, потому что их интенсивность меняется со временем. Часто бывает так, что некоторое событие потока может вызвать ситуацию, когда последующие события становятся недоступными для наблюдения. К таким случаям можно отнести наличие отказов при эксплуатации сельскохозяйственных машин. То есть когда полезная информация не фиксируется, поскольку оказывается недоступной для наблюдения. С такими явлениями приходится иметь при исследовании кормоуборочных комбайнов, как сложных технических систем, например, через нейронные сети.

Из изложенного следует, что эффективное функционирование систем массового обслуживания и управления ею (подключение, резервирование, изменение программы получения данных об отказах, изменение интенсивности входного потока информации

ПЕРИОДИЧНОСТЬ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КОРМОУБОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

об отказах) требует знания интенсивностей потоков отказов, поступающих на вход этих систем, и их колебания во времени. Поэтому оценка текущей интенсивности потока требований является актуальной технической проблемой.

Изменение параметров системы может происходить вследствие многих причин (изменение характеристик среды, в которой функционирует система, износ работающих механизмов, изменение интенсивности потока отказов). Факторы, действующие на СМО, в ряде случаев могут существенно влиять на работу таких систем, а иногда приводить к их разбалансировке и вывода из ошибочного результата.

Поэтому актуальным является исследование поведения СМО, находящихся под действием таких факторов. Задачи, связанные со случайными возмущениями стохастических систем, рассматривались в работах А.Д. Вентцеля, И.И. Ежова, В.С. Королука, А.Ф. Турбина.

Иногда приходится иметь дело с такими СМО, в которых изменение их основных характеристик может приводить к адекватному результату.

Важнейшей задачей теории случайных процессов и ее применений является нахождение условий, при выполнении которых наблюдается стабилизация изучаемого процесса.

В связи с этим возникает задача о выборе такой модели процесса, которая достаточно точно описывала реальную систему периодичности технического обслуживания кормоуборочных комбайнов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является разработка методов для исследования динамики поведения технических систем массового обслуживания в случае, когда характеристики этих систем изменяются во времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являются системы массового обслуживания с переменными во времени характеристиками, анализ которых проводится с помощью дифференциаль-

ных уравнений Колмогорова. Предметом исследования являются математические модели систем массового обслуживания с параметрами, изменяющимися во времени, и условия их стабилизации.

СМО, с которыми приходится иметь дело на практике, подвергаются внешним воздействиям, что, как правило, меняются со временем. В работе основное внимание уделено исследованию указанных СМО. Построение математических моделей, которые бы достаточно точно описывали указанные реальные процессы, и их анализ является одной из основных целей диссертации.

Нахождение условий, при выполнении которых имеет место стабилизация процесса, также является основной задачей исследования конкретной технической системы, наделенного Марковским свойством. Поэтому одной из задач проведенных в данной работе исследований является построение математической модели процесса с характеристиками, изменяющихся во времени, и нахождение условий его стабилизации.

Исследуется многоканальная система массового обслуживания с отказами типа $M/M/n/0$, то есть система массового обслуживания с n однотипными обслуживающими комбайнами и отсутствующим очередью. В систему поступает пуассоновский поток заявок интенсивности λ , обслуживание на каждом комбайне экспоненциальное с параметром μ . Если хотя бы один комбайн свободен, то заявка, поступившая сразу же начинает обслуживаться этим исполнителем. Если же все исполнители заняты θ , то она покидает систему без обслуживания. Считается, что после каждого поступления заявки входящего потока на комбайн обслуживания возникает некоторое время восстановления комбайна, в течение которого заявки входящего потока не наблюдаются. Рассматривается случай, когда время восстановления комбайна – величина постоянная для каждого комбайна, и предполагается, что заявки, которые поступают в систему в течение этого времени, не вызывают его продолжение. Под состоянием исследуемой системы в момент времени t понимать число работающих в данный момент комбайнов. Состояния исследуемой системы рассматриваются сразу

после поступления заявок на обслуживающие комбайны t_1, t_2, \dots, t_N , то есть только в моменты времени. Через i обозначено число работающих комбайнов в момент t_i . Величины i образуют цепь Маркова. В работе были найдены переходные вероятности для состояний $1 \leq i \leq n$:

$$p_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } j > i+1, \\ \frac{\rho}{\rho+1}, & \text{якщо } j = i+1, \\ \frac{\rho}{j-1+\nu} \cdot \left(\prod_{k=j}^i \frac{k}{k+\rho} \right), & \text{якщо } 1 \leq j \leq i, \\ p_{n-1,j}, & \text{якщо } i = n, \end{cases}$$

где: $\rho = \lambda / \mu$ – пропускная способность системы.

Доказано, что предельные вероятности состояний системы выражаются формулами Эрланга:

$$p_i^* = \frac{\rho^{i-1}}{(i-1)!} / \sum_{s=0}^{n-1} \frac{\rho^s}{s!}.$$

Построено оценку пропускной способности ρ системы. Эту оценку получено с помощью метода моментов. Для этого найдена асимптотическая дисперсия этой оценки:

$$N \cdot D\{\tilde{\rho}\} = N \cdot M\{\Delta\rho^2\} = \frac{N \cdot \mu^2 D\{B\}}{[f'_n(\rho)]^2}.$$

здесь

$$f'_n(\rho) = \frac{p_{n-1}^* - p_n^*(1 - p_n^*)}{n} - \frac{1}{\rho^2},$$

$$N \cdot \mu^2 D\{B\} \sim \frac{1}{\rho^2} + \frac{p_n^*(2 - p_n^*)}{n^2} + \frac{p_n^*}{n^2} (q_{nn} - 1).$$

Знание $N \cdot D\{\tilde{\rho}\}$ позволяет находить доверительные интервалы для $\tilde{\rho}$ – пропускной способности системы. Если $\tilde{\rho}$ есть асимптотически нормальной, то верное равенство:

$$\rho = \tilde{\rho} \pm g_\alpha \frac{\sqrt{N \cdot D\{\tilde{\rho}\}}}{\sqrt{N}}.$$

Описанный выше метод построения оценки входящего потока требований обобщен на случай входного потока с параметром $\lambda(t)$, зависящим от времени, и интенсивностью обработки требований μ , одинаковой для всех n каналов, при обслуживании требований в порядке поступления.

Часто имеет место случай, когда интенсивность входного потока испытывает быстрых изменений (осцилляций) во времени. При этом возникают ситуации, когда при приближении к некоторого фиксированного момента времени t_0 элементы инфинитезимального матрицы, описывающей процесс, испытывают быстрых осцилляций во времени. В этом случае при выполнении некоторых условий имеют место фокусировки или σ – фокусировки процесса. В первом из этих случаев за конечный промежуток времени, независимо от начального распределения, вероятности состояний процесса приобретают заданных значений, во втором случае вероятности состояний локализируются вблизи некоторых значений.

Изучен характер изменений вероятностей состояний СМО под влиянием быстро меняющихся во времени факторов. Попрежнему под состоянием СМО понимается число комбайнов.

Пусть n – число всех состояний СМО; $p_{ij}(s, t)$ – вероятности перехода с i в j за промежуток $[s, t]$; $p_j(s, t)$ – вероятность того, что система находится в момент времени t в состоянии j , в предположении, что ее эволюция началась в момент s .

Обозначим через $\Lambda(t) = \|\lambda_{ij}(t)\|$ инфинитезимального матрицу, определяет процесс, который происходит в СМО. Система дифференциальных уравнений (уравнений Колмогорова), описывающая эволюцию вероятностей состояний СМО, имеет вид:

$$p'_j(s, t) = \sum_{k=1}^n p_k(s, t) \lambda_{kj}(t), \quad (j = \overline{1, n}),$$

или в векторной форме:

$$\vec{p}'(s, t) = \vec{p}(s, t) \Lambda(t).$$

Здесь $\vec{p}(s, t) = (p_1(s, t), \dots, p_n(s, t))$, $p_i(s, t)$ ($i = \overline{1, n}$) – вероятность того, что процесс, который начался в момент s , в момент времени t находится в состоянии i .

Подчеркнем, что результаты численных экспериментов могут быть строго обоснованы. Было установлено, что каковы бы ни были начальное распределение вероятностей $\vec{p}(s_0)$, заданный в момент $t = s_0$, и числа

($\varepsilon_i, \varepsilon_i > 0, i = \overline{1, n}$), вариации элементов $\lambda_{ij}(t)$ матрицы $\Lambda(t)$ на $[s_0, t_0)$ можно выбрать так, что при всех $t \in [s_0 + \delta, t_0]$ выполнены условия:

$$|\varphi_i(t) - p_i(t)| < \varepsilon_i, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Для СМО типа $M/M/n/0$ было исследовано поведение вектора распределения вероятностей $\vec{p}(s_0, t)$ при изменении t на $[0, 1]$. Проведен следующий вычислительный эксперимент.

На $[0, 1]$ было взято n точек t_i ($i = 1, 2, \dots, n$). В моменты времени t_i элементы инфинитезимального матрицы процесса подвергались возмущений. Число n точек, в которых матрица подвергалась возмущений, было выбрано настолько большим, чтобы влиянием фоновой матрицы на процесс можно было пренебречь.

Численный эксперимент показал, что при соответствующем выборе возмущений в точках t_i на $[s_0 + \delta, t_0]$ будет иметь место (1). Были рассмотрены различные случаи расположения точек t_i на $[0, 1]$. На рис. 1-3 показано поведение одной из компонент вектора распределения вероятностей на $[0, 1]$.

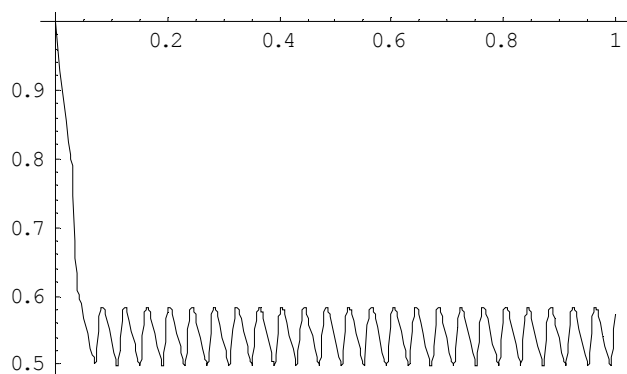


Рис. 1. График первой компоненты вектора распределения (число возмущений $n = 25$)

Fig. 1. Schedule the first component of distribution (number of disturbances $n = 25$)

На рис. 1 приведен график изменения одной из компонент вектора $\vec{p}(s_0, t)$ при равномерном распределении точек t_i на $[0, 1]$; на рис. 2 изображен график одной из компонент вектора распределения для случая, ко-

гда точки t_i сгущаются соответственно вблизи точек $t = 0.3, t = 0.6, t = 0.9$; на рис. 3 показаны результаты численного анализа для одной из компонент в случае, когда элементы инфинитезимального матрицы испытывают возмущений в моменты времени, расположены на $[0, 1]$ случайным образом: предполагалось, что возмущения с номером i распределена на отрезке $\left[\frac{i}{n}, 1\right]$ равномерно.

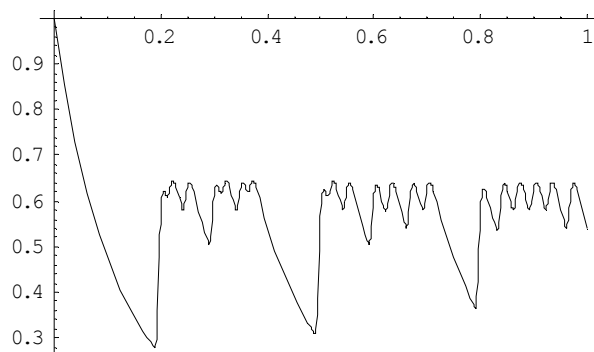


Рис. 2. График первой компоненты вектора распределения (число возмущений и три точки сгущения $t = 0,3, t = 0,6$ и $t = 1$)

Fig. 2. Schedule the first component of distribution (number of disturbances and three cluster points $t = 0,3, t = 0,6$, and $t = 1$)

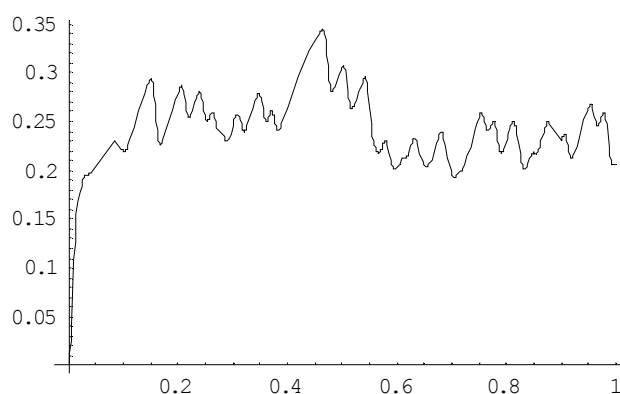


Рис. 3. График второй компоненты вектора распределения (число возмущений $n = 40$)

Fig. 3. Schedule second components of distribution (number of disturbances $n=40$)

Проведен численный анализ для случая, когда параметры системы (число комбайнов, их производительность, число заявок, циркулирующих в системе) изменяются во времени.

Для указанной СМО проведены исследования для таких случаев:

1. Характеристики всех комбайнов одинаковые, но в течение промежутка времени, исследуется, их число изменяется (увеличивается или уменьшается). Динамика поведения такой системы показана на графике (рис. 4). Из него видно, что перед изменением числа комбайнов в момент $t = 7$ процесс стабилизируется. Изменение числа комбайнов при $t = 7$ увеличила стабильность работы системы. Если работа СМО до какого-то момента τ стабилизировалась, то после изменения числа комбайнов в момент τ эта стабилизация будет нарушена. При этом, если при $t > \tau$ на систему влияют стабилизирующие факторы и изменение числа комбайнов время не происходит, то система через некоторое время попадает в зону стабильного режима. Стабильный режим будет действовать до тех пор, пока на СМО не начнут действовать какие-либо дестабилизирующие факторы. К ним, в частности, относится изменение числа комбайнов.

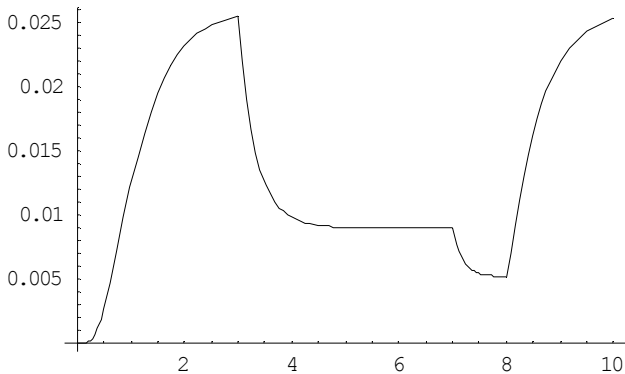


Рис. 4. График первой компоненты вектора распределения вероятностей
Fig. 4. Graph the first component of probability distribution

2. Интенсивности обработки требований μ_i ($i = 1, \dots, n$), входящих в СМО, разные. Построена математическая модель для этой системы в предположении, что ТО работает в определенном порядке (в порядке их нумерации): если заявка, поступившая в систему, застаёт k исполнителя занятыми (работают 1-й, 2-й, ..., k -й исполнители), то она будет обслуживаться $(k + 1)$ -им исполнителем. Для случая, когда в системе находятся n исполнителей, обслуживающих m заявок,

инфинитезимального матрица процесса имеет вид:

$$\begin{aligned} & [-m\lambda]_{1,1}, [m\lambda]_{1,2}; \\ & [\mu_1]_{2,1}, [-(m-1)\lambda + \mu_1]_{2,2}, [(m-1)\lambda]_{2,3}; \\ & \left[\sum_{i=1}^2 \mu_i \right]_{3,2}, \left[-((m-2)\lambda + \sum_{i=1}^2 \mu_i) \right]_{3,3}; \\ & [(m-2)\lambda]_{3,4}; \\ & \left[\sum_{i=1}^n \mu_i \right]_{n+1,n}, \left[-((m-n)\lambda + \sum_{i=1}^n \mu_i) \right]_{n+1,n+1}; \\ & [(m-n)\lambda]_{n+1,n+2}; \\ & \left[\sum_{i=1}^n \mu_i \right]_{n+m,n+m-1}, \left[-\sum_{i=1}^n \mu_i \right]_{n+m,n+m}. \end{aligned}$$

Поскольку указанная матрица сильно разрежена, для ее записи использована сокращенная форма: да запись $[(m-1)\lambda]_{2,3}$ означает, что элемент матрицы a_{23} равен $(m-1)\lambda$. Не выписаны элементы матрицы равны нулю.

Рассмотрен случай, когда часть исполнителей, входящих в СМО, обрабатывают заявки значительно быстрее, чем другие ее исполнители. Сделан численный анализ такой СМО. Из полученных данных следует: чем выше производительность исполнителей, которые вводятся в эксплуатацию, скорости обработки заявок которым значительно превосходят скорости обработки требований другими исполнителями, тем быстрее происходит стабилизация процесса.

3. Рассмотрен случай, когда характеристики всех комбайнов одинаковые, но интенсивность потока заявок, поступающих в систему, быстро меняется во времени. Проведен численный анализ, с помощью которого установлена связь между числом работающих исполнителей и характером изменения во времени интенсивности входного потока требований. Установлено, что стабилизация исследуемой СМО зависит от числа осциллирующей интенсивности потока требований в единицу времени.

4. Число требований, циркулирующие в системе, меняется с течением времени. Эта задача решается с помощью дифференциальных уравнений Колмогорова, описывающих работу СМО с числом уравнений, меняется. На рис. 5,а и рис. 5,б изображены графики поведения системы для частных интер-

**ПЕРИОДИЧНОСТЬ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
КОРМОУБОЧНЫХ КОМБАЙНОВ**

валов, на которых число требований в системе изменяется, соответственно $[t_i, t_{i+1}] = 0,1$ и $[t_i, t_{i+1}] = 2$.

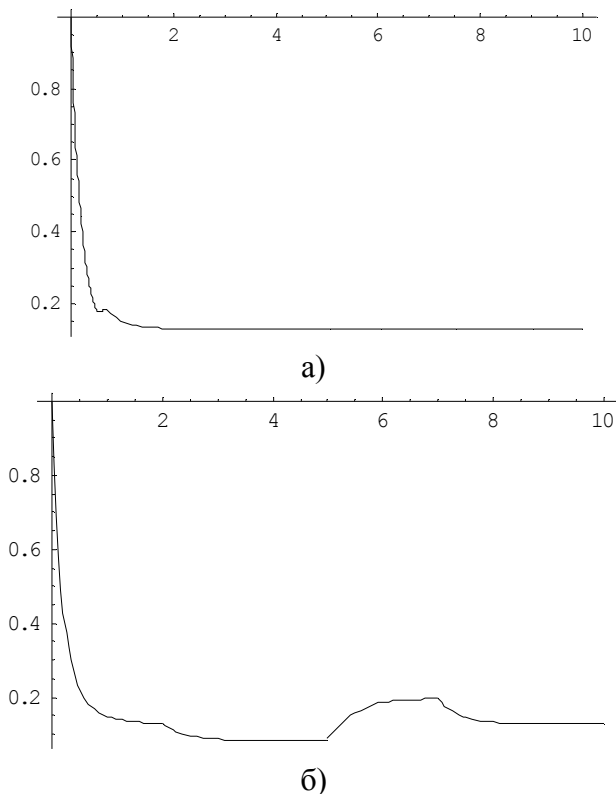


Рис. 5. Графики первой компоненты вектора распределения вероятностей
Fig. 5. Graphs first component of probability distribution

Результаты вычислительного эксперимента показали, что чем меньше промежутки времени, на которых происходят изменения числа требований, которые циркулируют в системе, тем стабильнее ее работа.

В таких СМО вероятности состояний системы можно вычислить, решая систему дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda(t)p_0(t) + \mu(t)\sum_{k=1}^n p_k(t), \\ \frac{dp_k}{dt} = -[\lambda(t) + \mu(t)]p_k(t) + \lambda(t)p_{k-1}(t), \quad 1 \leq k \leq n-1, \\ \frac{dp_n}{dt} = -\mu(t)p_n(t) + \lambda(t)p_{n-1}(t). \end{cases} \quad (2)$$

где: $\lambda(t)$ – интенсивность входного потока, $\mu(t)$ – интенсивность обслуживания требований.

Инфинитезимальная матрица системы (2) содержит столбец, все элементы которого

отличны от нуля. Предполагается, что на исследуемом промежутке времени $[s_0, t_0)$ все или часть элементов системы (2) под влиянием определенных внешних факторов быстро изменяются во времени. Проведен численный анализ такой СМО. Установлено, что для любого $t \in [s_0 + \delta, t_0]$ найдется возмущения $\delta\Lambda(t)$ такое, что в некоторой окрестности $o(t)$ точки t вектор решений возмущенной системы $\vec{p}(s, t) + \delta\vec{p}(s, t)$ будет удовлетворять (1). Из рис. 6 видно, что при большом количестве осцилляций входного потока требований, распределенных на малых промежутках времени с $[s_0, t_0)$, распределение исследуемой СМО стабилизируется (попадает ε -окрестность некоторой векторной кривой) за малый промежуток времени.

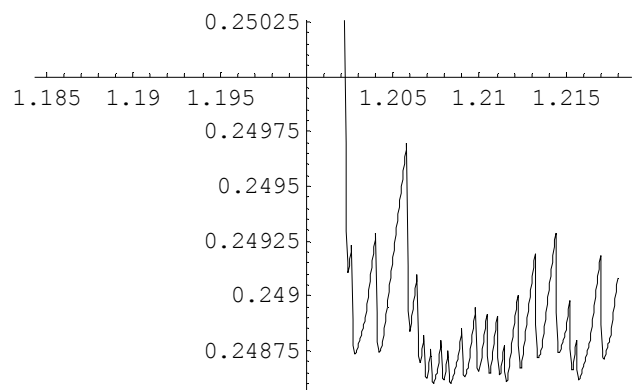


Рис. 6. График первой компоненты вектора распределения вероятностей
Fig. 6. Schedule the first component of probability distribution

Подчеркнем, что указанные осцилляции можно выбрать так, чтобы стабилизация СМО была реализована как угодно малый промежуток времени.

Построена математическая модель СМО с накопителями требований: проведены расчеты для случаев, когда объемы накопителей меняются с течением времени. Предполагается, что в начальный момент времени накопители имели разные объемы. Указанный случай исследован с помощью уравнений Колмогорова с переменным числом уравнений. Стабилизация процесса наблюдается только на частичных промежутках времени $[t_i, t_{i+1}]$, на которых количество уравнений

не изменяется. Построена модель СМО, содержащий несколько накопителей различного объема. Предполагалось, что исполнитель обращается по заявкам к N накопителям. Интенсивность обращения к накопителю с номером i ($i=1, 2, \dots, N$) равна λ_i . Длительность обслуживания исполнителем заявок из i -го накопителя – величина случайная, распределенная по показательному закону с параметром $\mu_i = \frac{1}{t_i}$, где t_i – среднее время

обслуживания заявок из i -го накопителя. При этом в системе вводится приоритет для заявок каждого накопителя, по которому предоставляется право первоочередного обслуживания заявкам с накопителя, имеет меньший номер. То есть, если в момент поступления заявок из накопителя исполнитель обслуживает заявки из j -го накопителя, причем $j < i$, то требования по i -го накопителя замещаются поступившими заявками.

Нужно так организовать работу системы и выбрать последовательность приоритетов (пронумеровать накопители), чтобы в установленном режиме максимизировать суммарную ценность всех полностью выполненных заявок в единицу времени, то есть максимизировать выражение:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \pi_i,$$

где: π_i – вероятность полного обслуживания информации с i -го накопителя.

Поскольку заявки с каждого накопителя имеют одинаковую ценность, поэтому безразлично, из какого накопителя будут обслуживаться заявки, главное, чтобы вероятность полного обслуживания была максимальной. Система дифференциальных уравнений Колмогорова, описывающих вероятности состояний системы, запишется в виде:

$$\begin{cases} p_0' = -\sum_{i=1}^N \lambda_i p_0(t) + \sum_{i=1}^N \mu_i p_i(t), \\ p_k' = -(\lambda_k + \mu_k) p_k(t) + \lambda_k p_0(t) + \lambda_k \sum_{i=k+1}^N p_i(t), \\ p_N' = -(\lambda_N + \mu_N) p_N(t) + \lambda_N p_0(t), \end{cases}$$

где: $p_0(t)$ – вероятность того, что исполнитель свободен от обслуживания в момент

времени t ; $p_i(t)$ – вероятность того, что исполнитель в момент времени t занят обслуживанием заявок из i -го накопителя.

Задачи, подобные описанной, возникающих при обработке информации, когда управляющая программа осуществляет выбор порядка обслуживания информации.

Установлено, что независимо от интенсивностей обращения к накопителям право первоочередного обслуживания должна предоставляться заявкам с того накопителя, время обслуживания которых меньше (или интенсивность обслуживания больше). В этом случае количество выполненных требований за определенный промежуток времени будет максимальной.

Рассмотрен случай, когда на исследуемом отрезке интенсивность обращений к накопителю с первым номером испытывает быстрых изменений во времени. В этом случае инфинитезимального матрица, описывающая процесс, содержит столбец типа j_0 . Численные расчеты показали, что при достаточной скорости осцилляции интенсивности обращений к накопителю с первым номером стабильность работы системы не нарушается.

ВЫВОД

Работы, касающиеся идентификации систем массового обслуживания (оценки интенсивности входящего потока заявок по наблюдениям над функционированием СМО), в основном посвящены оценке параметров СМО по наблюдениям над исходным потоком заявок. Поэтому предложенный в работе метод идентификации СМО типа $M/M/n/0$, в котором есть время восстановления, по наблюдениям за моментами поступления требований на обслуживающие комбайны является новым. Кроме того, для данной системы найдены переходные и предельные вероятности количества работающих комбайнов, математическое ожидания продолжительности частичных интервалов между событиями потока требований, наблюдается, оценка пропускной способности системы и асимптотическая дисперсия этой оценки. Разработанный метод может использоваться для построения оценки ин-

тенсивности входящего потока по наблюдениям за моментами поступления требований на техническое обслуживание кормоуборочных комбайнов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anatoliy Boyko. 2011: Teoreticheskiye issledovaniya nadezhnosti kukuruzoborochnoy tekhniki pri ispolzovanii rezervirovaniya / Anatoliy Boyko, Oleksandr Bondarenko, Kostyantyn Dumenko // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Vol. 13A. – 131–138.
2. Boyko A.I. 2011: Issledovaniye nadezhnosti kukuruzoborochnykh mashin pri ikh sta-renii, neizmennoy baze tekhnicheskogo obsluzhivaniya i ispolzovaniya passivnogo rezervirovaniya / A.I. Boyko, A.V. Bondarenko // Obshchegosudarstvennyy mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskiiy sbornik KNTU, – Kirovograd. - Vypusk 41, chast 1. – 154–161.
3. Boyko A.I. 2013: Matematichne modelyuvannya sistemi «lyudina-mashina» pri nakopichenni vidmov/ A.I. Boyko, A.V. Novitskiy // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Kharkiv, KhNTUSG. – Vip. 134. – 75–79.
4. Boyko A.I. 2011: Stokhasticheskoye modelirovaniye raboty pnevmomekhanicheskaya vysevayushchego apparata / A.I. Boyko, A.A. Bannyi // Nauchnyy vestnik NAU, seriya «Tekhnika i energetika APK» – K. – Vypusk 166, chast 1. – 112–118.
5. Boyko A.I. 2010: Ustanovleniye funktsii vosstanovleniya podsistem zernoborochnykh kombaynov v usloviyakh razvitiya sfery tekhnicheskogo obsluzhivaniya / A.I. Boyko, K.N. Dumenko // Vestnik LNAU. Agroinzhenernogo issledovaniya – Lvov. – T.1, № 14. – 12–20.
6. Boyko A.I. 2011: Vpliv operatora na nadiynist sistem «lyudina-mashinaseredovishche» (na prikladi zasobiv dlya prigotuvannya i rozdavannya kormiv) / A.I. Boyko, A.V. Novitskiy, Z.V. Ruzhilo, A.Z. Ruzhilo // KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Kharkiv, KhNTUSG. – Vip. 114. – 103–108.
7. Boyko A.I. 2012: Problemi zabezpechennya nadiynosti suchasnoi skladnoi silskogospodarskoi tekhniki / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko // Visnik Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki. – Vinnitsya. – Vipusk 11 (66). – 307–311.
8. Venttsel Ye.S. 1972: Issledovaniye operatsiy / Ye.S. Venttsel. – M.: Sovetskoye radio. – 552.
9. Golinkevich T.A. 1976: Prikladnaya teoriya nadezhnosti / T.A. Golinkevich. – M. Vysshaya shkola. – 160.
10. Gumenyuk V.M. 2010: Nadezhnost i diagnostika elektrotekhnicheskikh sistem: Ucheb. posobiye dlya vuzov / V.M. Gumenyuk. – Vladivostok: Izd-vo Dalnevost. gos. tekhn. un-ta. – 218.
11. Dzherald Sandler. 1966: Tekhnika nadezhnosti sistem / S. Dzherald; per. s angl. A.L. Raykina // Seriya «Teoreticheskiye osnovy tekhnicheskoy kibernetiki». – M., «Mir». – 300.
12. Druzhinin G.V. 1977: Nadezhnost avtomatizirovannykh sistem / G.V. Druzhinin. Izd. 3-e pererab. i dop. - M., «Energiya». – 536.
13. Lekhman S.D. 2011: Metodologiya doslidzhennya nebezpechnykh protsesiv pri funktsionuvanni yergativnykh sistem agrarnogo virobnitstva / S.D. Lekhman, M.V. Panfilova // Tekhnika ta yenergetika APK: zbirnik naukovykh prats NUBiPU. – K.: NUBiPU. – Vip. 166, ch. 1. – S. 294–301.
14. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem: Spravochnik. 1985: / Yu.K. Belyayev, V.A. Bogatirev, V.V. Bolotin i dr.; pod red. I.A. Ushakova. – M.: radio i svyaz. – 608.
15. Nechiporenko V.I. 1977: Strukturnyy analiz sistem (effektivnosti i nadezhnosti) / V.I. Nechiporenko. – M.: «Sovetskoye radio». – 211.
16. Raynshke K. 1979: Modeli nadezhnosti i chuvstvitelnosti sistem / K. Raynshke; per. s nem. B.A. Kozlova. – M., «Mir». – 454.
17. Rogovskiy I. 2012: Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa mekhanizmov selskokhozyaystvennykh mashin \ I. Rogovskiy, O. Dubrovina // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin – Rzeszuw, Vol. 14 – No 3, 200-205.
18. Rogovskiy I.L. 2011: Vpliv pokaznikov nadiynosti na periodichnist tekhnichnogo obslugovuvannya silskogospodarskikh mashin / I.L. Rogovskiy // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 13B. – 92–97.
19. Ushakov A.I. 2008: Kurs teorii nadezhnosti sistem / A.I. Ushakov // M., DROFA. – 239.

20. Gennadiy Golub, Oleg Marus. 2011: Optimizatsiya parametriv mashin ta obladnannya // Motrol Motoryzacja i energetyka rolnictwa – Tom 13 B – Lublin. – 15–17.

FREQUENCY SYSTEM MAINTENANCE FORAGE HARVESTING COMBINES

Summary. The paper is devoted to mass service systems with fast variable in time characteristics. The $M / M / n / 0$ many linear mass service system with renewal time of devices was investigated. Transition and limiting probabilities, average of distribution of times intervals between events of the observed stream of demands are founded for mentioned system. The estimation of capacity of system by method of moments is proposed.

Key words: system of mass of service, Markowski process, distribution, factors.

СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Иван Роговский

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Ivan Rogovskii

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Работа посвящена развитию методов выявления и анализа периодичностей в виде периодически коррелированных случайных процессов с целью их применения в системах восстановления работоспособности сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: периодичность, дисперсия оценки, система.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Повторяемость и стохастичность – характерные особенности данных работоспособности, которые являются носителями информации во многих технических системах.

Так, данные об отказах является результатом взаимодействия механизмов циклического действия в присутствии стохастических событий.

В технических системах обследование сельскохозяйственных машин рациональный периодический процесс восстановления работоспособности зависит от событий разного происхождения.

В системах поиска и выявления мест отказов сельскохозяйственных машин параметры измеренного периодического потока восстановления работоспособности испытывают стохастические изменения.

Приведенные примеры, отнюдь неисчерпаемые, поэтому подчеркивают важность существования единой методологии анализа данных о потери работоспособности, которые наделены чертами повторяемости и стохастичности, то есть скрытыми периодичностями.

Такая методология может быть разработана на основании общей концепции описания, выявления и анализа последних, что основывается на математических моделях в виде периодически коррелированных случайных процессов (далее – ПКСП).

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Все интенсивнее модели ПКСП, основы теории которых применяют в геофизике, климатологии, метеорологии, гидрологии, медицине, биологии, океанологии, энергетике, телекоммуникации, техническом обслуживании [1-6]. Разработанные на основе ПКСП методы обработки данных о восстановлении работоспособности технических систем дают возможность оценить новые их свойства, которые несут важную информацию о состоянии динамических систем, которые их генерируют, и эти свойства могут быть использованы для контроля состояния последних и их прогнозирования [7–12].

Необходимым условием для оценивания вероятностных характеристик ПКСП есть знания его периода корреляции при анализе потери работоспособности сельскохозяйственных машин, например, величина периода во многих случаях может быть очерчена на основании технических характеристик рабочего процесса эксплуатации, а также параметров технического состояния узлов, механизмов или агрегатов. Однако, точность такого предоставления периода не удовлетворяет требования стохастической обработки реализаций ПКСП. К тому же величина периода может быть прогностическим параметром. Как показали предыдущие исследования [13–21], нужны методы оценивания периода корреляции могут быть созданы на основе анализа временной побеглости оценок характеристик первого и второго порядка. С помощью функционалов, которые используются при таком определении, однозначно решается и задача оценивания вероятностных характеристик, которые описывают периодические изменения работоспо-

способности сельскохозяйственных машин. Такие функционалы имеют определенные селективные свойства, которые значительно усиливаются с ростом количества периодов, которые исследуются. Поэтому их целесообразно использовать также для определения параметров восстановления работоспособности известной формы, которые наблюдаются на фоне параметров отказов. Подобная задача возникает, например, при разработке определенного типа поисковых систем.

Таким образом, актуальными есть исследования методов выявления и анализа периодичностей восстановления работоспособности сельскохозяйственных машин, что описываются моделями в виде ПКСП, с целью обоснования параметров статистической обработки данных в технических системах, а также определение наиболее устойчивых параметров в прогностических системах, принципы работы которых основаны на методах ПКСП.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследования методов оценивания характеристик периодичностей, что описываются математическими моделями в виде ПКСП, для определения параметров и улучшения устойчивости измерительных технических систем, которые используются при восстановлении работоспособности сельскохозяйственных машин, как технических объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одной из моделей было представление скрытой периодичности в виде периодической функции, которая наблюдается в потоке отказов. Для ее выявления был предложен ряд линейных селективных преобразований, которые осуществляют селекцию периодических компонент. Одними из наиболее эффективных сред их есть так называемая схема Буй-Балло, что основывается на усреднении значений процесса через пробный период, и преобразование Фурье, в котором вместо неизвестного периода тоже используется пробная величина, а также разные модификации таких преобразований. При этом подходе предполагалась, что временной ряд яв-

ляется последовательностью значений периодической функции, незначительно зависящей от стохастических флюктуаций. При росте потока отказов сельскохозяйственных машин необходимо переходить к стохастическим методам обработки, которые основываются на вероятностных моделях периодичностей. Последние сводятся к поиску достоверных пиковых значений оценок плотности потока восстановления работоспособности машин. Однако, такие пиковые значения не всегда могут быть трактованы однозначно. Да и периодические свойства восстановления работоспособности необязательно проявляются в наличии пиков плотности. Поэтому естественным есть переход к анализу периодичностей на основе моделей в виде ПКСП – класса нестационарных случайных процессов, математическое ожидание $m(t)=Eo(t)$ и корреляционная функция $b(t,u)=Eo^0(t)o^0(u)$, $o^0(t)=o(t)-m(t)$, которых являются периодическими функциями времени: $m(t+T)=m(t)$, $b(t+T,u)=b(t,u)$. При таком подходе скрытая периодичность подается как сумма стохастично промодулированных за амплитудой и фазой гармоничных составляющих кратной частоты:

$$\xi(t) = \sum_{l \in Z} \xi_l(t) e^{i l \omega_0 t}, \quad (1)$$

где: $\xi_l(t)$ – стационарно связанные случайные процессы, а $\omega_0=2\pi/T$, T – период.

Модель в виде ПКСП естественно объединяет и развивает детерминистический и вероятностный подходы к изучению периодичностей, как частные случаи она содержит в себе полигармоничную, аддитивную, мультипликативную, аддитивно-мультипликативную и другие модели, которые используют для описания взаимодействия повторяемости и стохастичности. Задача выявления периодичностей в рамках модели ПКСП сводится к выявлению периодических изменений во времени вероятностных характеристик и оценивания величин, которые описывают такие изменения. При этом она формулируется как в сроках математического ожидания, так и корреляционной функции, которая разделяет поиск периода регулярных периодических событий и периода повторяемости корреляционных связей, в том числе и периоде изменений мощности флюктуаций. Ос-

новными методами оценивания периода есть когерентный и компонентный. Первый основывается на статистическом усреднении данных через пробный период, а второй – на косинусных и синусных преобразованиях, в которых вместо истинного значения периода тоже используется некоторая пробная величина. Компонентный метод при быстром затухании корреляционных связей потока отказов есть более эффективным.

Статистики первого порядка имеют вид:

$$\hat{m}_1^c(\tau) = \frac{1}{\theta} \int_{-\theta}^{\theta} \xi(t) \cos l \frac{2\pi}{\tau} t dt,$$

$$\hat{m}_1^s(\tau) = \frac{1}{\theta} \int_{-\theta}^{\theta} \xi(t) \sin l \frac{2\pi}{\tau} t dt, \quad (2)$$

$$\hat{m}_1(\tau) = \hat{m}_1^c(\tau) \cos l \omega_\tau t + \hat{m}_1^s(\tau) \sin l \omega_\tau t, \quad (3)$$

где: θ – длина отрезка реализации, l – номер гармоники, s – сдвиг, τ – пробный период.

Корреляционные и ковариационные преобразования формируются подобно. В первом случае реализация $\xi(t)$ заменяет на произведение:

$$[\xi(t) - \hat{m}(t)][\xi(t+u) - \hat{m}(t+u)],$$

где:

$$\hat{m}(t) = \sum_{l=-N_1}^{N_1} \hat{m}_l(T) e^{i l \frac{2\pi}{T} t},$$

– оценка математического ожидания, а во втором – на $\xi(t) \hat{m}(t+u)$.

Регулярные составу таких функционалов принимают экстремальные значения в точках u_i , которые с ростом длины u быстро совпадают к значению периода T . Среднеквадратичные значения флуктуационных составляющих при условии, что корреляционная функция потока восстановления с ростом сдвига затухает, то есть $\lim_{|u| \rightarrow \infty} b(t, u) = 0$,

направляются к нулю при увеличении u . Эти свойства вероятностных характеристик функционалов является основанием для того, чтобы оценки периода коррелированности ПКСП определять как точки их экстремальных значений. Исследование свойств таких оценок периода \hat{T} может быть проведено на основе решений соответствующих нелинейных уравнений, которые выражают необходимые условия существования экстремальных значений. Решения этих уравнений находятся с помощью метода малого параметра, который введен как отношения корня

квадратного к среднеквадратичному значению флуктуационной составляющей функционалов к ним регулярной составляющей.

Смещение и дисперсии оценок направляются к нулю при $u > \theta$, то есть определенные таким способом оценки периода есть асимптотично несмещенными и благоприятными. С использованием представлений математического ожидания и корреляционной функции в виде рядов Фурье:

$$m(t) = m_0 + \sum_{l \in \mathbb{N}} (m_1^c \cos l \omega_0 t + m_1^s \sin l \omega_0 t),$$

$$b(t, u) = B_0(u) + \sum_{l \in \mathbb{N}} (B_1^c(u) \cos l \omega_0 t + B_1^s(u) \sin l \omega_0 t),$$

формулы для смещение приведено к простым выражениям, которые имеют вид интегральных косинусных и синусных преобразований соответствующих корреляционных компонентов. Дисперсия оценки периода полученной, например, с использованием статистики $\hat{m}_1^c(\tau)$, имеет вид:

$$D[\hat{T}] = \frac{12\pi^2}{l^2 \omega_0^4 \theta^3 (m_1^c)^2} \int_0^{2\theta} \left[2B_0(u) \cos l \omega_0 u - B_{21}^c(u) \cos l \omega_0 u + B_{21}^s(u) \sin l \omega_0 u \right] du. \quad (4)$$

Корреляционные компоненты ПКСП, как вытекает из представления (1), определяются авто- и взаимно-корреляционными функциями его стационарных компонентов $\xi_j(t)$. Задавая эти компоненты, приходим к конкретным моделям ПКСП – аддитивной, мультипликативной, квадратурной. Для этих моделей проанализирована зависимость смещения и дисперсии от параметров модулирующих процессов $\xi_j(t)$. Так, дисперсия (4) оценки периода сигнала $\xi(t) = c(t) \cos(\omega t)$ с характеристиками:

$$m_3 = E z(t) \quad i$$

$$R_3(u) = E z^0(t) z^0(t+u) = D e^{-\beta P u} \quad \text{равняется:}$$

$$D[\hat{T}] = \frac{3\alpha D}{4\pi \omega_0 N^3 m_n^2 (\alpha^2 + 4\omega_0^2)},$$

где: N – количество периодов отрезка реализации, которая обрабатывается. Основными параметрами потока восстановления работоспособности, которые определяют величину дисперсии, есть отношения мощностей потока и регулярной составной, а также скорость изменения корреляционных связей. Нужно подчеркнуть высокую эффективность анализируемых методов. Дисперсии оценок периодов, как вытекает из полученных выраже-

ний, есть обратно пропорциональными к N^3 .

Статистические свойства оценок периода, полученных с помощью покомпонентных статистик, которые сформированы в виде гармоничных составляющих (3), зависят от времени t . Для тех моментов времени, которые принадлежат к области минимальных значений составляющих, и смещение, и дисперсия оценок есть непомерно большими, поэтому применение покомпонентных преобразований для таких t есть вообще невозможным. Но для тех значений времени, которые отвечают экстремумам составляющих, эффективность оценок периода возрастает, и этот рост определяется отношением амплитуд гармоник согласно амплитуды косинусной и синусной составляющих.

Увеличение погрешности оценивания с уменьшением потока восстановления работоспособности к флуктуации, очевидно, можно компенсировать увеличением длины отрезка реализации u . Но при $m_1^c \rightarrow 0$ и $m_1^s \rightarrow 0$ дисперсии оценок периода, полученных с помощью преобразований (2) и (3), неограниченно возрастают, а это значит, что оценивание периода таким способом становится невозможным. Для его нахождения тогда приемлемыми есть корреляционные функционалы.

Дисперсия оценки периода гаусового потока восстановления работоспособности, полученной с помощью косинусного корреляционного преобразования, определяется формулой, подобно к (4):

$$D[\hat{T}] = \frac{12\pi^2}{l^2\omega_0^4\theta^3[B_1^c(u)]^2} \int_0^{2\theta} \left[\begin{array}{l} 2\tilde{B}_0(u_1, u) \cos l\omega_0 u_1 - \\ -\tilde{B}_{21}^c(u_1, u) \cos l\omega_0 u_1 + \\ +\tilde{B}_{21}^s(u_1, u) \sin l\omega_0 u_1 \end{array} \right] du_1, \quad (5)$$

при этом $\tilde{B}_0(u_1, u)$ и $\tilde{B}_{21}^{c,s}(u_1, u)$ – корреляционные компоненты процесса $z(t, u) = E o^0(t) o^0(t+u)$. Меньшие значения дисперсия (5) принимает для малых сдвигов. При $u=0$ она есть наименьшей. Для мультипликативной модели $o(t) = z(t) \cos(\omega t)$ эта величина, как вытекает из выражения:

$$D[\hat{T}] = \frac{3}{8\pi\omega_0 N^3} [4 C_l(b, u) + C_l(2b, u)],$$

где: $C_l(b, u) = b[\bar{b}^2 + (l\omega_0)^2]^{-1}$, не зависит от дисперсии потока отказов, а определяется только скоростью уменьшения корреляцион-

ных связей.

Если периодически сменными во времени есть как математическое ожидание, так и корреляционная функция потока восстановления, то эффективность оценивания можно улучшить за счет использования ковариационных преобразований. Для дисперсии оценки периода сигнала $o(t) = z(t) \cos(\omega t)$, найденной с помощью косинусного преобразования, тогда имеем:

$$D[\hat{T}] = \frac{3D}{8\pi\omega_0 N^3} [D[4C_2(2b, u) + C_2(2b, u)] + 2m^2[4C_2(2b, u) + C_2(2b, u)]]$$

Если корреляционные связи уменьшаются медленно, так что $(\omega_0/b) \gg I$, то:

$$D[\hat{T}] = \frac{3D}{4\pi\omega_0 N^3 (D + m^2)}.$$

При $m=0$ это выражение совпадает с дисперсией оценки, полученной за корреляционным функционалом. Уменьшение дисперсии при использовании ковариационного метода определяет отношение $D/(D+m^2)$.

Выведенные в разделе формулы дают возможность оценить достоверность статистической обработки. На основе их создано программное обеспечение для вычисления характеристик качества оценок периода отдельных типов ПКСП и получено их конкретные числовые значения, которые представлены в виде таблиц и графических зависимостей. Задав значение параметров потока восстановления работоспособности сельскохозяйственной машины, можно вычислить среднеквадратичную погрешность оценивания периода, а также, исходя из них допустимой величины, рекомендовать соответствующую длину отрезка реализации.

Дискретные оценки периода находятся с помощью преобразований, которые являются соответствующими интегральными суммами:

$$\hat{m}_1^c(\tau) = \frac{2}{2K+1} \sum_{n=-K}^K \xi(nh) \cos l \frac{2\pi}{\tau} nh,$$

$$\hat{m}_1^s(\tau) = \frac{2}{2K+1} \sum_{n=-K}^K \xi(nh) \sin l \frac{2\pi}{\tau} nh,$$

где: K – количество отказов, а h – величина шага дискретизации.

Анализ оценок периода в первом приближении выведен из формулы для смещения и дисперсии оценок периода, которые

определяются с помощью косинусных и синусных преобразований реализаций потока восстановления работоспособности и его корреляционного и ковариационного произведений. Показательно, что при переходе от непрерывного к дискретному оцениванию возможно есть явление наложения, которое состоит в возникновении дополнительных составляющих в выражениях для смещения и дисперсии, которые зависят от тех компонентов Фурье вероятностных характеристик, которые не используются при оценивании и которые имеют такой же порядок малости, что и основные составу. Явление наложения служит причиной негативные эффектов, а именно, меняет экстремальные значения функционалов, а также величину малого параметра, который существенно влияет на сходимость оценок.

Поэтому выведено условия отсутствия явления наложения, которые являются разными для функционалов первого и второго порядка и состоят в согласовании интервала дискретизации h с номерами N_1 и N_2 наивысших гармоничных составляющих соответственно математического ожидания и корреляционной функции. Смещение оценок периода, определенных с помощью статистик первого и второго порядка, не содержит дополнительных составляющих, если соответственно $h^2 T / (2N_1 + 1)$ и $h^2 T / (2N_2 + 1)$. Для дисперсии оценок аналогичные требования сводятся к выполнению неравенств $h^2 T / (2N_1 + N_2)$ и $h^2 T / (4N_1 + 1)$. При отсутствии наложения различие между характеристиками непрерывных и дискретных оценок определяется различием между интегралами и соответствующими интегральными суммами и она зависит от скорости уменьшения корреляционных связей. Формула дисперсии дискретной оценки периода $o(t) = z(t) \cos(\omega t)$, найденной с помощью косинусного преобразование отрезка реализации, например, имеет вид:

$$D[\hat{T}] = \frac{DT^2}{2m_n^2 \omega_0^2 h^2 H(K)} [1 + 2r_2(\alpha h, K)],$$

где: $r_1(\alpha h, K) = \sum_{p=0}^{2K} e^{-\alpha p h} \cos l \frac{2\pi}{T} p h,$

$H(k) = \sum_{n=-K}^K n^2$, а с помощью ковариационного

преобразования:

$$D[\hat{T}] = \frac{DT^2}{2(D + m^2) \omega_0^2 h^2 H(K)} \times \left[5(D + m^2) + 2D \left[4r_2(2\alpha h, K) + r_4(2\alpha h, K) \right] + 4m^2 [4r^2(\delta h, K) + r_4(\delta h, K)] \right].$$

На основе выведенных формул создано программное обеспечение для вычисления характеристик оценок периода в зависимости от шага дискретизации и числа отказов машин, которое дает возможность обоснована выбирать шаг дискретизации при оценивании периода определенных типов ПКСП.

Программное обеспечение, разработанное на языке C++. Для его верификации использованы реализации симулированных на компьютере аддитивной, мультипликативной и квадратурной моделей ПКСП. Оценки функционалов для некоторых конкретных случаев представлены в виде графических зависимостей.

На основе найденных оценок периода с помощью компонентного метода оценено математическое ожидание, дисперсия, корреляционная функция и их компоненты Фурье. Предложено формулы для аппроксимации вероятностных характеристик ПКСП, и с них использованием вычислено значения смещения и дисперсии оценок периода. Полученные результаты свидетельствуют о том, что удовлетворительную точность оценивания периода получаем уже при $N=10$ и восьми отсчетах на период. Величина $[D[\hat{T}]]^{1/2} / \hat{T}$ тогда есть меньше, чем 0,02. Задав отношение $h^2 T / (2N_1 + 1)$ на основе вычисления данных легко находим те параметры обработки, которые его обеспечивают.

ВЫВОД

Исследовано свойства оценок периода корреляции ПКСП, которые находятся как точки экстремальных значений косинусных и синусных преобразований Фурье реализаций потока восстановления работоспособности сельскохозяйственных машин, корреляционного и ковариационного произведения. С помощью метода малый параметр выведен

формулы для смещения и дисперсии оценок, которые описывают зависимости этих величин от длины реализации и компонентов Фурье математического ожидания и корреляционной функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boyko A.I. 2013: Matematichne modelyuvannya sistemi «lyudina-mashina» pri nakopichenni vidmov/ A.I. Boyko, A.V. Novitskiy // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Kharkiv, KhNTUSG. – Vip. 134. – 75–79.
2. Boyko A.I. 2011: Stokhasticheskoye modelirovaniye raboty pnevmomekhanicheskaya vysevayushchego apparata / A.I. Boyko, A.A. Banny // Nauchnyy vestnik NAU, seriya «Tekhnika i energetika APK» – K. – Vypusk 166, chast 1. – 112–118.
3. Boyko A.I. 2010: Ustanovleniye funktsii vosstanovleniya podsistem zernouborochnykh kombaynov v usloviyakh razvitiya sfery tekhnicheskogo obsluzhivaniya / A.I. Boyko, K.N. Dumenko // Vestnik LNAU. Agroinzhenernogo issledovaniya – Lvov. – T.1, № 14. – 12–20.
4. Boyko A.I., Karabinosh S.S. 2001: Do pitannya about determination energy os distraction body at there border state / A.I. Boyko, S.S. Karabinosh // Zb. naukovikh prats KDTU. – Kirovograd. – 45–47.
5. Dobrovolskiy S.B. 2000: Methods of estimation of influence of structural concentration on малоцикловую durability / Dobrovolskiy S.B. // Motor industry. – № 6. – 19–23.
6. Ivanov M.N. of 2000: Detail of machines: a 6th publ. / M.N. Ivanov – M.: Higher school. – 383.
7. Karabinosh S.S., Novitskiy A.V. 2005: Reliability of agricultural technique and control of her capacity / S.S. Karabinosh, A.V. Novitskiy. – K.: NAU. – V.80. – 183–186.
8. Boyko A.I. 2012: Problemi zabezpechennya nadiynosti suchasnoi skladnoi silskogospodarskoi tekhniki / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko // Visnik Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki. – Vinnitsya. – Vipusk 11 (66). – 307–311.
8. Boyko A.I. 2013: Varirovanie izmeneniy pokazateley nadyozhnosti passivno rezerviruemyy sistemyi pri povrezhdennom osnovnom i ispravnom dubliruyuschem elementah / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko, V.M. Savchenko // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 15, No 2. – 35–39.
9. Boyko A.I. 2013: Grafoanaliticheskiy analiz sostoyaniy i perehodov v vozmozhnyie sostoyaniya aktivno rezerviruemyy tehnicheckoy sistemyi / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko, V.M. Savchenko // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 15, No 4, – 231–235.
10. Gumenyuk V.M. 2010: Nadezhnost i diagnostika elektrotekhnicheskikh sistem: Ucheb. posobiye dlya vuzov / V.M. Gumenyuk. – Vladivostok: Izd-vo Dalnevost. gos. tekhn. unta. – 218.
11. Dzherald Sandler. 1966: Tekhnika nadezhnosti sistem / S. Dzherald; per. s angl. A.L. Raykina // Seriya «Teoreticheskiye osnovy tekhnicheskoy kibernetiki». – M., «Mir». – 300.
12. Druzhinin G.V. 1977: Nadezhnost avtomatizirovannykh sistem / G.V. Druzhinin. Izd. 3-e pererab. i dop. – M., «Energiya». – 536.
13. Lekhman S.D. 2011: Metodologiya doslidzhennya nebezpechnik protsesiv pri funktsionuvanni yergativnykh sistem agrarno-go virobnitstva / S.D. Lekhman, M.V. Panfilova // Tekhnika ta yenergetika APK: zbirnik naukovikh prats NUBiPU. – K.: NUBiPU. – Vip. 166, ch. 1. – S. 294–301.
14. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem: Spravochnik. 1985: / Yu.K. Belyayev, V.A. Bogatirev, V.V. Bolotin i dr.; pod red. I.A. Ushakova. – M.: radio i svyaz. – 608.
15. Nechiporenko V.I. 1977: Strukturnyy analiz sistem (effektivnosti i nadezhnosti) / V.I. Nechiporenko. – M.: «Sovetskoye radio». – 211.
16. Raynshke K. 1979: Modeli nadezhnosti i chuvstvitelnosti sistem / K. Raynshke; per. s nem. B.A. Kozlova. – M., «Mir». – 454.
17. Rogovskiy I. 2012: Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa mekhanizmov selskokhozyaystvennykh mashin / I. Rogovskiy, O. Dubrovina // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin – Rzeszuw, Vol. 14 – No 3, 200-205.
18. Rogovskiy I.L. 2011: Vpliv pokaznikov nadiynosti na periodichnist tekhnichnogo obslugovuvannya silskogospodarskikh mashin / I.L. Rogovskiy // Motrol, motoryzacia i ener-

getyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 13B. – 92 – 97.

19. Ushakov A.I. 2008: Kurs teorii nadezhnosti sistem / A.I. Ushakov // M., DROFA. - 239.

20. Gennadiy Golub, Oleg Marus. 2011: Optimizatsiya parametriv mashin ta obladnannya Motrol Motoryzacja i energetyka rolnictwa Tom 13 B Lublin 15–17.

21. Aleksandr Byistryiy. 2013: Opredelenie ratsionalnogo kolichestva teh-nicheskogo kontrolya mehanizmov zernouborochnogo kombayna / Aleksandr Byistryiy, Ivan Rogovskiy // Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 15. No 3. – 313–321.

STOCHASTIC MODEL ENSURING OPERABILITY AGRICULTURAL MACHINES

Summary. The paper is devoted developments of methods revealing and the analysis of periodicity in the form of periodically correlated casual processes for the purpose of their application in systems of restoration of working capacity of agricultural machines.

Key words: periodicity, estimation dispersion, system.

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СИЛОВЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Валерий Дубровин¹, Евгениуш Красовски², Светлана Тарасенко¹, Семен Волошин¹

¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

²Польская академия наук

Польша, г. Люблин, ул. Велкопольская, 62

Valeriy Dubrovin¹, Eugeniusz Krasowski², Svetlana Tarasenko¹, Semen Voloshin¹

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

²Polish Academy of Sciences

Str. Wielkopolska, 62, 20-725, Lublin, Poland

Аннотация. В работе проведен анализ особенностей работы и видов повреждений силовых контактных соединений электрооборудования. Разработана технология восстановления контактов псевдосплавом МДК-3, представлены основные операции технологии пайки напаек, рассчитан годовой экономический эффект.

Ключевые слова: надежность, контакт, контактное сопротивление, ресурс, износ, стабильность, псевдосплав.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анализ неисправностей узлов и агрегатов электрооборудования постоянного тока АПК Украины за последние 10 лет показывает, что до 50% отказов присущи электрооборудованию, до 35% причин которых есть неудовлетворительное состояние контактных соединений электроаппаратуры, обзор и ремонт которой составляет 15...25% от общей трудоемкости всего ремонта.

На электрооборудование постоянного тока АПК Украины в качестве силовых контактов традиционно используют медные контакт-детали (губки). Основная причина их отказов это некачественный ремонт, главным фактором которого является дефицит контактных элементов и меди. Как известно, медь, которая применяется при заводском изготовлении элементов и замене изношенных медных губок на ремонтах, есть не наилучшим материалом за износоустойчивостью и переходным сопротивлением. К браковочному размеру дорабатывает лишь 10% всех контактов, их выбраковывают через оплавление и нарушение профиля контакт-

ной рабочей поверхности, образование раковин за счет электроэрозии.

Учитывая вышеизложенное, а также большой дефицит меди в Украине актуальной возникает задача выбора надежного электропроводного материала, как альтернативы “чистой” меди, для его использования в качестве силовых контактов наиболее нагруженных током. Такая задача в силовом аппаратостроении относится впервые как в отечественной, так и в зарубежной практике ремонта и эксплуатации электрооборудования постоянного тока. Поэтому исследование эксплуатационной надежности силовых контактов с восстановленными разными материалами есть актуальной проблемой.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ряд вопросов, которые связаны с эксплуатацией контактов электрических аппаратов, проведен отечественными и зарубежными исследователями [1-20] на предмет исследования износа и восстановление контактов. Выявлено, что за последние 20...30 лет силовые контакты практически не были исследованы. Исследование влияния надежности медных силовых контактов на надежность в условиях эксплуатации не проводились вообще. Проведенный анализ работ [1-20] показывает, что в силовой схеме электрооборудования АПК наиболее уязвимыми есть контакты линейных и реостатных контакторов. Основным показателем, который характеризует надежность работы контакторов, есть

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СИЛОВЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

срок эксплуатации контакт-деталей (губок) по критерию скорости их износа.

За полученными данными к браковочному размеру (3,5 мм) при постановке новых медных контактов (толщина в рабочей зоне 10 мм) работает всего 10% контактов. К толщине 5 мм, при которой с ремонта электрооборудование выдавать запрещено, работает 20% губок. Сдачу контактных губок выбраковывают через оплавление контактной поверхности – 10%; нарушение профиля рабочей поверхности – 15%. Последние виды повреждений выявляют при ТО-2, 3 или при текущем ремонте и такие контактные губки выбраковывают через 10...18 тыс. часов наработки, что приводит к увеличению объема работ.

Рассматривая общие причины выхода из строя контакт-деталей, можно выделить три их группы: подгорание, стирание, взлом губки, которые обусловлены целым рядом факторов: некачественным контактом губок; креплением контактных губок к контактодержателем; площадью прилегания; качества обработки и зачистки контактов; неправильного расположения подвижных контактов относительно неподвижных, выраженного в малой зоне протекания рабочих токов; и неисправности притирочной пружины, от которой зависит величина контактного давления, которая также не всегда удовлетворяет требованиям правил ремонта.

Таким образом, как вытекает из анализа, ненадежная работа меди, как контактного материала, требует ее замены более качественным материалом.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является повышения эксплуатационной надежности работы и удешевление ремонта силовых контактных соединений электрооборудования постоянного тока АПК путем замены или восстановления медных контактов композиционными материалами (псевдосплавами).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для эксплуатационных испытаний в качестве материалов для напаяк на контакты

были взяты такие материалы (за порядковыми номерами): №1 - композиционный материал (псевдосплав) МДК-3; №2 – композиционный медно-графитовый (порошковый) Мгр; №3 – электролитическое композиционное покрытие типа ФМИ; №4 – медь профильная твердая, типа М1; №5 – медь литая МЛ; №6 – медь профильная твердая, типа М1. С этим материалом исследовали изношенные контакты (для сравнения с новыми).

В работе установлено что, нормативная величина давки F_k главных (силовых) контактов, который равняется 270Н, выдерживается лишь на 50% контакторов; при этом $\overline{F_k} = 274,4Н$, а $\sigma_{F_k}^2 = 32,11Н$.

С увеличением F_k поверхность контактов становится более тучной и шероховатость S_m уменьшается. Заметное влияние на уменьшение шероховатости имеет также количество включения контактов.

Величина контактного сопротивления R_k не является единой значащей характеристикой контактного соединения потому, что R_k зависит от температуры T контактов, а тепловые процессы в контактном соединении определяют его трудоспособность.

При увеличении убыли напряжения U_k контактного соединения увеличивается T и достигается такое ее значения, при котором начинается размягчения (пластическая деформация) материала контактов, то есть структурная их изменение, которое приводит к изменению механических свойств и дальше к ним сварка, которая приводит к аварийной работе контактного соединения.

Поэтому температура контактного соединения должна быть также (вместе с R_k) обязательно контролируемым параметром.

Согласно нормативным документам Украины ДСТУ 2773-94 для номинального режима работы коммутирующих контактов с меди превышения величины T относительно температуры окружающего среды $T_{н.с.}$ не должно быть большим за +75°C.

Для исследования технологической и токовой стабильности, параметрическую надежность контактов за критериями контактного сопротивления и температуры, получено аналитическое выражение контактного сопротивления контактного соединения силовых контакторов электровозов в виде:

$$\begin{aligned}
 R_k &= 3,2 \cdot \lg \left[1,43 \left(1 + \frac{\delta}{\ell} \right) \right] \cdot \rho_0 \times \\
 &\times [1 + \alpha(T - T_0)] \cdot \frac{\ell}{F} + \\
 &+ \frac{\pi \cdot \rho_0 \cdot [1 + \alpha(T - T_0)] \cdot H_{\mu_0}}{10 \left(T_{пл}^{2/3} - T_0^{2/3} \right) \cdot F_k} \times \\
 &\times \frac{\left(T_{пл}^{2/3} - T_0^{2/3} \right) \cdot (S_{m0} - k_1 \cdot F_k)^{2/3}}{0,4 \cdot (R_{a0} - k_2 \cdot F_k)^{2/3}} + \\
 &+ \frac{\sigma}{\left(1 - 0,4 \frac{(R_{a0} - k_2 \cdot F_k)^{2/3}}{(S_{m0} - k_1 \cdot F_k)^{2/3}} \right)} \cdot b \cdot \Delta \\
 &\times [1 - \alpha(T - T_0)],
 \end{aligned} \tag{1}$$

где: T_0 – температура “ненагретых контактов”, “комнатная”, преимущественно $+20^\circ\text{C}$; $T_{пл}$ – температура плавления материала контакт-деталей; δ – толщина проводника (контактного соединения); ℓ – длина контактного соединения; ρ_0 – удельное электрическое сопротивление материала при T_0 ; α – температурный коэффициент материала контактов относительно электрического сопротивления; H_{μ_0} – микротвердость материала контактов при T_0 ; S_{m0} – средний шаг начальной неровности микропрофиля поверхности; R_a – среднее арифметическое отклонение микропрофиля поверхности новых контактов; k_1, k_2 – постоянные аппроксимации, которые определяют из экспериментов; F_k – контактное давление.

Числовая оценка R_k при $T = T_0$ для контактов из разных исследуемых в работе материалов по средним значениям величин, которые входят в (1), приведенная в табл. 1.

Поскольку средние значения $\overline{R_k}$ не характеризуют все возможные значения контактного сопротивления, потому что в формулах все величины, за исключением $T_0, T_{пл}, k_1$ и k_2 , являются случайными, а следовательно и R_k носит вероятностный характер, в дальнейшем проанализирована технологическая стабильность R_k для всех видов контактов для $T = T_0$ на основе формулы (1), для чего получено выражение дисперсии контактного сопротивления:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{R_{k0}}^2 &= \left(\frac{\partial R_k}{\partial b} \right)^2 \cdot \sigma_{b0}^2 + \left(\frac{\partial R_k}{\partial l} \right)^2 \cdot \sigma_{l0}^2 + \\
 &+ \left(\frac{\partial R_k}{\partial \Delta} \right)^2 \cdot \sigma_{\Delta 0}^2 + \left(\frac{\partial R_k}{\partial \rho} \right)^2 \cdot \sigma_{\rho 0}^2 + \\
 &+ \left(\frac{\partial R_k}{\partial H_{\mu}} \right)^2 \cdot \sigma_{H_{\mu 0}}^2 + \left(\frac{\partial R_k}{\partial S_m} \right)^2 \cdot \sigma_{S_{m0}}^2 + \\
 &+ \left(\frac{\partial R_k}{\partial F_k} \right)^2 \cdot \sigma_{F_{k0}}^2 + \left(\frac{\partial R_k}{\partial R_a} \right)^2 \times \\
 &\times \sigma_{R_{a0}}^2 + \left(\frac{\partial R_k}{\partial \sigma} \right)^2 \cdot \sigma_{\sigma 0}^2.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Таблица 1. Средние значения контактного сопротивления $\overline{R_k}$ при $T_0 = +20^\circ\text{C}$ электрических контактов

Table 1. Average values of contact resistance $\overline{R_k}$ at $T_0 = +20^\circ\text{C}$ of electric contacts

Материал контактов	$\overline{R_k}(T_0), 10^{-6}, \text{Ом.}$
МДК-3	20,93
МГр	39,4
ФМІ	8,02
Медь М1	16,45
Медь МЛ	9,8
Медь М1зн	10,2

Для определения собственного допуска использовались данные, которые были получены в результате натурных опытов. Значение весовых коэффициентов в формуле (2) приведено в табл. 2. Основными параметрами, которые характеризуют трудоспособность электроконтактных пар, есть их контактное сопротивление R_k , температура T и толщина губок b . Но на стадии технологического монтажа контактов температура равняется “комнатной” T_0 , а толщина – толщине новых, не изношенных контактов. Поэтому контролируемым параметром принимается лишь контактное сопротивление R_k . И тогда для оценки параметрической надежности контактов на стадии их сборки была использована одномерная модель отказов типа “нагрузка-прочность”, согласно которой должно быть:

$$R_k \leq R_{кд}, \tag{3}$$

где: $R_k, R_{кд}$ – соответственно текущее (при $T = T_0$) и допустимое значение контактного сопротивления.

Таблица 2. Числовые значения весовых коэффициентов

(знак квадрата опущено) в формуле (2) для $\sigma_{R_{k0}}^2$

Table 2. Numerical values of weight factors (a square sign it is lowered)
in the formula (2) for $\sigma_{R_{k0}}^2$

Материал контактов	Весовые коэффициенты при стандартных отклонениях параметров:								
	σ_{b0}^2	σ_{l0}^2	$\sigma_{\Delta 0}^2$	σ_{p0}^2	$\sigma_{H_{\mu 0}}^2$	$\sigma_{S_{m0}}^2$	$\sigma_{F_{k0}}^2$	$\sigma_{R_{a0}}^2$	$\sigma_{\sigma 0}^2$
МДК-3	0,441	0,44	0,821	0,98	0,158	0,257	0,247	0,012	0,0015
МГр	0,543	0,434	0,824	1,0	0,175	0,29	0,266	0,02	0,001
ФМІ	0,39	0,39	0,824	1,4	0,574	0,872	0,96	0,092	0,0016
М1	1,02	1,02	0,86	0,973	3,09	5,2	5,51	0,376	0,0042
МЛ	0,985	0,98	0,83	1,05	2,92	2,82	2,68	0,386	0,004
М13н	0,48	0,48	0,892	1,02	2,14	3,21	3,23	0,248	0,002

Поскольку обе величины в (3) являются случайными, абсолютное требование использования неравенства (3) не имеет смысла. Возможно лишь поставить условие, чтобы она была выполнена с той или другой вероятностью.

Таким образом, поставленная задача может быть решена в вероятностном трактовании. Введем “функцию трудоспособности” F , которая равняется:

$$F = R_{KД} - R_K > 0. \quad (4)$$

Тогда вероятность нарушения неравенства (3) или, что то и именно, вероятность выхода из порядка контакт-детали за допустимое значение сопротивления $R_{KД}$ определится:

$$V = \int_{-\infty}^0 f(F) dF = \int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^{\infty} f_1(F + R_K) \cdot f_2(R_K) dR_K. \quad (5)$$

Если случайные величины R_K и $R_{KД}$ распределяются за Гауссом, то вероятность V определяется через функцию Лапласа $\Phi(\gamma)$:

$$V = \int_{-\infty}^0 f(F) dF = 1 - \Phi(\gamma), \quad (6)$$

где: γ – характеристика резерва, которая равна:

$$\gamma = \frac{\overline{R_{KД}} - \overline{R_K}}{\sqrt{\sigma_{R_{KД}}^2 + \sigma_{R_K}^2 + 2r_{R_{KД} \cdot R_K} \cdot \sigma_{R_{KД}} \cdot \sigma_{R_K}}}, \quad (7)$$

где: $r_{R_{KД} \cdot R_K}$, $\sigma_{R_{KД}}^2$, $\sigma_{R_K}^2$ – коэффициенты корреляции и дисперсии величин $R_{KД}$ и R_K .

Еще одним показателем надежности контакт-деталей в этом случае введен коэффициент запаса за сопротивлением:

$$K_R = \frac{\overline{R_{KД}}}{R_K}. \quad (8)$$

Вышеизложенные методы дают достаточно точное, но очень трудоёмкое определение вероятности V . Ниже предлагается более простой вид, к тому же он базируется на произвольных законах распределений $f_1(R_{KД})$ и $f_2(R_K)$. Обрывая кривые этих распределений в точке $R_{KД0} = R_{K0}$ и вводя обозначение для малых площадей ω_1 , ω_2 , имеем (рис. 1):

$$\omega_1 = \int_0^{R_{KД0}} f_1(R_{KД}) dR_{KД}, \quad \omega_2 = \int_{R_{KД0}}^{\infty} f_2(R_K) dR_K. \quad (9)$$

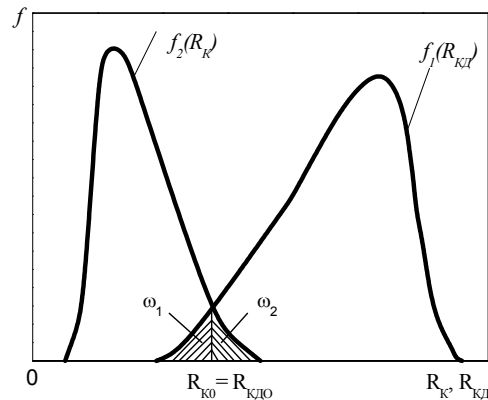


Рис. 1. Законы распределения R_K , $R_{KД}$
Fig. 1. Distribution R_K , $R_{KД}$

Можно доказать, что вероятности отказы V удовлетворяет неравенству:

$$V > \omega_1 \omega_2 \quad (10)$$

при любом выборе значения $R_{K0} = R_{KД0}$. Действительно, произведение $\omega_1 \omega_2$ является вероятностью того, что одновременно $R_K > R_{K0}$ и $R_{KД} < R_{KД0}$; при этом из рассмотрения исключены случайные события $R_K > R_{KД0}$ при

$R_{КД} > R_{КДо}$ или при $R_K < R_{КДо}$, которые также отвечают отказам.

Можно показать, что вероятность безотказной работе Q контактного соединения оценивается как:

$$Q = (1 - \omega_1) \cdot (1 - \omega_2). \quad (11)$$

Соединяя оценки V и Q , получим:

$$\omega_1 \cdot \omega_2 < V < \omega_1 + \omega_2 - \omega_1 \cdot \omega_2. \quad (12)$$

Введем также величину, которая характеризует гарантию безотказной работы контакт-детали:

$$Q = 1 - \omega_1 \cdot \omega_2. \quad (13)$$

Анализ статистического материала по измерением контактного сопротивления (при $T = T_0$) позволил установить, что распределение R_K контактов из материалов МДК и М1 аппроксимируются нормальным законом $f(R_K)$ с достаточно высокой вероятностью P (по критерию Пирсона), что равно соответственно 0,15; 0,2. Коэффициент асимметрии статистических распределений также свидетельствует о близости эмпирических распределений теоретическому закону Гаусса. Значение числовых характеристик \bar{R}_K и σ_{R_K} и показателей надежности на стадии сборки контакты приведены в табл. 3.

Статистические распределения R_K с материалов ФМ1, М1зн, и МГр (рис. 2) с вероятностью $p = 0,12 - 0,26$ (по критерию χ^2 – Пирсона) подчиняются теоретическому распределению вероятности положительных величин.

$$f(R_K) = \frac{1}{\sigma_{R_K} \sqrt{2\pi}} \left(\exp \left[-\frac{(R_K - \bar{R}_K)^2}{\sigma_{R_K}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(R_K + \bar{R}_K)^2}{\sigma_{R_K}^2} \right] \right) \quad (14)$$

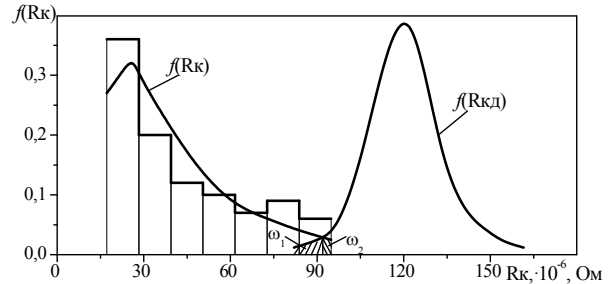


Рис. 2. Распределения R_K , $R_{КД}$ для контактов с материала МГр

Fig. 2. Distribution R_K , $R_{КД}$ for contacts to material МГр

В связи с этим вероятность отказы V этих контактов найденная по выражению (10) согласно рис. 1 и, в качестве примера, на рис. 2 показано определения V для контактов из МГр ($\omega_1 = 0,0085$; $\omega_2 = 0,0071$; $V = \omega_1 \cdot \omega_2 = 5,95 \cdot 10^{-4}$). Численные результаты V приведено в табл. 3, из анализа которой вытекает, что исследуемые материалы и существующая технология регулирования контактов обеспечивают высокие показатели надежности на стадии технологической сборки и монтажа: коэффициент запаса K_R равняется от ~ 2 до 5, а вероятность отказы V даже для контактов с МГр составляет незначительную величину, равную $5,95 \cdot 10^{-4}$, а для МДК – $8,1 \cdot 10^{-13}$.

Таблица 3. Статистические характеристики величины контактного сопротивления и показатели надежности по критерию R_k

Table 3. Statistical characteristics of size of contact resistance and reliability indicators by criterion R_k

Материал	$\bar{R}_k, 10^{-6}, \text{ Ом}$	$\sigma_{R_k}, 10^{-6}, \text{ Ом}$	$\bar{R}_k^{max}, 10^{-6}, \text{ Ом}$	$\sigma_{R_k^{max}}, 10^{-6}, \text{ Ом}$	$\bar{R}_{КД}, 10^{-6}, \text{ Ом}$	$\sigma_{R_{КД}}, 10^{-6}, \text{ Ом}$	$\bar{R}_{КД}^{min}, 10^{-6}, \text{ Ом}$	$\sigma_{R_{КД}^{min}}, 10^{-6}, \text{ Ом}$	Показатели надежности		
									K_R	γ	$V, \times 10^{-4}$
МДК-3	21,2	5,9	32,5	3,937	68,25	2,85	62,776	1,902	1,929	6,92	8,1
МГр	41,2	12,6	65,4	8,409	122,1	12,12	98,821	8,089	1,511	2,86	5,95
ФМ1	8,9	2,71	14,1	1,808	88,7	7,23	74,813	4,825	5,304	11,78	0
М1	16,5	4,67	25,5	3,116	73,15	2,05	69,212	1,368	2,717	12,85	0
МЛ	10,1	2,91	15,7	1,942	51,2	2,13	47,109	1,421	3,002	13,05	0
М1зн	11,1	3,42	17,7	2,282	76,8	3,2	70,653	2,1355	3,998	16,95	0

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СИЛОВЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Заметим, что V для контактов с ФМІ и МІзн равняется нулю, потому что площади под законами распределений $f(R_k)$ и $f(R_{кд})$ не пересекаются и потому, согласно рис. 1, вероятности ω_1 и ω_2 равняются нулю.

В процессе эксплуатации были получены зависимости $R_k(I)$ при 80% и 100% площадях прикосновения $S_{\text{тор}}$ губок, которые свидетельствуют о том, что, во-первых, общий характер изменения $R_k(I)$ таких (изношенных частично) контактов подобный зависимостям $R_k(I)$ для новых контактов.

Во-вторых, степень роста R_k при уменьшении поверхности прикосновения $S_{\text{тр}}$ разная у разных материалов.

Отсюда вытекает важность правильного зачистки и регулирования положения контактов на ремонтах.

Для контактов без дугогасительной камеры сопротивление значительно меньше и приблизительно в 1,5...1,8 раза уменьшается при износе контактов до 5 мм и 3 мм при работе как с дугогасительной камерой, так и без нее.

Установлено также, что сопротивление контактов не остается постоянным в эксплуатации. Анализ показывает, что изменение R_k по времени протекания тока ($I_n=500A$) для исследованных нами контактов отличается от качественных $R_k(t)$ при постепенном увеличении убыли напряжения U_k на контактах, которые приведено в литературе. Полученные в наших опытах $R_k(t)$ и $U_k(t)$ имеют ступене-ниспадающий характер для контактов с дугогасительными камерами и почти неизменные – для контактов без камер. Собственно, и возрастающий, и ниспадающий, и неизменный характеры изменения R_k по времени при повышении температуры T контактного соединения объясняются преимущественно той или другой противоположных действий нагрева материала контактов: увеличением сопротивления металла контактов или уменьшением сопротивления поверхностной пленки. То есть, наблюдается новое явление, которое надо назвать “ступенным В-Фриттингом” в отличие от известного (очевидно, одноступенчатого) “В-Фриттинга”. Закономерности изменения R_k от температуры контактного соединения T идентичны кривым $R_k(I)$ и имеют такое же

объяснение, потому что повышение температуры осуществляли за счет повышения тепловых потерь при росте тока, который протекает через контакты.

Выведена формула изменения в переходном режиме превышения температуры поверхности контакта над температурой окружающей среды в виде:

$$\Theta_k(t) = T(t) - T_0 = \frac{17,8 \cdot 10^3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{ко}}^2}{1 - 35,6 \cdot 10^3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{ко}}^2 \cdot \alpha} + \frac{R_{\text{то}} I^2}{(B - \alpha R_{\text{то}} I^2)(1 - 35,6 \cdot 10^3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{ко}}^2 \cdot \alpha)} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (15)$$

где: $R_{\text{то}}$ – сопротивление тела губок-контактов при температуре T_0 ; Θ – превышение температуры тела контактов над температурой окружающей среды $T_{\text{н.с.}}=T_0$, самое большое значение которой принято 40 C° .

Формула (15) полученная без существующих в литературе предположений, которые $I=\text{const}$, а $\rho \neq f(T)$. В табл. 4 приведено значения перегрева поверхности контактов из разных материалов в переходном режиме, которые найдены при среднем (согласно статистики) и номинальному значениям току.

Для оценки параметрической надежности за критериями контактное сопротивление R_k и температура T (кроме толщины) в работе разработано и применено двухмерную вероятностную модель типа “нагрузка – прочность”, согласно которой контакт-деталь нормально функционирует, если одновременно за определенный срок эксплуатации:

$$R_k \leq R_{кд}, \quad T \leq T_d, \quad (16)$$

или

$$R_{кд} - R_k = H_1 > 0, \quad T_d - T = H_2 > 0. \quad (17)$$

Количественной мерой трудоспособности контактного соединения в этом случае есть вероятность одновременного выполнения обеих условий (17).

То есть задача состоит в нахождении вероятности безотказной работы контактов:

$$\begin{aligned} P_{1,2} &= \text{Imov}(H_1 > 0, H_2 > 0) = \\ &= \text{Imov}[S_1 < H_1 < S_2; S_3 < H_2 < S_4] = \\ &= \int_{S_{1S3}}^{S_2S_4} f(h_1, h_2) dh_1 \cdot dh_2, \end{aligned} \quad (18)$$

где: $f(h_1, h_2)$ – плотность совместного распределения величин H_1, H_2 в любой момент времени (или наработки).

Таблица 4. Определение перегрева контактов Θ_k для разных материалов
Table 4. Definition of overheat of contacts Θ_k for different materials

Тип материала	I, А	τ , мин.	$\Theta_{ky}, ^\circ\text{C}$	$\Theta_{ky}, ^\circ\text{C}$	$\Theta_{ky}, ^\circ\text{C}$	$\Theta_{ky}, ^\circ\text{C}$	$\Theta_{ky}, ^\circ\text{C}$
	I_H , А		($t=0$), мин.	($t=10$), мин.	($t=40$), мин.	($t=80$), мин.	($t=100$), мин.
МДК-3	307,8	8,87	0,73	18,18	26,24	26,53	26,53
	500	11,28	1,94	53,52	87,09	89,58	89,65
МГр	307,8	13,34	2,61	40,14	70,06	73,52	73,69
	500	30,48	6,90	132,6	333,5	422,3	446,31
ФМІ	307,8	9,40	0,10	6,45	9,66	9,80	9,80
	500	10,05	0,28	17,54	27,16	27,66	27,67
М1	307,8	8,90	0,45	13,01	18,86	19,06	19,07
	500	10,21	1,20	36,60	56,73	57,85	57,87
МЛ	307,8	8,63	0,16	7,51	10,78	10,88	10,88
	500	9,32	0,42	20,57	30,62	31,03	31,04
М1зн	307,8	8,66	0,17	7,84	11,26	11,37	11,37
	500	9,40	0,46	21,52	32,16	32,61	32,62

В частности, при гауссовому распределении величин H_1, H_2 вероятность $P_{1,2}$ определяется по формуле:

$$P_{1,2} = \frac{1}{2} [\Phi(\gamma_1) + \Phi(\gamma_2)] - O(\gamma_1, \alpha_1) - O(\gamma_2, \alpha_2), \quad (19)$$

где: $\Phi(\gamma), O(\gamma, \alpha)$ – табулированные функции соответственно Лапласа и Оуена;

Вероятность $P_{1,2}$ возможно определить и приблизительно, пользуясь выражением:

$$P_{1,2} = \Phi(\gamma_1)\Phi(\gamma_2) + [\Phi(\gamma_*) - \Phi(\gamma_1)\Phi(\gamma_2)] \times \frac{2}{\pi} \cdot \arcsin \rho_{12}, \quad (20)$$

где: $\gamma_* = \min(\gamma_1, \gamma_2)$; ρ_{12} – коэффициент корреляции величин H_1 и H_2 .

Используя статистические даны были получены параметры выражений (19), (20), которые позволили определить искомую вероятность $P_{1,2}$ безотказной работы контактов из разных материалов за критериями контактного сопротивления и температуры (с учетом их корреляции) при изменению в эксплуатационных условиях тягового тока через контакты в пределах 50...1500 А. Результаты расчетов $P_{1,2}$ за формулами (19) (числитель) и (20) (знаменатель) приведено в табл. 5. В реальных условиях эксплуатации продолжительность работы контактов даже при $I_H=500\text{А}$ небольшая, поэтому значение $P_{1,2}$ в номинальном тяговом режиме будут выше, чем в табл. 5.

Время эксплуатации наблюдается технологический и эксплуатационный износы контактов; технологический износ слишком

большой. Так, для меди М1 при обработке на станке во время капитального ремонта снимается пласт металла толщиной 1...2, 5 мм, что приводит к потери 5...21 г металла. При обработке напильником при технических осмотрах или периодических ремонтах снимается 0,2...1,3 мм (1,5...2 г), а при обработке контактов, снятых с электрооборудования до 4...8 г меди.

Таблица 5. Вероятность безотказной работы контактов за критериями R_k и T

Table 5. Probability of non-failure operation of contacts behind criteria R_k and T

Материал контактов	$P_{1,2}$	
	МДК-3	0,965
МГр	0,892	0,890
ФМІ	0,892	0,890
М1	0,968	0,970
МЛ	0,967	0,961
М1зн	0,985	0,981

Анализ реализаций изменения толщины b контактов-губок в зависимости от наработки ℓ , свидетельствует что все зависимости $b(\ell)$ являются монотонно-ниспадающими и сильно переплетаются, к тому же изменение $(db/d\ell)$ носит случайный характер и потому весь процесс $b(\ell)$ может рассматриваться, как нестационарный случайный. Поэтому дальнейшая обработка кривых износа вы-

полняли вероятностно-статистическими методами.

Износ контактов также зависит от количества их переключений N и силы тока I , что коммутирует, поэтому в процессе испытаний были определены эти величины.

Аппроксимацию статистических распределений пробега ℓ к отказу контактов осуществляли за следующими теоретическими распределениями: нормальным, логарифмически – нормальным, Вейбулла и гамма-распределением. Проверку соответствия теоретических законов $f(\ell)$ гистограммам вели по критерию Пирсона. В результате установлено, что с вероятностью $P=0,16\dots 0,19$ для контактов с МДК, МГр и М1 и с вероятностью $p=0,14\dots 0,17$ – для контактов из ФМ1, МЛ и М1_{зн} теоретическим распределением $f(\ell)$ есть гамма-распределение, для которого дальше определенная вероятность безотказной работы $P(\ell)$ контактов из разных материалов для наработки L_P электрооборудования постоянного тока по выражению:

$$P(\ell) = I_{\text{мов}}(\ell < L_p) = \int_{L_p}^{\infty} \frac{\lambda^r \cdot \ell^{r-1} \cdot e^{-\lambda \cdot \ell}}{\Gamma(r)} d\ell, \quad (21)$$

где: $\Gamma(r)$ – гамма-функция Ейлера.

Пользуясь экспериментально полученными зависимостями изменения среднего $\bar{b}(\ell)$ и среднеквадратичного $\sigma_b(\ell)$ значений толщины контактов от пробега ℓ выполнено численное вероятностное прогнозирование величины вероятности V_b выхода толщины b за установленный допуск b_D за выведенной формулой (22):

$$V_b = \int_{-\infty}^{b_D} f_{\Sigma}(b) db = \int_{-\infty}^{b_D} \left\{ \frac{1}{L_K - L_0} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_b(\ell)} \times \int_{L_0}^{L_K} \exp \left[-\frac{(b - m_b(\ell))^2}{\sigma_b^2(\ell)} \right] d\ell \right\} db. \quad (22)$$

Таким образом, из прогнозирования вытекает, что контакты из псевдосплава МДК-3

в сравнении с контактами из базового материала (профильной твердой меди М1) в 3,8 раза более надежные по критерию изнашивания. Анализ также показывает, что меньше всего износ (по среднему \bar{b}) наблюдается для контактов с МДК. Контакты из базового материала, твердой профильной меди М1, снашиваются скорее, чем с МДК в 6 раз.

ВЫВОД

Медь в качестве электропроводного материала в силовых разрывных контактах электроаппаратуры постоянного тока владеет низкой коммутационной износоустойчивостью, обуславливает от 21 до 27% отказов электрооборудования, одновременно является дефицитным материалом и потому нуждается в ее замене более надежным и менее дефицитным контактным материалом, в частности, композиционным псевдосплавом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alternativna 2012: Alternativna yenergetika: [navch. posibnik dlya stud. vishch. navch. zakl.] / M.D. Melnichuk, V.O. Dubrovin, V.G. Mironenko, I.P. Grigoryuk, V.M. Polishchuk, G.A. Golub, V.S. Targonya, S.V. Dragnyev, I.V. Svistunova, S.M. Kukharets. – K: «Agrar Media Grup». – 244.
2. Geletukha G.G. 2002: Sovremennyye tekhnologii anaerobnogo sbrazhivaniya biomassy (Obzor) / G.G. Geletukha, S.G. Kobzar // Ekotekhnologii i resursos-berezheniye. – № 4. – 3-8.
3. Boltyanskaya Natalya. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurentosposobnosti yeye produktsii / Natalya Boltyanskaya // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Tom. 14, No 3. – 164-176.
4. Tekhnologi 2010: Tekhnologii Tekhnologii virobnitstva biogazu: [kurs lektsiy dlya stud. silskogosp. vuziv zi spets. 8.092900 – "Ekobiotekhnologiya"] / V.G. Mironenko, V.O. Dubrovin, V.M. Polishchuk, S.V. Dragnyev, I.V. Svistunova. – K.: Kholtekh. – 84.
5. Havrysh Valery. 2011: Perspektivi zabezpechennya agrarnogo sektora yekonomiki Ukraini ponovlyuvanimi yenergetichnimi resursami / Valery Havrysh // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Tom. 13

- A. – 107-117.
6. Viktoristannya 2008: Viktoristannya bi-omasi na yenergetichni potrebi v silskomu gospodarstvi. Biogazovi tekhnologii. – Doslid-nitske: UkrN-DIPVT im. L. Pogorilogo. – 72.
7. Baader V. 1982: Biogaz: teoriya i praktika / V. Baader, Ye. Done, M. Brennderfer. – M.: Kolos. – 148.
8. Bioyenergiya 2009: Bioyenergiya v Ukraini – rozvitok silskikh teritoriy ta mozhlivosti dlya okremikh gromad: Naukovo-metodichni rekomendatsii shchodo vprovadzhennya perezovogo dosvidu agrarnikh pidpriemstv Polshchi, Lit-vi ta Ukraini zi stvorenniya novitnikh ob'ektiv bioyenergetiki, yefektivnogo virobnitstva i vikoristannya biopaliv: [Nauk.-metod. reko-mend.] / [V.O. Dubrovin, M.D. Melnichuk, Yu.F. Melnik, V.G. Mironenko ta in.]. K.: Natsionalniy universitet bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini; Institut budivnitstva, mekhanizatsii ta yelektrifikatsii sils-kogo gospodarstva, Polshcha, Institut agrar-noi inzhenerii, Litva. – 122.
9. Vedeneyev A.G. 2006: Biogazovye tekhnologii v Kyrgyzskoy respublike: spravochnoye rukovodstvo / A.G. Vedeneyev, T.A. Vedeneyeva. – Bishkek: Yevro. – 90.
10. Malofeyev V.M. 1998: Biotekhnologiya i okhrana okruzhayushchey srede: Uchebnoye posobiye. – M.: Izdatelstvo Arktos. – 188.
11. Tekhnologii 2010: Tekhnologii ta obladnannya dlya vikoristannya ponovlyuvanikh dzherel yenerгии v silskogospodarskomu virobnitstvi / Za red. V.I. Kravchuka, V.O. Dubrovina – Doslidnitske.: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – 184.
12. Vedeneyev A.G. 2006: Stroitelstvo biogazovykh ustanovok: kratkoye rukovodstvo / A.G. Vedeneyev, A.N. Maslov. – Bishkek: Yevro. – 28.
13. Biologichni 2010: Biologichni resursi i tekhnologii virobnitstva biopaliva: Monog-rafiya / Ya.B. Blyum, G.G. Geletukha, I.P. Grigoryuk,, K.V. Dmitruk, V.O. Dubrovin, A.I. Emets, G.M. Zabarniy, G.M. Kaletnik, M.D. Melnichuk, V.G. Mironenko, D.B. Rakhmetov, A.A. Sabirniy, S.P. Tsigankov – K.: "Agrar Media Grup". – 408.
14. Eder B. 2006: Biogazovyye ustanovki. Prakticheskoye posobiye / Barbara Eder, Khaynts Shults. – M.: Kolos. – 240.
15. Biogaz 2010: Biogaz na osnove vozobnovlyayemogo syrya. Sravnitelnyy analiz shesti-desyati odnoy ustanovki po proizvodstvu biogaza v Germanii. – Gyultsov. Germaniya: Spetsialnoye agentstvo vozobnovlyayemykh resursov (FNR). – 116.
16. GOST 2011: GOST R 53790-2010: Ne-traditsionnyye tekhnologii. Energetika biotkhodov. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya k biogazovym ustanovkam. – [Deystvitelen ot 2010-05-31]. – M.: Standartinform – 10. – (Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii).
17. Ratushnyak G.S. 2008: Teplovtrati v biogazovikh ustanovkakh pri riznikh temperaturnikh rezhimakh anayerobnogo brodinnya / G.S. Rakushnyak, K.V. Anokhina // Visnik Vinnitskogo politekhnichnogo institutu. – № 5. – 20-24.
18. Protsesi 2008: Protsesi ta aparati biotekhnologichnikh virobnitstv. Chastina 2. Metodichni vkazivki do vikonannya laboratornikh robit z distsiplin " Protsesi ta aparati biotekhnologichnikh virobnitstv" ta "Energo-biotekhnologiya" dlya studentiv silskogospodarskikh vishchikh navchalnikh zakladiv 3-4 rivniv akreditatsii zi spetsialnosti 6.092900 "Ekobiotekhnologiya" / M.D. Mel-nichuk, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk ta in. – K.: Vidavniy tsestr NAU. – 38.
19. Mashini 2012: Mashini ta ob-ladnannya silskogospodarskogo virobnitstva. Metodichni vkazivki do vi-konannya laboratornikh robit z distsiplin "Mashini ta obladnannya silskogospodarskogo virobnitstva" dlya studentiv silskogospodarskikh vishchikh navchalnikh zakladiv 3-4 rivniv akreditatsii osvithno-kvalifikatsiy-nogo rivnya "Bakalavr" na-pryamku pidgotovki "Mashinobuduvannya" / M.D. Mel-nichuk, V.O. Dubrovin, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk, G.A. Golub, V.S. Targonya, O.I. Eremenko, S.V. Dragnev. – K.: Vidavniy tsestr NUBiP Ukraini. – 36.
20. Yenergobiotekhnologiya 2010: Yenergobiotekhnologiya. Metodichni vkazivki do vikonannya laboratornikh robit z distsiplini "Energo-biotekhnologiya" dlya studentiv silskogospodarskikh vishchikh navchalnikh zakladiv 3-4 rivniv akreditatsii zi spetsialnosti 6.092900 "Ekobiotekhnologiya" / M.D. Melnichuk, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk ta in. – K.: Vidavniy tsestr NAU. – 28.
21. Polishchuk V.M. 2012: Yekspres-metod viznachennya teplotvornoї zdatnosti biogazu /

V.M. Polishchuk, V.Є. Vasilenkov, M.M. Lobodko, V.S. Voloshin // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya: Zb. nauk. prats. – Kiiv. – № 174. Ch. 2 – 258-263.

**OPERATIONAL RELIABILITY
OF POWER CONTACT CONNECTIONS
OF ELECTRIC EQUIPMENT**

Summary. In paper the analysis of features of work and kinds of damages of power contact connections of an electric equipment is carried out. The technology of restoration of contacts is developed by pseudo-alloy МДК-3, the basic operations of technology of the soldering surfacing are presented, annual economic benefit is calculated.

Key words: reliability, contact, contact resistance, resource, wear, stability, pseudo-alloy.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСНЫХ МЭС

Людмила Титова, Иван Роговский

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Разработаны модели обеспечения заданных показателей безотказности, экономичности и долговечности функционирующего дизеля лесного МЭС, как функций нагрузки, наработки. Дано теоретическое обоснование оценки (назначение) межремонтных периодов эксплуатации в пределах времени типичного периода использования, типичного эксплуатационного цикла, полного расчетного срока службы к списанию.

Ключевые слова: эффективность, техническая эксплуатация, безотказность, долговечность, техническое обслуживание.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

С 1 июля 2012 года введены в действие требования Международного кодекса относительно управления безопасной эксплуатацией мобильных энергетических средств в лесном хозяйстве и предотвращения загрязнения для всех лесных МЭС независимо от назначения.

Согласно данному документу, каждое лесохозяйственное предприятие Украины должен разработать и реализовать систему управления безопасной эксплуатацией и предотвращение загрязнения и систему управления безопасной эксплуатацией и предотвращение загрязнения для каждого МЭС компании.

В основу разработки каждой системы в условиях ограниченного финансирования лесохозяйственных предприятий Украины, относятся задачи нахождения, разработки и реализации новых экономически эффективных методов технического использования, технического обслуживания и ремонтов двигателей МЭС.

Поэтому проблема повышения эффективности технической эксплуатации дизелей лесных МЭС есть актуальной.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе исследуются показатели безотказности, экономичности и долговечности функционирующего дизеля лесного МЭС, как функций нагрузки, наработки [1-8]. Подчеркнем, что к настоящему времени в этом направлении были получены отдельные разрозненные результаты [9-17].

В связи с этим возникает задача о выборе такой модели технической эксплуатации лесного МЭС, которая достаточно точно описывала реальную систему периодичности технического обслуживания [18-25].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является повышения эффективности технической эксплуатации дизелей лесных МЭС с учетом экологических требований.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования является процесс изменения технического состояния дизельного двигателя в реальных режимах и условиях эксплуатации.

Предметом исследования является безотказность, долговечность и ремонтпригодность отдельных элементов двигателя и двигателя в целом.

Методы исследования. При решении поставленных задач использовались основные положения математической статистики и теории надежности сложных технических систем в эксплуатации.

Подконтрольными двигателями избраны двадцать двигателей лесных МЭС.

Разработанная имитационная модель требований двигателей и их отдельных элементов к показателям безопасности (вероят-

ности безотказной работы), экологичности (вредным выбросам) и экономической эффективности элементов МЭС.

Математическая модель обеспечения заданных показателей безотказности, долговечности, экономичности и экологичности в рамках времени типичного периода использования (ресурса непрерывной работы, R_{ϕ}) функционирующего элемента дизеля и его элементов во время эксплуатации за оптимальной СТО как функция нагрузки (Pe) и наработки (t) имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_e \text{ в пределах } P_{emin}^{(H)} \leq P_e \leq P_{emax}^{(H)}, \\ n \text{ в пределах } n_{min}^{(H)} \leq n \leq n_{max}^{(H)}, \\ P^i(t) = f(Pe, t) \text{ при } P_{min}^{i(H)}(t) \leq P^i(t) \leq P_{max}^{i(H)}(t), \\ I^i = f(Pe, t) \text{ в пределах } I^i \leq I_{max}^i, \\ b = f(Pe, t) \text{ в пределах } b \leq b_{max}^{(H)}, \\ c = f(Pe, t) \text{ в пределах } c \leq c_{max}^{(H)}, \\ B_{ol}^i = f(Pe, t) \text{ при } B_{olmin}^i(H) \leq B_{ol}^i \leq B_{olmax}^i(H), \\ e_n^i = f(Pe, t) \text{ в пределах } e_n^i \leq e_{max}^{i(H)}, \\ P^{\Gamma D}(t) = f(Pe, t) \text{ в пределах } P_{min}^{\Gamma D(H)} \leq P^{\Gamma D}(t), \end{array} \right. \quad (1)$$

где: Pe – типичная характеристика внешнего нагрузки – двигателя $Pe(t)$,

t – фактический или планируемый наработка в пределах предназначенного ресурса непрерывной работы,

n – частота обращения,

$P^i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента дизеля,

$P^{\Gamma D}(t)$ – вероятность безотказной работы дизеля вообще,

I^i – износ i -го элемента дизеля,

b – удельная затрата топлива,

c – удельная затрата смазочного масла,

B_{ol}^i – i -и браковочный показатель смазочного масла,

e_n^i – i -и удельный вредный выброс,

$P_{emin}^{\Gamma D(H)}$, $n_{min}^{(H)}$, $P_{min}^{i(H)}(t)$, $P_{min}^{i(H)}(t)$, $P_{min}^{\Gamma D(H)}$,

$B_{olmin}^{i(H)}$ – минимальная оценка предназначенных границ исправного (безотказного), экономического и экологически чистого функционирования,

$P_{emax}^{\Gamma D(H)}$, $n_{max}^{(H)}$, $P_{max}^{i(H)}(t)$, $P_{max}^{i(H)}(t)$, I_{max}^i , $c_{max}^{(H)}$,

$b_{max}^{(H)}$, $e_{max}^{i(H)}$, $B_{olmax}^i(H)$ – максимальная оценка

предназначенных границ исправного (безотказного), экономического и экологически чистого функционирования.

Анализируя физическую сущность влияния приведенных выше параметров на обеспечение трудоспособности дизеля, можно сделать следующие выводы:

а) параметры функционирующего дизеля в заданных границах являются критериями исправности (безотказности) дизеля как функции нагрузки и наработки;

б) эти же параметры при выходе за установленные границы служат критериями отказы системы.

Осуществлена постановка задач исследований.

Паспортная характеристика, гистограмма и плотность распределения нагрузки дизеля представлены на рис. 1.

Разработанная диагностическая модель (ДМ) обеспечение заданных показателей безотказности и экономичности функционирующего дизеля (рис. 2).

Анализ модели показывает, что критериями отказы функционирующей системы есть технический стан системы и ее элементов, который косвенно характеризуется следующими параметрами:

а) температура наддувного воздух после охладителя, который косвенно характеризует технический стан тракта подачи воздуха для горения, °C:

$$t_{int} = f(Pe, t) \text{ в пределах } t_{intmin} \leq t_{int} \leq t_{intmax};$$

t_{intmin} и t_{intmax} отвечают минимуму и максимуму предназначенных границ безотказного (исправного) функционирования;

б) температура выпускных газов на выходе из цилиндра, который косвенно характеризует тепловое состояние деталей цилиндра-поршневой группы, °C:

$$tg = f(Pe, t) \text{ в пределах } tg_{min} \leq tg \leq tg_{max},$$

в) вероятность безотказной работы топливной аппаратуры (форсунок), $P^{\phi}(Pe, t)$:

$$P^{\phi}(t) = f(Pe, t) \text{ в пределах } P^{\phi}(t) \geq P^{\phi}(t)_{min},$$

г) удельная затрата топлива, $c/(кВт \cdot ч)$

$$b = f(Pe, t) \text{ в пределах } b \leq b_{max}.$$

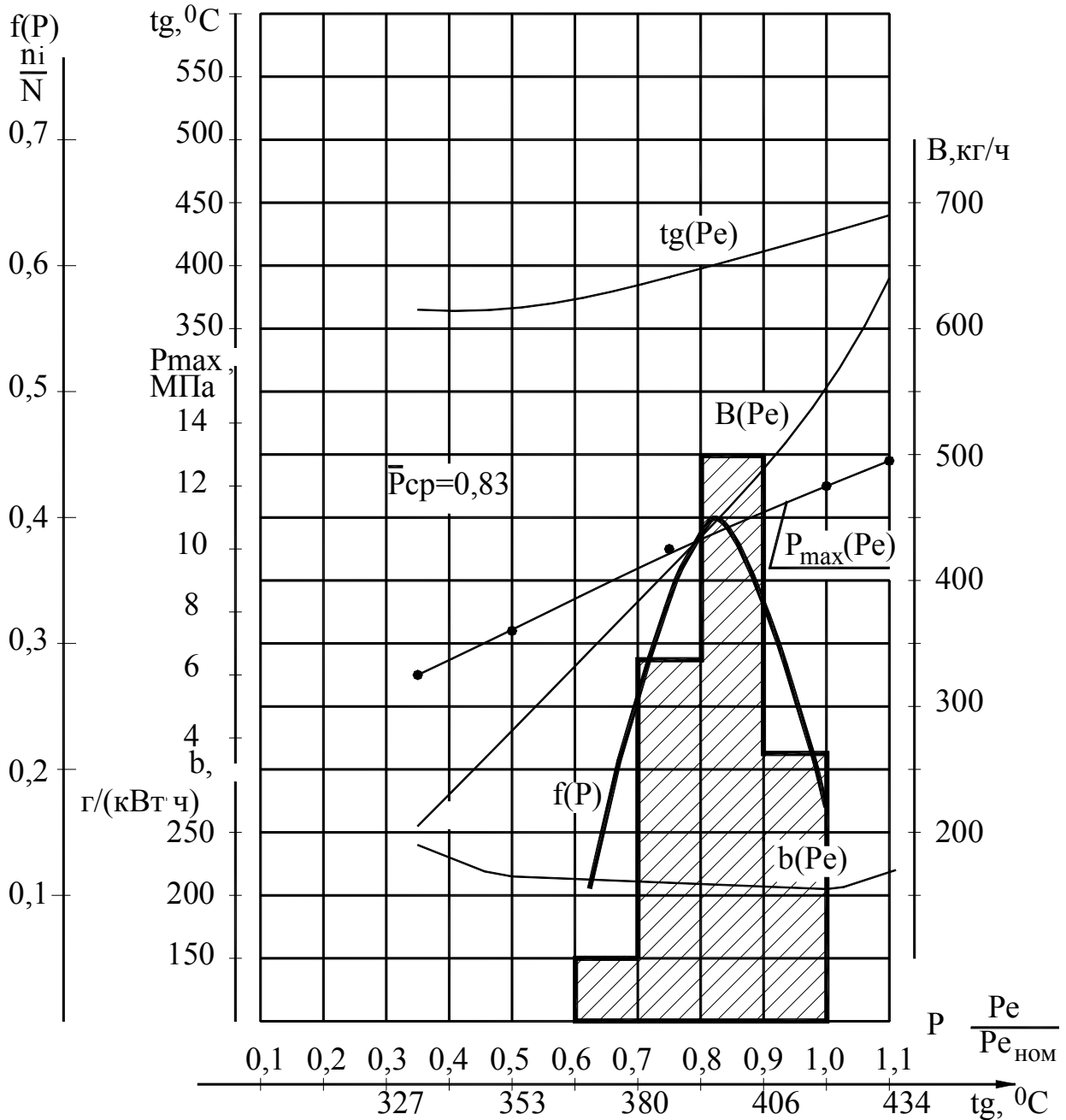


Рис. 1. Паспортная характеристика, гистограмма и плотность распределения нагрузки дизеля
Fig. 1. Passport characteristic, histogram and density of distribution of loading of diesel engine

Главным критерием назначения ресурса непрерывной работы (R_{δ}), а также формирование оптимальной, применено к реальным режимам и условиям эксплуатации, системы ТО принятый комплексный показатель надежности – коэффициент готовности, $\bar{K}_z^{R_{\delta}}$. Статистическая оценка коэффициента готовности в эксплуатации определяется по формуле:

$$\bar{K}_z^{R_{\delta}} = \frac{\sum R_{\delta i}}{\sum R_{\delta i} + \sum_{i=1}^n (\tau_{\delta i \delta i})}, \quad (2)$$

где: n – количество типичных i -х элементов системы; $\tau_{\delta i \delta i}$ – расчетное время восстановления работоспособности системы во время i -го отказа; $\sum R_{\delta i}$ – статистическая оценка суммарного времени использования дизеля по назначению; $\sum_{i=1}^n (\tau_{\delta i \delta i})$ – статистическая оценка суммарного времени восстановления работоспособности дизеля во время i -х отказов.

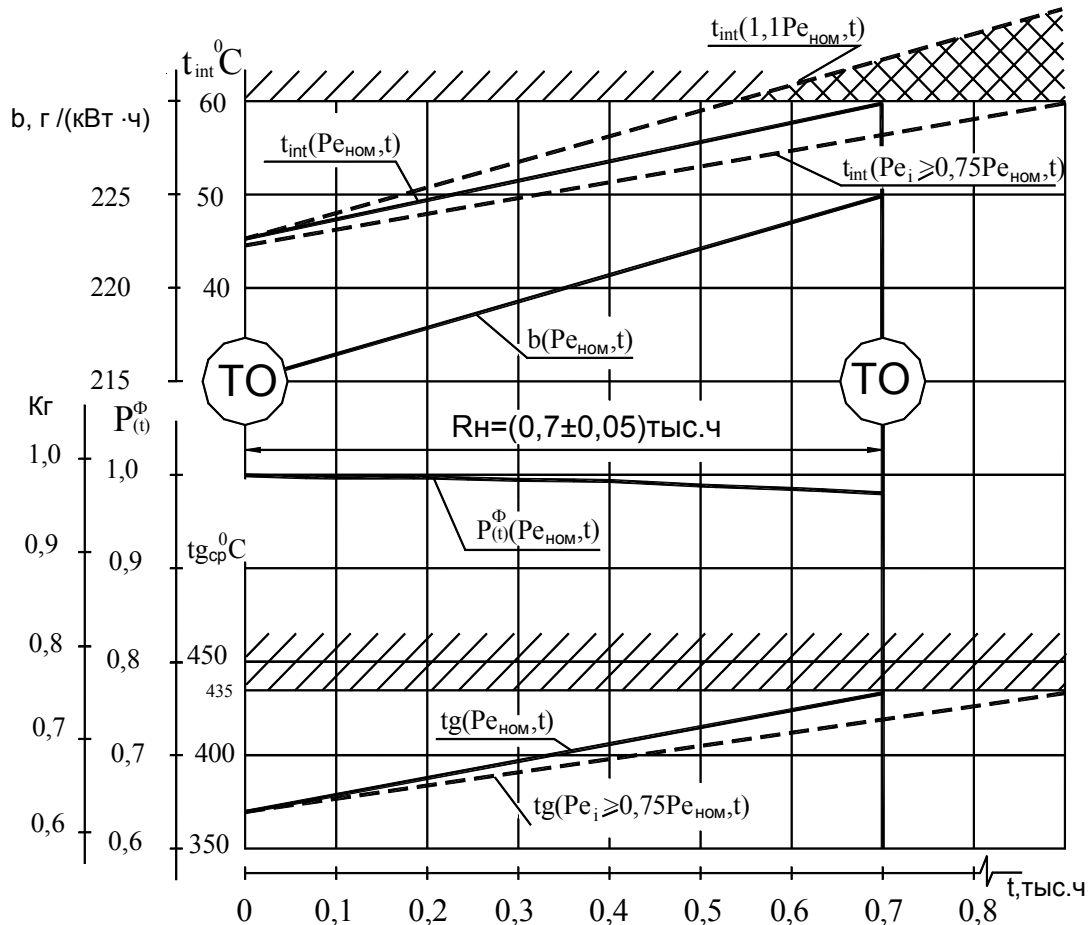


Рис. 3. Диагностическая модель оценки и обеспечения заданных показателей надежности функционирующего дизеля

Fig. 3. Diagnostic model of estimation and maintenance of set indicators of reliability of functioning diesel engine

Предназначенный ресурс непрерывной работы за ДМ $R_0 = (0,7 \pm 0,05) \cdot 10^3 \text{ год}$. Даная ДМ определяет оптимальную, относительно к реальным режимам и условиям эксплуатации, систему технического обслуживания (СТО). Расчетная оценка коэффициента готовности при порядка обслуживания, который предусматривает немедленное начало восстановления работоспособности объекта, который отказал $K_z \geq 0,997$. Хронометрирование деталей и сборочных единиц дизеля проводились микрометрическим образом. Для выявления невидимых дефектов применялись следующие методы дефектоскопии: масляная, цветная, ультразвуковая, капиллярная. Средний размер срабатывания отдельных деталей рассчитывался за формулой:

$$\bar{I}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (3)$$

где: m_i – число измерений величины срабатывания, которые попадают в заданный интервал; n – количество заданных интервалов.

Расчетная скорость срабатывания исследуемой детали дизеля:

$$V_p = V_p(Pe, t) = \bar{V}_{cp} \left(1 + \Delta \bar{V}_{max} \right), \quad (4)$$

где: \bar{V}_{cp} – среднее значение скорости срабатывания в рассмотренной выборке (N):

$$\bar{V}_{cp} = I_B / T_{cp}; \quad (5)$$

где: I_B – верхняя доверительная граница средней величины срабатывания, определяется согласно подобранным теоретическим законам распределений при доверительной вероятности β (заданная $\beta = 0,95$).

$\Delta \bar{V}_{max}$ – математическое ожидание неравномерности скорости срабатывания:

$$\Delta \bar{V}_{max} = \sum_{i=1}^n \Delta V_{imax} / N_i . \quad (6)$$

Определение расчетной величины долговечности (ресурсной характеристики) отдельного элемента технической системы за срабатыванием осуществляется за формулой

$$R_{пред} = I_{пред}^i / V_p^i , \quad (7)$$

где $I_{пред}^i$ – предельно допустимое срабатывание детали согласно инструкции завода-изготовителя дизеля.

Гамма-процентные ресурсы рассчитывались согласно подобранным законам, которым подчиняются распределения срабатывания. В процессе обработки статистических данных получены следующие результаты.

Втулка цилиндровая (ВЦ). Самое большое срабатывание ВЦ находится в плоскости обращения шатуна и приходится на район расположения первого поршневого кольца при положении поршня в верхней мертвой точке. С учетом хонингования рабочей поверхности втулки во время заминания полного комплекта поршневых колец ($R_{П2}$) для получения оптимальной жесткости сопряжения деталей: зеркала втулки цилиндров, поршневых колец, поршня, гамма-процентный ресурс $R_{95}^{ВЦ} \geq 12$ тыс. ч.

Первое поршневое кольцо (ПК). Главным критерием, который характеризует долговечность первого поршневого кольца во

время эксплуатации за оптимальной СТО, есть процесс срабатывания соединений “первая поршневая канавка - первое поршневое кольцо” – изменение зазора по высоте и увеличение зазора в стыке поршневого кольца. Гамма-процентный ресурс $R_{95}^{ПК} \geq 15$ тыс. ч.

Головка поршня. Основным критерием долговечности головки поршня есть срабатывания канавки под первое ПК по высоте. Гамма-процентный ресурс к переходу на первый ремонтный размер – $R_{80}^{порш} \geq 14$ тыс. ч.

Рубашка цилиндра. Установлено, что критерием долговечности рубашек цилиндров есть вероятность безотказной работы данного элемента как функция нагрузки и наработки. За исследуемый период (15000 ч) зарегистрировано девятнадцать отказов вследствие развития трещин в зоне технологического паза посадочного бурт - района отверстия для прохода шпильки крышки цилиндра. Результаты математической обработки статистических данных относительно отказов рубашек цилиндров представлены на рис. 3: $\bar{P}(t)$ – статистическая оценка вероятности безотказной работы; $P(t)$, $\mu(t)$, $\lambda(t)$ – расчетные оценки количественных характеристик надежности согласно усеченному нормальному закону. Гамма-процентный ресурс $R_{80}^{ПК} \geq 14$ тыс. ч.

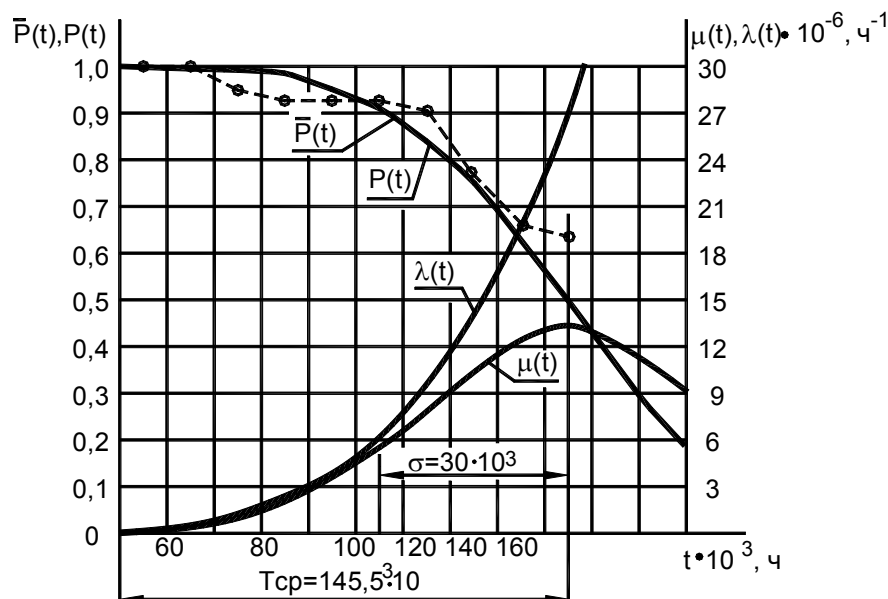


Рис. 3. Распределение единичных показателей безотказности и долговечность рубашек цилиндров дизелей

Fig. 3. Distribution of individual indicators of non-failure operation and durability of shirts of cylinders of diesel engines

Клапаны впускные и выпускные. Критерием долговечности клапанов есть процесс срабатывания соединения “нижняя направляющая втулка - шток клапана”.

Необходимо отметить, что соединение впускных клапанов обрабатываются немного интенсивнее, чем выпускных. Гамма-процентный ресурс втулок клапанов $R_{80}^{KL} \geq 45$ тыс. ч.

Коленчатый вал. В периоды ремонтов контроль стана коленчатого вала ведется по шейкам. Гамма-процентный ресурс $R_{80}^{KB} \geq 140$ тыс. ч.

На двигателях исследуемой марки имеет место срабатывания соединения опорных поверхностей и рубашки цилиндра. Гамма-процентный ресурс к первому растачиванию опорной поверхности – $R_{90}^{остов} \geq 60$ тыс. ч.

Анализ показывает, что главным критерием, который определяет предназначенный ресурс к первому перебираню, есть процесс срабатывания первого поршневого кольца в стыке. Необходимая разборка двигателя для его замены. За данной ДМ предназначенный ресурс к первому перебираню $R_{II} = (12 \pm 3)$ тыс. ч.

Главными критериями, которые определяют ресурс к второму перебираню есть процесс срабатывания поршневых колец, а также требования инструкции завода-изготовителя к техническому стану вкладышей. За данной ДМ предназначенный ресурс к второму перебираню $R_{II2} = (30 \pm 3)$ тыс. ч.

Данная последовательность СТО и перебирание двигателя определяет оптимальную, относительно к реальным режимам и условиям эксплуатации, систему технического обслуживания (СТО).

Критерием оценки оптимальности СТО принят коэффициент технического использования в пределах времени, которое определяется эффективность технической эксплуатации.

Формула расчетов затраты и снабжения сменных и запасных частей обменного фонда отдельных j-х элементов сложной технической системы (лесного МЭС) на i-й календарный год заказа имеет следующий вид:

$$N_{\text{витр}}^j = \frac{\sum_{j=1}^n (T_{\text{витр}} - T_{\text{уст}}) \cdot t_{\text{ре}}^{(j)}}{R_{\text{повн}}^j}, \quad (8)$$

где: n – количество j-х элементов;

$t_{\text{ре}}^{(j)}$ – планированное среднее наработка j-го элемента системы за типичный год эксплуатации, тыс. ч;

$R_{\text{повн}}^j$ – полный ресурс j-го элемента системы к списанию, тыс. ч;

$T_{\text{витр}}$ – планированный календарный год снабжения заказа j-го элемента системы, год;

$T_{\text{уст}}$ – календарный год установки (начала эксплуатации) j-го элемента на МЭС, год.

Стоимость заказа на снабжение j-х элементов на i-й год эксплуатации лесного МЭС, которое планируется:

$$C_{\text{витр}} = \sum_{j=1}^N C^j, \quad (10)$$

где: C^j – стоимость j-го элемента системы по состоянию на момент заказа, долл.

Установлено расчетные нормы затраты и снабжения сборочных единиц и деталей дизеля на все рассмотренные виды ТО.

Сопоставление имитационной модели требований с полученными данными исследований по проблеме, которая решается, во время типичного периода использования лесного МЭС $R_6 = (12 \pm 3)$ месяцев, типичного эксплуатационного цикла (ЭЦ) $R_{ЭЦ} = [(12 \pm 3) \cdot 5]$ месяцев и полного срока службы к списанию ≥ 12 лет (табл. 1).

При этом условный годовой экономический эффект разработки – 6,4 тыс. долл. на одно лесное МЭС.

Плановый срок окупаемости затрат на разработку диагностических моделей оптимальной системы технического обслуживания и их реализация в системе управления безопасностью типичных лесохозяйственных предприятий составляет 0,62 года.

ВЫВОД

Разработана и выведена диагностическая модель обеспечения заданных показателей безотказности и экономичности функционирующего дизеля лесного МЭС. За данной моделью уточнен ресурс бесперебойной работы дизеля, разработан регламент и определенные объемы обязательных работ относительно проведения технического обслуживания.

Таблица 1. Имитационная модель требований к показателям надежности, экономичности, экологичности лесного МЭС, отдельных элементов и вопрос ее реализации
Table 1. Imitating model of requirements to indicators of reliability, profitability, ecological compatibility wood MES separate elements and a question of its realisation

Показатель, который контролируется (ISO серии 9000 1-4)	Размерность	Свойство	Требования	Решаемая проблема по ТО		
				Эксплуатация за исходными инструкциями	Эксплуатация за диагностической моделью	Изменение показателя
Предназначенный ресурс непрерывной работы, R_b	тыс. ч.	долговечность	$\leq (12 \pm 3)$ мес	$1 \pm 0,05$	$0,7 \pm 0,05$	-0,3
Коэффициент готовности, K_G	—	безотказность + долговечность + ремонтпригодность	≥ 1	0,987	0,997	+0,01
Удельная затрата топлива, $b_{(Pe,t)}$	г/(кВт·ч)	экономичность	$\geq b_{min}$	225	220	-0,05
Удельная затрата смазочного масла, $c_{(Pe,t)}$	г/(кВт·ч)	экономичность	$\geq c_{min}$	1,9	1,9	—
Вредный выброс с выпускными газами, по оксидах азота, $e_n(Nox)^*$	г/(кВт·ч)	экологичность	$\leq 12,88$	12,88	12,2	-0,4
Коэффициент технического использования, $K_{ТВ}$	—	долговечность + ремонтпригодность	$K_{ТВ}$ расчёт	0,8	$\geq 0,85$	+0,05
Полный ресурс к списанию, R_C	тыс. ч.	долговечность	≥ 12 лет	100	$\geq (120 \pm 6)$	+20

ЛИТЕРАТУРА

1. Galiullin P.P. 2009: Povyshenie effektivnykh pokazatelej traktornykh dizelej elektronnyim upravleniem toplivopodachi: Diss. dokt. tekhn. nauk. – Sankt-Peterburg-Pushkin. – 600.
2. Dvigun 2004: Dviguni vnutrshnego sgoraniya: serya pdruchnikv u 6 tomakh. T. 3. Komp'yutern sistemi keruvannya DVZ / Za red. prof. A.P. Marchenka ta zasl. dyacha nauki ukrani prof. A.f. Shekhovtsova. – Kharkv: Prapor. – 344.
3. Olesov I.Y. 2005: Povyshenie ekonomicheskikh, effektivnykh i ekologicheskikh kachestv avtotraktornogo dizelya ispolzovaniem metoda otklyucheniya-vklyucheniya tsilindrov i tsiklov: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – M. – 201.
4. Krushedolskij O.G. 2007: Modelyuvannya robochikh protsesv transportnykh dizelv na ekspluatatsijnikh rezhimakh [Tekst]: Navch. posbnik / O.G. Krushedolskij; Ukranska derzhavna akademya zalzничного transportu. – Kh.: Ukrdazt. – 218.
5. Pojda A.N. 2007: Model monitoringa zagruzki avtotraktornykh dizelej v ekspluatatsii // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – №2. – 126-131.
6. Beshun O.A., Gumennij S.S. 2012: Analz rezhimv roboti zavantazhenost dvigunv samokhdnikh lsovikh mashin // Zbrnik naukovikh prats / Visnik magistraturi Tekhnchnogo NHI Natsionalnogo unversitetu biopeycpiv i prirodokoristuvannya Ukrani. – K., – Vip. 2. – 58-63.
7. Golovchuk A.F. 2012: Uluchshenie toplivnoj ekonomichnosti i snizheniya dymnosti traktornykh dizelej putem sovershenstvovaniya sistemi avtomaticheskogo regulirovaniya: Monografiya / A.F. Golovchuk – Kharkov: KNADU. – 472.
8. Tyrnov Y.A. 2001: Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya mashinno-traktornykh agregatov sovershenstvovaniem sistem kontrolya rezhimov ikh raboty: Dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.20.01, 05.20.03. – Tambov. – 333.
9. Vodyanik I.I. 1994: Ekspluatatsijn vlastivost traktorv avtomoblv. – K.: Urozhaj. – 222.
10. Luschtskij Y.V. 1985: Ekspluatatsionnyj raskhod topliva i metod ego opredeleniya / Luschtskij Y.V., Kosulin A.G. // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – Kh. – Vyp. 41. – 96-104.
11. Traktory 1981: Traktory. Ch. III. Konstruirovaniye i rascht: [Ucheb. posobie dlya vtuzov po spets. "Avtomobili i traktory" / V.V. Guskov, I.P. Ksenevich, Y.E. Atamanov, A.S. Solonskij]; Pod obsch. red. V.V. Guskova. – Mn.: Vysh. shkola. – 383.
12. Flppov A. 2001: Pro mozhlivst regulyuvannya potuzhnost bagatotsilndrovikh dizelnikh dvigunv metodom vdklyuchennya okremikh robochikh tsiklv / Flppov A., Beshun O., Krasowski E. // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, Natsionalnij agrarnij unversitet, Kyiv, Polska Akademia Nauk Oddzial w Lublinie. – Lublin. – T. 1. – C. 33-37.
13. Flppov A.Z. 2005: Matematichna model dinamiki bagatotsilndrovogo dizelnogo dviguna z regulyuvannyam potuzhnost vdklyuchennyam okremikh robochikh tsiklv (drts) / A.Z. Flppov, O.A. Beshun, S.I. Topchj // Naukovij vsnik Nats. agrarn. un-tu. – Kyiv. – Vip. 80. – 317-325.
14. Filippov A. 2005: Dinamika dizelnogo DRTS (Dvigatelya s regulirovaniem moschnosti otklyucheniem otdelnykh rabochikh tsiklov) / A. Filippov, A. Beshun, Y. Gerasimchuk, O. Gluhovska, L. Evchenko // MOTROL: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – Lublin. – T.7. – C. 83–91.
15. Flppov A.Z. 2009: Sistema regulyuvannya potuzhnost bagatotsilndrovogo dizelya vidklyuchennyam robochikh tsiklv z sinkhronnim pripinennyam protsesv gazoobminu / Flppov A.Z., Beshun O.A. // Sakon'09: Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojednych: Zarzadzanie i marketing w motoryzacji. – Rzeszov. – T. XX. – 127-131.
16. Peters G. 2007: Cylinder deactivation on 4 cylinder engines: A torsional vibration analysis [text] / Gilbert Peters // Eindhoven University of Technology (TU/e), DCT 2007-11. February 15, 2007. – 83.
17. Howard G. 1983: 2, 4, 6, 8. Which cylinder shall we operate // Motor (L), 1983, – 25 VI. – №4207. – 52-53.
18. Boltyanskaya Natalya. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurentosposobnosti yeye produktsii / Natalya Boltyanskaya // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Tom. 14, No 3. – 164-176.
19. Watanabe E. 1982: Cylinder Cut-off of 4-stroke Cycle Engines at Part-Load and Idle / Watanabe E., Fueutani I. // SAE Technical Paper 820156. – 9.

20. Linnik A.V. 1983: Povyshenie ekspluatatsionnoj toplivnoj ekonomichnosti transportnykh dizelej putm avtomaticheskogo regulirovaniya chisla rabotayuschikh tsilindrov: Dis... kand. tekhn. nauk.: 05.04.02. – Kh. – 134.
21. Gennadiy Golub, Oleg Marus. 2011: Optimizatsiya parametriv mashin ta obladnannya Motrol Motoryzacja i energetyka rolnictwa Tom 13 B Lublin 15–17.
22. Balabin V.N. 2007: Regulirovanie transportnykh dvigatelej otklyucheniem chasti tsilindrov. Monografiya. – M.: GOU "Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transporte. – 143.
23. Medvedv A.N. 2008: Povyshenie toplivnoj ekonomichnosti avtomobilnykh dizelej otklyucheniem chasti tsilindrov: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – Chelyabinsk. – 138.
24. Khusainov V.N. 2011: Obosnovanie metodiki i razrabotka tekhnicheskikh sredstv dlya issledovaniya effektivnosti konvertatsii dizelej na regulirovanie rezhimov raboty propuskom rabochikh khodov porshnem: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – Sankt-Peterburg-Pushkin. – 116.
25. Strashnov S.V. 2012: Regulirovanie dizelya 6CH11/12,5 izmeneniem chisla rabotayuschikh tsilindrov ili tsiklov: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – M. – 18.

EFFECTIVENESS OF TECHNICAL MANUAL FOREST MES

Summary. Models of maintenance of set indicators of non-failure operation, profitability and durability of functioning diesel engine wood MES, as functions of loading, an operating time are developed. The theoretical substantiation estimations of between-repairs periods of operation within time of typical period of use, typical operational cycle full of settlement service life to write-off is given.

Key words: efficiency, technical operation, non-failure operation, durability, maintenance service.

НОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Леонид Роговский¹, Оксана Зазимко¹, Сергей Кюрчев², Наталья Болтыанская²

*¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

*²Таврический государственный агротехнологический университет
Украина, г. Мелитополь, пр. Богдана Хмельницкого, 18*

Leonid Rogovskiy¹, Oksana Zazimko¹, Sergei Kyurchev², Natalia Boltyanskaya²

*¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

²Taurian State Agrotechnological University

Avenue Bohdan Khmelnytsky, 18, Melitopol, Ukraine

Аннотация. Составлена математическая модель нормирования времени механической обработки в общем виде. Исследованы характеристики деталей типа “ступенчатый вал”. По результатам исследования составлена математическая модель нормирования времени механической обработки ступенчатых валов.

Ключевые слова: норма времени, математическая модель нормирования, характеристики деталей.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Время, которое тратится на изготовление деталей, является определяющим фактором при построению производственного процесса. Нормы времени является основой для оплаты труда, расчетов себестоимости готовой продукции, продолжительности производственного цикла, необходимого количества станков, инструмента и рабочих, а также планирование всего производства.

Норма искусственного времени определяется на основании расчетов основного времени, частица которого в общей норме искусственного времени наиболее значительная. Все другие составляющие искусственного времени нормируются в процентах к основному времени. При этом если для аппаратурных технологических процессов (термических, гальванических и т.п.) основное время определяется на основании паспортных данных оборудования, то для механической обработки необходимо проведение соответствующих расчетов. Расчеты основного времени механической обработки мо-

жет осуществляться аналитически-расчетным и аналитически-исследовательским методами. При аналитически-расчетном методе нормы затрат работы рассчитываются на основе карт технологического процесса производства деталей. Этот метод есть наиболее теоретически обоснованным. Однако при этом установление технических норм времени осуществляется на завершающем этапе разработки технологического процесса, который чрезвычайно замедляет и усложняет процесс нормирования.

Аналитически-исследовательский метод является более точным методом установления технических норм времени, чем аналитически-расчетный. Однако в мелкосерийном и единичном производствах, которые не имеют в отличие от крупносерийного и массового производств стойкой номенклатуры обрабатываемых деталей, применение аналитически-исследовательского метода, который требует много времени и затрат работы квалифицированного работника по техническому нормированию, не оправдывается. Особенно остро проблема быстрого определения норм времени возникает в процессе технико-коммерческого прodelывания заказов, когда необходимо в сжатый срок оценить себестоимость продукции и сроки выполнения заказа. Такая проблема актуальная, прежде всего, для предприятий трудного машиностроения, где преобладает единичное и мелкосерийное производство. Поэтому в единичном и мелкосерийном производствах определения нормы времени часто проводится по типичным нормам,

которые составлены аналитическим методом для типичных технологических процессов.

Таким образом, в условиях единичного и мелкосерийного производства остро стоит проблема быстрой и качественной оценки трудоемкости изготовления деталей на стадии технико-коммерческого прodelывания проекта.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как показал проведенный анализ структуры затрат рабочего времени, в общей норме искусственного времени наиболее значительная частица основного времени, которое может доходить до 80 % [1]. Поэтому обычно при определении трудоемкости изготовления продукции рассчитывается основное время, а все другие составляющие нормируются в процентах от основного [2]. В то же время расчеты основного времени является завершающим этапом проектирования технологического процесса [3]. При этом основное место в большинстве областей машиностроения занимает обработка металлов снятием стружки на металлорежущих станках разных типов [4]. В мелкосерийном и единичном производствах удельный вес механической обработки представляет до 90 % общей трудоемкости изготовления изделий.

Анализ опыта применения существующих методов нормирования мехобработки деталей оказал трудности их использования на предприятиях с высокой вариативностью номенклатуры обрабатываемых деталей характерной для мелкосерийного и единичного производств [5-7]. Так аналитически-исследовательский метод практически не применяется на таких предприятиях, поскольку отсутствие стойкой номенклатуры обрабатываемых деталей исключает возможность изучения и анализа каждой нормированной операции на рабочем месте. Аналитически-расчетный метод требует много затрат времени и работы квалифицированного технолога и часто не позволяет в приемлемый срок выполнить технико-коммерческое прodelывание заказа [8]. Применение же метода нормирования по типичным деталям часто дает высокую погрешность (до 30 %), потому что в условиях

единичного производства через значительные конструктивные расхождения между нормированной деталью и деталью-аналогом бывает очень сложно оценить различие в нормах времени [9].

Частичное решение проблемы сокращения времени проведения нормировочных работ решается в рамках создания систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) [10]. Однако САПР ТП позволяет лишь автоматизировать технологическую подготовку и не дает возможности определения норм времени без проектирования технологического процесса [11].

Исходя из проведенного анализа методов нормирования и производственного опыта, для сокращения сроков и снижения трудоемкости проведения нормировочных работ поставленная цель разработки методики определения норм времени без предыдущего проектирования технологического процесса изготовления детали. Точность расчетов норм при этом не должна быть ниже соответствующей нормативной точности [12].

Набор признаков, которые обуславливают трудоемкость их изготовления. Тогда, учитывая то, что в единичном и мелкосерийном производствах детали, как правило, обделываются последовательно, в общем виде процедуру нормирования будет описывать следующая система [13]:

$$\begin{cases} T_i = f_i(\bar{X}_i) \\ T_o = f_o(\bar{X}_o) \\ T_o = \sum_{i=1}^n T_i \\ \bar{X}_o^{\min} \leq \bar{X}_o \leq \bar{X}_o^{\max} \end{cases} \quad (1)$$

где: $i = 1 \dots n$ – номер технологической операции; n – число технологических операций; T_i – норма времени на выполнение i -той технологической операции; T_o – общая норма времени на изготовление детали; f_i и f_o – соответственно функции, которые описывают зависимость нормы времени на выполнение i -той технологической операции и общей нормы времени от характеристик детали; \bar{X}_o – вектор характеристик детали; \bar{X}_i – векторы характеристик детали, которые влияют на

НОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

величину T_i ; \bar{X}_o^{\min} и \bar{X}_o^{\max} – соответственно векторы минимальных и максимальных значений вектора \bar{X}_o .

Компоненты векторов \bar{X}_i выбираются из числа компонентов вектора \bar{X}_o . Значение \bar{X}_i и \bar{X}_o^{\max} задают границы области проектирования и могут быть определены или как минимальное и максимальное значения соответствующей характеристики среди всех деталей группы, или задаваться исходя из характеристик деталей, для которых предполагается выполнять нормирование [14-15].

На примере группы ступенчатых валов, которые является широко распространенным типом деталей и присутствующие практически в каждой машине или механизме, был проведен анализ факторов, которые влияют на продолжительность технологических операций, который позволил сгруппировать выявленные факторы согласно трех категорий: “Масса и габаритные размеры”, “Конструктивные особенности” и “Характеристики поверхностей”. Категории имеют следующую структуру [16-21]:

1. Категория “Масса и габаритные размеры”:

- масса вала – m ;
- длина вала – L ;
- максимальный (D_{\max}) и минимальный (D_{\min}) диаметры степеней вала;

2. Категория “Конструктивные особенности”:

- число степеней на вале – $n_{ст}$, пазов – $n_{п}$, отверстий – n_o , резьб – n_r и проточек – $n_{пр}$;

3. Категория “Характеристики поверхностей”:

- твердость поверхности вала по Бринеллю – HB ;
- минимальная шершавость поверхностей – Ra_{\min} ;
- минимальный квалитет точности диаметральных размеров – h_{\min} ;
- средняя точность диаметральных размеров детали – $h_{ср}$;
- средняя шершавость поверхностей детали – $Ra_{ср}$;
- коэффициент высокоточных (K_h) и высокочистых (K_{Ra}) поверхностей.

Коэффициенты высокоточных и высокочистых поверхностей оценивают частицу степеней вала с высокими требованиями, для

достижения которых необходимо применение абразивной обработки поверхностей. Исходя из возможностей методов механической обработки, к высокоточным можно отнести поверхности с 7 квалитетом точности диаметральных размеров и ниже, а к высокочистым – поверхности с шершавостью Ra 3,2 мкм и ниже.

Коэффициенты исчисляются по следующим формулам:

– коэффициент высокоточных поверхностей:

$$K_h = \frac{\sum_{i=1}^{n3} l_i}{L}, \quad (2)$$

где: $n3$ – число квалитетов, отнесенных высокоточных;

l_i – суммарная длина поверхностей с высокими квалитетами точности;

L – общая длина детали.

– коэффициент поверхностей с низкой шершавостью:

$$K_{Ra} = \frac{\sum_{i=1}^{n4} l_i}{L}, \quad (3)$$

где: $n4$ – число стандартных значений шершавости, отнесенных низких;

l_i – суммарная длина поверхностей с низкой шершавостью.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью исследования является усовершенствования нормирования времени механической обработки деталей в условиях единичного и мелкосерийного производства с помощью разработки методики определения норм времени механической обработки деталей без предыдущего проектирования технологического процесса изготовления детали.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ карт технологических процессов производства ступенчатых валов показал, что для обработки ступенчатых валов применяется 4 типа технологических операций: токарная, расточная, фрезерная и шлифовальная. Общее время изготовления валов определяется как сумма норм времени по операциям. Тогда математическая модель нормирования времени механической обработки ступенчатых валов будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_T = f_T(\bar{X}_T) = f_T(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{CT}, n_{II}, n_P, n_{PP}, Ra_{\min}, h_{\min}, K_{Ra}, K_h, Ra_{cp}, h_{cp}, HB) \\ T_P = f_P(\bar{X}_P) = f_P(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{II}, n_O, n_{CT}, n_{PP}, K_{Ra}, K_h, Ra_{cp}, h_{cp}, HB) \\ T_\Phi = f_\Phi(\bar{X}_\Phi) = f_\Phi(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{II}, n_{CT}, n_{PP}, K_{Ra}, K_h, Ra_{cp}, h_{cp}, HB) \\ T_{III} = f_{III}(\bar{X}_{III}) = f_{III}(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{CT}, n_{II}, n_{PP}, Ra_{\min}, h_{\min}, K_{Ra}, K_h, Ra_{cp}, h_{cp}, HB) \\ T_O = f_O(\bar{X}_O) = f_O(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{CT}, n_{II}, n_P, n_{PP}, n_O, Ra_{\min}, h_{\min}, K_{Ra}, K_h, Ra_{cp}, h_{cp}, HB) \\ T_O = T_T + T_P + T_\Phi + T_{III} \\ \bar{X}_O^{\min} \leq \bar{X}_O \leq \bar{X}_O^{\max} \end{array} \right. \quad (4)$$

где: $T_T, T_P, T_\Phi, T_{III}, T_O$ – соответственно нормы времени на токарную, расточную, фрезерную, шлифовальную операции и общее время обработки;

$f_T, f_P, f_\Phi, f_{III}, f_O$ – зависимости между нормами времени на соответствующие технологические операции, общим временем обработки и характеристиками детали;

$\bar{X}_T, \bar{X}_P, \bar{X}_\Phi, \bar{X}_{III}, \bar{X}_O$ – векторы характеристик детали, которые влияют на продолжительность соответствующей технологической операции и общее время обработки.

Следует отметить, что не существует аналитических выражений, которые описывают зависимость норм времени на обработку от характеристик деталей. Сложность формализации влияния факторов на время обработки возникает через многопараметрического технологического процесса изготовления деталей. Отдельные факторы и их соединения предоставляют явное и скрытое влияние на ход и структуру производства детали, меняя тем самым трудоемкость производства и ее распределение по видам технологических операций. Причем ряд факторов одновременно могут так влиять на разные параметры технологического процесса, что их изменение приводит как к снижению, так и к увеличению времени обработки.

Для реализации этого подхода предлагается применения нейросетевых технологий. Как исходная информация для обучения нейросетей используются данные о деталях, изготовленных в предыдущих периодах. Значение компонентов вектора характеристик деталей выбираются из чертежей деталей, а значение норм времени из соответствующих карт технологических процессов. Применение нейронных сетей позволит построить модель способную не только инте-

грировать, но и обобщать теоретические знания и производственный опыт, заложенные в технологических процессах деталей группы. Для реализации модели нормирования (1) в нейросетевому логическом базисе, построенная система технического нормирования времени мехобработки деталей, структурная схема которой представлена на рис. 1.

Система составляется с $n+1$ модулей, которые представляют собой независимые нейронные сети – $НМ_i$ ($i = 1 \dots n$, n – число технологических операций, которые используются для обработки детали). На входы подаются m_i характеристик деталей из набора \bar{X}_O . На выходах сетей формируются сигналы T_i . Если какая-нибудь характеристика детали отсутствующая, то на соответствующий вход подается нуль. При отсутствии какой-нибудь вида технологической операции, на соответствующем выходе также формируется нуль. С помощью отдельной $НМ_0$ определяется общее время механической обработки изделия (T_O). Параллельно общее время рассчитывается как сумма прогнозных норм времени механической обработки детали по операциям ($T_{сум}$). Полученные величины подаются на сумматор, который выполняет функцию сравнения. Сумматор выдает величину D , что характеризует расхождение между суммой прогнозов по операциям и прогнозом общего времени. Низкая величина D позволяет судить о высокой достоверности прогноза. В качестве нейронных модулей системы используются трехслойные с распределительными нейронами во входном пласте, нейроном типа “адаптивный сумматор” в скрытом пласте:

$$\varphi(s) = \frac{2}{1 + e^{s+\alpha}} - 1, \quad (5)$$

где: $\varphi(s)$ – нейронный сдвиг; s – взвешенная сумма входного сигнала.

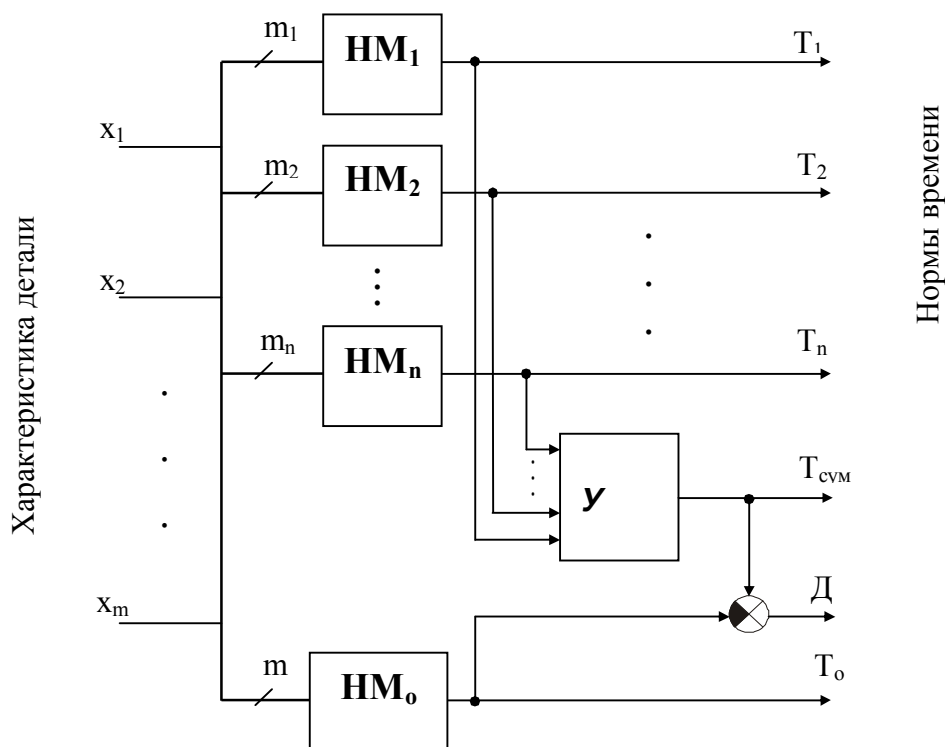


Рис. 1. Структурная схема системы технического нормирования времени механической обработки деталей

Fig. 1. Block diagram of the system of technical regulation time mechanical treatment of details

Тогда каждый нейронный модуль будет реализовывать аналитическое преобразование входного пространства характеристик деталей в исходное пространство норм времени с помощью функции:

$$T(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^{N_H} \left(\frac{2w_{3j}}{1 + \exp\left(\sum_{i=1}^m x_i w_{2ji} + \alpha_j\right)} - w_{3j} \right), \quad (6)$$

где: T – норма времени на технологическую операцию;

x_i – характеристики детали ($i = 1 \dots m$);

m – число характеристик детали, которые влияют на величину нормы времени;

w_{3j} – весовые коэффициенты исходного нейрона ($j = 1 \dots N_H$);

N_H – количество нейронов в скрытом пласте;

w_{2ji} – весовые коэффициенты j -го нейрона скрытого пласта;

α_j – коэффициент сдвига j -го скрытого нейрона.

Предложенная система нормирования времени может использоваться при технико-коммерческом прodelывании заказов.

Из отдела маркетинга поступает требование технико-коммерческого прodelывания заказа в отдел Главного конструктора, который передает комплект чертежей деталей в отдел Главного технолога для определения трудоемкости мехобработки. Согласно принятой системе классификации деталей идентифицируется группа, к которой принадлежит каждая деталь, и по номеру группы выбирается система, наученная нормированию в этой группе. Факторы, которые описывают деталь, подаются на входы системы через данные, что переводит исходные дани в формат по формуле:

$$x_i' = \frac{\left(x_i N_p - \sum_{i=1}^{N_p} x_i \right) \sqrt{N_p(N_p - 1)}}{N_p \sqrt{N_p \sum_{i=1}^{N_p} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N_p} x_i \right)^2}}, \quad (7)$$

где: N_p – количество примеров в учебной выборке.

Интерпретатор ответа превращает исходные сигналы нейронных модулей в нормы времени по формуле:

$$T^H = \frac{(T^c + N_H)(T_{\max} - T_{\min})}{2N_H} + T_{\min}, \quad (8)$$

где: T^c – исходный сигнал сети; T_{\min} и T_{\max} – соответственно минимальное и максимальное значения нормы времени на технологическую операцию в учебной выборке, а также выполняет фильтрацию шума по формуле:

$$T = \begin{cases} T, & T > T'_{\min} \delta_{\max} \\ 0, & T < T'_{\min} \delta_{\max}, \end{cases} \quad (9)$$

где: T'_{\min} – минимальное отличное от нуля значения нормы времени для данной технологической операции в учебной выборке;

δ_{\max} – заданная максимально допустимая погрешность расчетов норм времени.

В режиме проектирования системы осуществляется проверка примеров на противоречивость и тождественность другим примерам, нормализацию входных сигналов по формуле (7) и исходных – по формуле:

$$T^H = \frac{2N_H(T - T_{\min})}{T_{\max} - T_{\min}} - N_H, \quad (10)$$

где: T – норма времени на технологическую операцию, а также выделение опорных примеров, формирование учебной и тестовой выборок и рандомизацию множества.

Конструктор нейронных модулей обеспечивает формирование пластов. Число нейронов входных пластов равняется числу входных сигналов модулей. В исходном пласте содержится один нейрон. Минимальное число скрытых нейронов определяется по формуле:

$$N_{H_{\min}} = \max\{N_{H_{\min}}^L, N_{H_{\min}}^W\}, \quad (11)$$

где: $N_{H_{\min}}^L$ – число нейронов, обусловленное сложностью аппроксимации учебного множества; $N_{H_{\min}}^W$ – число нейронов, обусловленное объемом учебного множества:

$$N_{H_{\min}}^L = \frac{\max_{i \neq j} \frac{|T^i - T^j|}{\sqrt{\sum_{k=1}^{N_x} (x_k^i - x_k^j)^2}}}{\sqrt{N_x}}, \quad (12)$$

где: i, j – номер приклада в учебной выборке ($i, j = 1 \dots N_p$); $k = 1 \dots N_x$ – номер компонента входного вектора; N_x – размерность входного сигнала:

$$N_{H_{\min}}^W = \frac{N_p}{(1 + \log_2 N_p)(N_x + 1)}. \quad (13)$$

Блок оптимизации параметров нейрон-

ных модулей осуществляет настройку нейронных модулей путем минимизации функционала оптимизации нейросети:

$$Z(\bar{w}_2, \bar{w}_3, \bar{\alpha}) = \sum_{k=1}^{N_p} \left[T_k^{ob} - \sum_{j=1}^{N_H} \left(\frac{2w_{3j}}{1 + \exp\left(\sum_{i=1}^{N_x} x_i^k w_{2ji} + \alpha_j\right)} - w_{3j} \right) \right]^2 \rightarrow \min, \quad (14)$$

где: T_k^{ob} – норма времени в учебной выборке; \bar{w}_2 – вектор весовых коэффициентов нейронов скрытого пласта; \bar{w}_3 – вектор весовых коэффициентов исходного нейрона; $\bar{\alpha}$ – вектор сдвигов нейронов скрытого пласта.

Учитывая форму функционала оптимизации для минимизации наиболее эффективное применение метода Левенберга-Марквардта с задачей случайной стартовой точки.

Нейронный модуль полагает наученным при решении всех примеров учебной выборки с заданной точностью, то есть различие между нормой времени в учебной выборке и нормой времени, должна быть меньше величины:

$$|\Delta_{\max}| = \frac{2\delta_{\max} T^{\Phi} N_H}{T_{\max} - T_{\min}}, \quad (15)$$

где: T^{Φ} – значение нормы времени в учебной выборке.

В случае превышения погрешности работы нейронного модуля над заданной, число скрытых нейронов признается недостаточным для аппроксимации исходных данных с заданной точностью и в скрытый пласта вводится дополнительный нейрон. Добавление нейронов длится до тех пор, пока качество работы нейронного модуля не достигнет необходимого значения. При этом количество нейронов не превысит величины:

$$N_{H_{\max}} = \frac{\left(1 + \frac{N_p}{N_x}\right)(N_x + 2) + 1}{N_x + 1}. \quad (16)$$

По окончании настройки проверяется качество обобщения данных путем решения модулем примеров тестовой выборки. При неудовлетворительных результатах тестирования модуля необходимо повторить проце-

НОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

дуру настройки к достижению необходимых показателей качества.

В результате настройки системы для конкретного предприятия может оказаться, что часть характеристик детали не будет представлять влияния на точность расчетов норм времени. В этом случае такие характеристики можно будет исключить из рассмотрения, которое позволит сократить объемы привлекаемой для работы системы информации и повысить скорость расчетов. Для оптимизации структуры входов системы предложены использовать следующую оценку значимости входных сигналов:

$$\chi_i = \sum_{k=1}^{N_p} \left| \frac{\partial Z(x^k)}{\partial x_i} x_i^k \right|, \quad (17)$$

где: i – номер входного сигнала ($i = 1 \dots N_x$); k – номер приклада в учебной выборке ($k = 1 \dots N_p$); $Z(x^k)$ – оценка решения нейронной сетью k -го примера:

$$Z(x^k) = T_k^{об} - \sum_{j=1}^{N_H} \left(\frac{2w_{3j}}{1 + \exp\left(\sum_{i=1}^{N_x} x_i^k w_{2ji} + \alpha_j\right)} - w_{3j} \right). \quad (18)$$

В случае нулевой значимости фактора для всех нейронных модулей, этот фактор может быть исключен с состава входных сигналов модуля (на соответствующий вход подается 0). При анализе чертежей ступенчатых валов было выявлено, что минимальный квалитет точности диаметральных размеров (h_{min}) для всех деталей исходного массива равняется 6. Учитывая то, что для работы нейронной сети необходимая информация не об абсолютном значении фактора, а о его изменении, этот показатель был исключен из перечня входных данных как незначимый. Поэтому число входных сигналов нейронных модулей и соответственно число нейронов во входных пластах составило:

- для токарной операции $N_x^T = 14$;
- для расточной операции $N_x^P = 13$;
- для фрезерной операции $N_x^F = 12$;
- для шлифовальной операции $N_x^{III} = 13$;
- для общего времени обработки $N_x^O = 15$.

Число нейронов в скрытом пласте соста-

вило:

- для токарной операции $N_n^T = 4$;
- для расточной операции $N_n^P = 5$;
- для фрезерной операции $N_n^F = 3$;
- для шлифовальной операции $N_n^{III} = 4$;
- для общего времени обработки $N_n^O = 4$.

В результате тестирования нейронных модулей уровень относительной погрешности не превысил 10 %, что отвечает нормативной точности для серийного производства. Максимальный уровень относительной погрешности норм суммарное общего времени ниже, чем уровень погрешности прогнозируемых норм общего времени – соответственно 5,2 % и 10,0%. Соответствующие средние величины относительных погрешностей составили 2,3 % и 2,8 %. Таким образом, при суммировании прогнозов нейронных модулей наблюдается усреднения погрешности.

В то же время есть отдельные примеры, для которых прогноз нейронного модуля общего времени обработки есть более точным по сравнению с суммарному общим временем. Поэтому норму общего времени обработки детали необходимо выбирать из диапазона $[\min(T_o; T_{сум}); \max(T_o; T_{сум})]$. Широту этого диапазона можно оценить с помощью относительной величины расхождения между прогнозным и суммарным общим временем, максимальная величина которой составила 7,1 %.

В табл. 1 приведенные результаты расчетов показателей значимости факторов для каждого нейронного модуля. Как видно из таблицы, самую большую значимость для модуля токарной операции имеет длина вала (какая прямо пропорциональна времени обработки). Также высокую значимость имеют средние показатели точности диаметральных размеров и шершавости поверхности, повышение требований к которым увеличивает трудоемкость получения заданных показателей. Самую большую значимость для нормирования времени расточной операции имеет твердость поверхности вала, поскольку величина твердости определяет потребность в термообработке детали, после которой необходимо выполнять повторную обработку торцов вала (исправление центровых отверстий), что производится на расточных станках.

Таблица 1. Результаты расчетов значимости характеристик деталей для нейронных модулей
Table 1. Results of calculations for the importance of part characteristics of neural modules

Характеристика детали	Нейронный модуль				
	токарной операции	расточной операции	фрезерной операции	шлифовальной операции	общего времени
m	0,27	0,95	0,63	0,69	0,39
L	1,00	0,70	0,33	0,43	1,00
D _{max}	0,52	0,67	1,00	0,59	0,32
D _{min}	0,33	0,57	0,91	0,57	0,07
n _{ст}	0,17	0,31	0,45	1,00	0,10
n _п	0,04	0,31	0,72	0,05	0,09
n _р	0,14	–	–	–	0,03
n _{пр}	0,20	0,70	0,23	0,26	0,06
n _о	–	0,94	–	–	0,04
R _{amin}	0,12	–	–	0,14	0,03
K _{Ra}	0,34	0,47	0,33	0,98	0,06
K _h	0,25	0,29	0,75	0,03	0,00
Ra _{ср}	0,69	0,59	0,42	0,34	0,08
h _{ср}	0,75	0,74	0,75	0,28	0,04
HВ	0,10	1,00	0,43	0,06	0,04

При этом обработка торцов занимает большую часть времени расточной операции. Также высокий уровень значимости имеет число отверстий, которые обделываются на расточном оборудовании, и масса вала, величина которой определяет размеры центровых гнезд. Самую большую значимость для нормирования времени фрезерной операции имеют величины максимального и минимального диаметров степеней вала, потому что именно на этих степенях обычно располагаются шпонковые пазы, которые в основном обделываются на фрезерных станках. Также сравнительно высокий уровень значимости имеет собственное число пазов и показатели, которые характеризуют требования к точности диаметральных размеров. Высокие требования к точности указывают на число поверхностей, которые совмещают, где часто предполагаются шпонковые пазы.

Для нейронного модуля шлифовальной операции наиболее значимым есть число степеней на вале, которые обычно предполагаются как посадочные места для деталей, которые совмещают, и имеют высокие требования к качеству их поверхности, а также коэффициент высокочистых поверхностей, величина которого обуславливает объем шлифовальных работ.

Для нейронного модуля общего времени

обработки, как и для токарной операции, самую большую значимость имеет длина детали, поскольку в исходной учебной выборке самый большой удельный вес в общем времени обработки валов среди всех технологических операций, как правило, имеют токарные работы.

Следует отметить, что на уровень показателей значимости будут влиять конкретные условия производства и особенности предприятия.

ВЫВОД

Разработанная система технического нормирования времени мехобработки есть специализированной моделью типичной детали. Система интегрирует и обобщает накопленный на предприятии производственно-технологический опыт и учитывает особенности этого предприятия. Система способна выполнять нормирование по операциям и таким способом задавать структуру производственного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Averchenkov, V.I. 2013: Progressivnyie tehnologii / V.I. Averchenkov. – Bryansk : Izd-vo BITM. – 156.

НОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

2. Arhangelskiy, A.Ya. 2012: Programmirovaniye v Delphi 6 / A.Ya. Arhangelskiy- M. : Binom. – 1117.
3. Bazrov, B.M. 2007: Osnovy tehnologii mashinostroeniya / B.M. Bazrov. M. : Mashinostroenie. – 736.
4. Bishutin, S.G. 2004: Obespechenie trebuyemyy sovokupnosti parametrov kachestva poverhnostnykh sloev detaley pri shlifovanii / S.G. Bishutin. – M. : Mashinostroenie-1. – 143.
5. Bobrov, V.V. 2010: Osnovy teorii rezaniya metallov / V. V. Bobrov. – M.: Mashinostroenie. – 344.
6. Ermakov, Yu.M. 2005: Kompleksnyye sposoby effektivnoy obrabotki rezaniem / Yu.M. Ermakov. M. : Mashinostroenie. – 271.
7. Ivanova, G.S. 2007: Ob'ektno-orientirovannoye programmirovaniye / G.S. Ivanova, T.N. Nichushkina, E.K. Pugachev ; pod red. G. S. Ivanovoy. – M. : Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman. – 366.
8. Inzheneriya poverhnosti detaley 2009: A.G. Suslov i dr. ; pod red. A.G. Suslova. – M. : Mashinostroenie. – 320.
9. Kachestvo mashin. 2005: Spravochnik. V 2 t. T. 1 / A.G. Suslov, E.D. Braun, H.A. Vitkevich i dr. M : Mashinostroenie. – 256.
10. Makarov, A.D. 2010: Optimizatsiya protsessov rezaniya / A.D. Makarov. M. : Mashinostroenie. – 278.
11. Ryizhov, E.V. 2009: Tehnologicheskoye obespechenie ekspluatatsionnykh svoystv detaley mashin / E.V. Ryizhov, A.G. Suslov, V.P. Fedorov. M : Mashinostroenie. – 176.
12. Suslov, A.G. 2003: Eksperimentalno-statisticheskiy metod obespecheniya kachestva poverhnosti detaley mashin / A.G. Suslov, O.A. Gorlenko. M.: Mashinostroenie. – 302.
13. Tehnologicheskaya nasledstvennost v mashinostroitel'nom proizvodstve. 2000: A.M. Dalskiy i dr.; pod red. A.M. Dalskogo. M : Izd-vo MAI. – 360.
14. Tehnologicheskiye osnovy upravleniya kachestvom mashin 2003: A.C. Vasilev i dr. M : Mashinostroenie. – 256.
15. Uvelicheniye resursa mashin tehnologicheskimi metodami. 2008: B.A. Doletskiy i dr. – M. : Mashinostroenie. – 216.
16. Yu.O. Faronov 2006: Programmirovaniye baz dannykh v Delphi 7 / V.V. Faronovi dr. – M. : Piter. – 458.
17. Yakubov, F.Ya. 2012: Energeticheskiye sootnosheniya protsessa mekhanicheskoy obrabotki materialov / F.Ya. Yakubov. «Fan». – 104.
18. Yascheritsyn, P.I. 2007: Tehnologicheskaya nasledstvennost v mashinostroenii / P.I. Yascheritsyn, E.V. Ryizhov, V.I. Averchenkov. Minsk : Nauka i tehnika. – 221.
19. Pilipaka S.F. 2013: Forma osi gibkoy neshhimaemoy polosi pri ee tolkanii po naklonnoy sherohovatoy ploskosti s postoyannoy skorostyu / S.F. Pilipaka, V.N. Babka, T.N. Zaharova // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – Tom 15, №4. – 198–205.
20. Chovnyuk Yu.V. 2011: Utochnena dynamichna model ruhu vizka z vantazhem na gnuchkomu pidvisi / Yu.V. Chovnyuk // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – Tom 13B – 130–137.
21. H.A. Abdel-Aal, 2005: On the role of intrinsic material response in failure of tribo systems, Wear 259 – 1372–1381.

RATIONING MACHINING PARTS OF REDUCED AGRICULTURAL MACHINERY

Summary. The questions linked to perfection of process of calculation of norms of time of machining of details under conditions of single-unit and small-scale manufacturing have been examined by means of development of technique of definition of norms of time with help of neural networks.

Key words: norm of time, mathematical model of calculation of norms of time, characteristic of details, importance of factors.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Александр Быстрый, Иван Rogovskii

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Aleksandr Bystryi, Ivan Rogovskii

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Предложен комплекс методов точной и приближенной стабилизации распределений, которые возможно использовать как на модельных задачах, так и на реальных системах эксплуатационно-технологической безотказности зерноуборочных комбайнов.

Ключевые слова: техническая эксплуатация, безотказность, зерноуборочный комбайн.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Ныне наблюдается повышенный интерес к теории динамических систем, в частности к системам с хаотичным или случайным поведением. Среди стохастических систем интересными и важными с точки зрения практических применений есть системы марковского типа, свойствам которых отвечают разнообразнейшие технические, физические, химические, биологические и экономические процессы. Следует отметить, что теория марковских процессов традиционно развивалась в двух направлениях: во-первых, как абстрактная математическая теория [1–3] и, во-вторых, как прикладная теория, в частности, теория массового обслуживания [4–7].

Актуальной задачей является исследование разных предельных свойств неоднородных марковских систем, в частности, представляют интерес задачи их стабилизации. Под стабилизацией системы понимают локализацию ее параметров близ некоторых заданно заданных значений. В случае однородных систем такое свойство системы называют эргодичностью. Стабильность есть одной из наиболее важных характеристик любых систем независимо от них функционального назначения. Методы стабилизации марковских систем и их практическая реализация непременно связаны с проблемой вы-

бора необходимых стабилизирующих влияний.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно анализу существующих научных работ в этом направлении показано, что исследование эргодичных свойств цепей Маркова есть прежде всего связанным с анализом скорости сходимости к стационарному распределению (для однородных цепей). При этом очевидно, что скорость сходимости зависит как от характеристик матрицы переходных вероятностей, так и от вида начального распределения процесса. Было установлено, что для некоторых однородных цепей Маркова, при наложении некоторых ограничений на собственные числа переходной матрицы и на начальное распределение вероятности цепи позволяет обеспечить сходимость к стационарному распределению за конечное время [8–14].

Следует отметить, что предположение эргодичности, которая есть характерным для большинства существующих публикаций по вопросам моделирования систем марковского типа часто не выполняется, вместе с тем на необходимость изучения моделей с неоднородными по времени параметрами как одну из самых важных проблем теории массового обслуживания. Сравнительно небольшая численность результатов в этом направлении объясняется, прежде всего, непригодностью имеющихся методов для решения подобного типа задач [15–18]. Попытки изучения моделей, которые учитывают временную неоднородность входных потоков, делались неоднократно [19–23].

Во время рассмотрения прикладных моделей марковского типа перед исследовате-

лем возникает целый ряд проблем. Выбор модели, которая исследуется, как правило, осуществляется эвристически, без необходимого обоснования корректности, хотя он и определяет ход дальнейшего исследования. Для достижения адекватности модели процесса, который изучается, необходимо решить ряд задач, которые касаются исследования динамики систем и, в частности, стойкости модели системы. Согласно проанализированным литературным источникам можно сделать вывод, который во время рассмотрения стохастических систем марковского типа, оценивание параметров, исследование стойкости и связанные с ней задачи анализу исходных характеристик модели относительно возмущения входных данных большой интерес и практическую пользу представляет исследование эргодичных свойств начальной модели. При этом под эргодичностью понимается приближения исходных характеристик к некоторым постоянным значениям или локализация в достаточно малых окрестностях. Термин “эргодичность” в теории марковских процессов применяется только для однородного случая, поэтому во время соответствующего исследования неоднородных марковских систем мы будем использовать термин “стабилизация”.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы состоит в развитии методов стабилизации неоднородных марковских систем, параметры которых подлежат влияниям разного типа; использовании полученных результатов во время исследования предельных режимов работы систем и их применении при оценке безотказности зерноуборочных комбайнов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Необходимость исследования обусловлена тем, что много условий эргодичности марковских систем могут быть сформулированы на основе анализа спектра соответствующей матрицы, которая определяет динамику марковской системы. В частности, к ним принадлежат условия простоты и отделенности собственного числа (1 – для стоха-

стических матриц и 0 – для квазистохастических), важную роль играет также область распределения собственных чисел на комплексной плоскости и свойстве соответствующих собственных и присоединенных векторов.

$$\text{Пусть } P_1 = \left\| p_{ij}^{(1)} \right\|_{i,j=1}^n \text{ и } P_2 = \left\| p_{ij}^{(2)} \right\|_{i,j=1}^n, -$$

стохастические матрицы с наборами собственных и присоединенных векторов, которые совпадают. Тогда при любом $0 \leq \lambda \leq 1$ матрица будет $P = \lambda P_1 + (1 - \lambda) P_2$ иметь тот самый набор собственных и присоединенных векторов.

$$\text{Пусть } P_1 = \left\| p_{ij}^{(1)} \right\|_{i,j=1}^n \text{ и } P_2 = \left\| p_{ij}^{(2)} \right\|_{i,j=1}^n, -$$

стохастические матрицы с наборами собственных и присоединенных векторов, которые совпадают. Пусть также: $A_1 \in Q_\lambda(P_1)$ и

$$A_2 = Q_\lambda(P_2) \quad (A_k = \left\| a_{ij}^{(k)} \right\|_{i,j=1}^n, \quad k=1, 2). \text{ То}$$

гда для любых $\alpha_1 > 0$ и $\alpha_2 > 0$ матрица

$$P = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \left| \alpha_1 a_{ii}^{(1)} + \alpha_2 a_{ii}^{(2)} \right|} (\alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2) + E,$$

будет иметь тот самый, с точностью до скалярного множителя, набор собственных и присоединенных векторов, что и матрицы P_1 и P_2 . Если же хотя бы при одном i ($1 \leq i \leq n$) выполняется $p_{ii}^{(1)} = p_{ii}^{(2)} = 0$, то в этом случае эти наборы будут сходиться в точности.

Эти утверждения позволяют сделать вывод относительно того, что среди всего множества неоднородных цепей Маркова действительно могут существовать такие, которые практически за всеми своими свойствами сходятся с однородными, отличаясь от последних лишь тем, что собственные и присоединенные векторы матриц переходных вероятностей за единицу времени на каждом шагу отвечают разным собственным значениям. Это последнее обстоятельство означает, что в таких цепях происходит замедления или ускорение сходимости к финальным вероятностям сравнительно с соответствующей однородной цепью. Кроме того, очевидно, что подобная сходимость может (за некото-

рых дополнительных условий) иметь место и в случае, когда наборы собственных и присоединенных векторов матриц переходных вероятностей сходятся не полностью, а лишь частично. В связи с этим представляет интерес рассмотрение множества матриц, подобных за своими спектральными характеристиками, то есть таких, в которых полностью или частично сходятся нормальные формы, или наборы собственных и присоединенных векторов.

Матрицы с равняющимися единицы строчными суммами, без требования неотъемлемости всех элементов будем называть псевдостохастическими.

Псевдостохастичная действительная матрица P размерности n при фиксированной нормальной форме имеет $n(n-1)$ степеней свободы, то есть все возможные преобразования, которые сохраняют свойства действительности и псевдостохастичности, сводятся к изменению $n(n-1)$ параметров.

Пусть нормальная форма J псевдостохастической матрицы P определена с точностью до m (кратных) собственных значений, которые могут меняться в кильке $0 < |\lambda| < 1$. Тогда матрица P имеет $n(n-1) + m$ степеней свободы.

Обозначим множество характеристических корней всех матриц n -го порядка с максимальным за модулем элементом ρ через K_n^ρ . Итак, для матриц n -го порядка с максимальным за модулем элементом ρ справедливы такие утверждения.

K_2^ρ представляет собой отрезок действительной оси $[-2|\rho|, 0]$. K_3^ρ представляет объединение треугольника с вершинами в точках $(0, 0)$, $|\rho|\exp(2\pi i/3) - |\rho|$, $|\rho|\exp(4\pi i/3) - |\rho|$ с отрезком действительной оси $[-2|\rho|, 0]$.

Для $n > 3$ фигура K_n^ρ содержится в круге $|z + |\rho|| \leq |\rho|$ и имеет с колом $|z + |\rho|| = |\rho|$ общие точки $|\rho|\exp(2\pi ia/b) - |\rho|$, где $0 \leq a < b \leq n$. Граница K_n^ρ составляется из

этих точек и криволинейных дуг, которые совмещают их в круговом порядке.

Отрезки границы множества K_n^ρ , которые проходят через точку комплексной плоскости $(0, 0)$, представляют собой отрезки прямых, которые совмещают точки $|\rho|\exp(2\pi i(n-1)/n) - |\rho|$ и $(0, 0)$, $(0, 0)$ и $|\rho|\exp(2\pi i/n) - |\rho|$ соответственно.

Рассмотрим процесс, поведение которого полностью определяется задачам начального распределения и последовательности:

$$\{P^{(k)}\}_{k=1}^\infty, \quad P^{(k)} = \left\| p_{ij}^{(k)} \right\|_{i,j=1}^s \quad \text{стохастических}$$

матриц, каждая с которых является матрицей переходных вероятностей, что отвечает промежутку: $[t_{k-1}, t_k)$ ($P^{(k)} = P(t_{k-1}, t_k)$). Такой процесс можно рассматривать как цепь Маркова с изменяемой продолжительностью “единичного” шага $[t_{k-1}, t_k)$. Если $t^* < \infty$, то интервалы между двумя последовательными переходами $|t_k - t_{k-1}|$ будут спадать к нулю при $k \rightarrow \infty$ через сходимость последовательности $\{t_k\}_{k=1}^\infty$ к t^* . Во время исследования таких процессов представляет интерес вопроса относительно существования для распределения процесса:

$$p(t) = (p_1(t), p_2(t), \dots, p_s(t)),$$

где: s – количество станов процесса, границы:

$$p^* = \lim_{t \rightarrow \infty} p(t), \quad (1)$$

что не зависит от начального распределения. Ответ на этот вопрос дает такое утверждение.

Пусть выполнены условия:

1) все матрицы $P^{(k)}$ имеют общий левый собственный вектор p^* , который отвечает их простому собственному значению 1:

$$p^* P^{(k)} = p^*, \quad \forall k > 0, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^s p_j^* = 1, \quad p_j^* \geq 0, \quad 1 \leq j \leq s;$$

2) предположим:

$$\delta^{(k)} = \max_{1 \leq j \leq s} \min_{1 \leq j \leq s} p_{ij}^{(k)}.$$

Поставим условие, чтобы:

$$\sum_{k=1}^{\infty} \delta^{(k)} = \infty, \delta^{(k)} > 0, \forall k > 0. \quad (3)$$

Тогда при любом начальном распределении вероятностей $p^0 = p(0)$ распределение процесса $p(t)$ при $t \rightarrow t^*$ совпадает к p^* равномерно за всеми станам.

Рассмотрим теперь ситуацию, когда условие 2) не выполняется, то есть теперь

$$\sum_{k=1}^{\infty} \delta^{(k)} < \infty, \text{ а условие 1) остается действую-}$$

ющей. Тогда различие $R_j(t_0, t) - r_j(t_0, t)$ при $t \rightarrow t^* - 0$ к нулю, в сущности говоря, не совпадает. Однако, если сумма ряда

$$S = \sum_{k=1}^{\infty} \delta^{(k)}$$

достаточно большая, то распределение процесса $p(t)$ при $t \rightarrow t^* - 0$ попадается в некоторую σ -окрестность распределения p^* , где $\sigma = e^{-S}$. Это случай так называемого σ -фокусирования. Такая ситуация σ -фокусирования возникает, когда на интервале $[0, t^*)$ происходит лишь конечное количество N переходов и сумма

$$S_N = \sum_{k=1}^N \delta^{(k)}$$

достаточно большая. Рассмотрим теперь явление “дрейфа” распределений $p(t)$ при $t \rightarrow t^* - 0$. Пусть

$$\{[\tau_{k-1}, \tau_k)\}_{k=1}^{\infty} - \text{система интервалов, где } \tau_k$$

– моменты перехода процесса, τ_k монотонно приближается к t^* при $k \rightarrow \infty$. На каждом из интервалов $[\tau_{k-1}, \tau_k)$ происходит конечное количество переходов и имеет место σ -фокусирование (σ – одно и то самое для всех интервалов). При этом для непарных k σ -фокусирования проводится на распределении p_1^* , а для парных k – на распределении p_2^* . Пусть $\|p_1^* - p_2^*\| = \delta$. Будем считать,

что величина σ , которая определяет точность σ -фокусирования, удовлетворяет уму $\sigma < \frac{\delta}{2}$. В этом случае при $t \rightarrow t^* - 0$ граница

$\lim_{t \rightarrow t^* - 0} p(t)$ не будем существовать, хотя условие 2) выполняется.

Пусть все матрицы переходных вероятностей на k -м единичном интервале времени P_k ($k=1, 2, \dots, \infty$) цепи Маркова, что рассматривается, с конечным количеством станом n имеют неизменную нормальную форму, общий левый собственный вектор $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ и общий, с точностью до скалярных множителей, набор левых собственных и присоединенных векторов, которые отвечают собственному числу 0 парности m ($m < n$) обозначенных матриц, которые образуют левое нулевое инвариантное подпространство R_0 . Если при этом начальное

распределение $p^0 = (p_1^0, p_2^0, \dots, p_n^0)$ принадлежит к линейному многовиду $L = \pi + R_0$, то распределение процесса $p(t) = (p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t))$ на момент времени $t = m$, будет $m = \dim(R_0)$ совпадать из π .

Марковским процессом в широком понимании будем называть такой случайный процесс $\xi(t)$, для которого множество элементарных следствий $\Omega \subset R^n$, а множество событий составляется со всех множеств $\{B\}$, $B \subset \Omega$. Предполагается, что на множестве $\{B\}$ заданная вероятностная мера P и условная вероятность удовлетворяет соотношению:

$$P(\xi(t) \in A / \xi(s) \in B, \xi(s_1) \in B_1, \dots, \xi(s_n) \in B_n) = P(\xi(t) \in A / \xi(s) \in B), \quad s_n < \dots < s_1 < s < t.$$

Итак, процесс, который нами рассматривается, является обобщением неоднородного марковского процесса на случай континуального множества станом. Для марковского процесса в широком смысле прибегнуло свети анализ процесса с континуальным множеством станом к изучению марковского процесса с количеством станом. Показано, что путем влияния на стохастичную матрицу $\|P_{st}(B_i, B_j)\|$ процесса $\xi(t)$ можно достичь того, что распределение вероятностей такого процесса будет сходиться к заведомо задан-

ному распределению за как угодно малое время.

На практике часто имеют место такие ситуации, когда система функционирует под влиянием сильных, быстро изменяемых внешних возмущений. В этом случае коэффициенты системы дифференциальных уравнений возмущаются на заданном интервале элементами матрицы $\tilde{\Lambda}(t)$. Эта матрица имеет такое свойство: сумма элементов каждого ее строки равняется нулю, однако, в отличие от матрицы $A(t)$, в матрице $\tilde{\Lambda}(t)$ все элементы, размещенные на главной диагонали, должны быть отрицательными. Влияние возмущений задается таким образом, которая возмущена матрица может быть представлена в виде:

$$\Lambda(t) = A(t) + \tilde{\Lambda}(t). \quad (4)$$

Матрица будет $\Lambda(t)$ сохранять свойство равенства нулю суммы элементов каждой своей строки за счет выполнения этого свойства у каждой из матриц $A(t)$ и $\tilde{\Lambda}(t)$. Для таких систем, которые имеют свойство хранения сумм, распространенное понятие стабилизации и полученные условия сходимости к заведомо заданной точке пространства станом за как угодно малое время.

Предположим, что вероятность нахождения процесса в одном из станом в начальный момент времени равняется единице, во всех других станом равняется нулю. В момент времени $t = 0$ считаем, что $\lambda_i(t) = 0$ ($1 \leq i \leq n$), кроме λ_v (v – номер станом, в котором начальная вероятность P_v^0 не равняется нулю). Будем менять значение λ_i . На каждом шагу метода вероятность нахождения процесса достигает стационарного значения в одном или нескольких станом. С каждым шагом, согласно предложенному методу, количество станом, вероятности нахождения процесса в которых достигли стационарных значений, увеличивается. В момент достижения стационарных значений в новых (на этом шагу) станом, параметры λ_i сменяются таким образом, чтобы, начиная с этого момента времени, значение вероятностей нахождения процесса в этих станом не менялись, то есть в любой момент времени после момента достижения равнялись ста-

онарным вероятностям. Параметры λ_i для станом, в которых стационарные значения еще не достигнутые, равняются нулю. Параметр λ_v остается неизменным в любой момент времени.

Пусть завершился k -и шаг метода. Перенумеруем станом согласно порядку достижения в них стационарных вероятностей номерами с 1 по $(n-1)$; нулевой номер назначим станом v . Вероятности нахождения процесса в станом с 1-го по k -и удовлетворяют системе дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$P_i'(t) = \lambda_0 \pi_{0i} P_0(t) + \sum_{j=1}^k \lambda_j \pi_{ji} P_j(t), \quad 1 \leq i \leq k. \quad (5)$$

За выполнения условия сохранения стационарных значений вероятностей $P_j(t)$, ($1 \leq i \leq k$), имеем:

$$\lambda_0 \pi_{0i} P_0(t) + \sum_{j=1}^k \lambda_j \pi_{ji} P_j^* = 0, \quad 1 \leq i \leq k,$$

$$P_0(t) > 0 \quad \forall t \geq 0 \Rightarrow \lambda_0 \pi_{0i} + \sum_{j=1}^k (\lambda_j / P_0(t)) \pi_{ji} P_j^* = 0,$$

$$1 \leq i \leq k.$$

Пусть $\lambda_i = z_i P_0(t)$, где z_i – неизвестный коэффициент, который подлежит определению:

$$\lambda_0 \pi_{0i} + \sum_{j=1}^k z_j \pi_{ji} P_j^* = 0, \quad 1 \leq i \leq k.$$

$$\sum_{j=1}^k z_j \pi_{ji} P_j^* = -\lambda_0 \pi_{0i}.$$

После решения системы уравнений определяем коэффициенты z_j , ($1 \leq i \leq k$) и вычисляем значение $\lambda_i = z_i P_0(t)$. Полученная такая оценка времени достижения стационарного распределения:

$$t_0^* = \frac{\ln P_0^*}{\lambda_0 (P_0^* - 1)}. \quad (6)$$

Исследованные системы, которые в некоторый момент времени распадаются на не взаимодействующие фрагменты, каждый с которых стабилизируется.

Пусть инфинитезимальная матрица $\Lambda(s)$ исследуемого процесса с конечным количеством станом n , что есть непрерывной на не-

которому $\Omega=(s_0, t_0)$ и имеет во всех его точках ранг $n-1$, удовлетворяет таким условиям:

1. Среди элементов $\Lambda(s)$ существуют элементы, которые есть при $s \rightarrow t_0$, $s \in \Omega$ бесконечно большими величинами одинакового порядка, причем порядок роста этих элементов самый большой сравнительно с другими элементами $\Lambda(s)$. Обозначим множество всех таких элементов через условия:

$$\left| \int_{s_0}^{t_0} \sigma(s) ds \right| = \infty. \quad (7)$$

Обозначим $\Lambda_1(s)$, $\Lambda_2(s)$ левый верхний и правый нижний диагональные блоки матрицы $\Lambda(s)$. Пусть эти блоки имеют порядки $m \times m$ и $(n-m) \times (n-m)$. Предположим, что блоки $\Lambda_\alpha(s)$ ($\alpha=1,2$) содержат столбцы j_α , элементы которых монотонно возрастают при $s \rightarrow t_0-0$ и имеют в t_0 особенности, которые не интегрируются.

2. Существуют границы:

$$\bar{P}_\alpha^* = \lim_{s \rightarrow t_0-0} \bar{P}_\alpha(s) \quad (\alpha = 1,2), \quad (8)$$

где: $\bar{P}_\alpha(s)$ – нулевые векторы матриц $\Lambda^\tau \alpha(s)$:

$$\Lambda^\tau \alpha(s) \quad \bar{P}_\alpha(s) = 0 \text{ на } \Omega;$$

$$\Lambda^\tau(s) \quad P(s) = 0.$$

Нормы $\|\bar{P}_\alpha(s)\|$ сохраняют на Ω постоянные значения (нормой вектора будем $\|\bar{P}\|$ называть число $\sum_k |P_k|$). Если $\sigma(s) \in \Sigma$, то для любого элемента $\lambda_{ij}(s)$ матрицы Λ :

$$\lim_{s \rightarrow t_0-0} \lambda_{ij}(s) \sigma^{-1}(s), \quad (9)$$

существует и отличный от нуля лишь в случае $\lambda_{ij}(s) \in \Sigma$. Обозначим через $\delta(s) \in \Sigma$ элемент, который удовлетворяет для любого $\lambda_{ij}(s)$:

$$\lim_{s \rightarrow t_0} \left| \sigma(s) \delta^{-1}(s) \right| \leq 1. \quad (10)$$

3. Элементы блоков $\Lambda_{12}(s)$, $\Lambda_{21}(s)$ при $s \rightarrow t_0$ спадают к нулю достаточно быстро – насколько быстро, будет разъяснено дальше:

$$\lim_{s \rightarrow t_0-0} \delta^{-1}(s) \quad \Lambda(s) = \Lambda^\infty.$$

Рядом с матрицей будем P рассматривать последовательность $P^{(n)} = (p_{i,j}^{(n)})$ редуцированных матриц, элементы которых возможно определить так:

$$p_{i,j}^{(n)} = \begin{cases} p_{i,j} + \sum_{k=n+1}^{\infty} p_{i,k} & 1 \leq i \leq n, j=1, \\ p_{i,j} & 1 < i, j \leq n. \end{cases} \quad (11)$$

Отсюда видно, что $p_{i,j}^{(n)}$ совпадают с ростом n к p_{ij} , причем с последовательностью конечных цепей (заметим, что все редуцированные матрицы $P^{(n)}$ являются стохастическими).

Если известно, что существует стационарное распределение цепи p^* , то есть вектор, который удовлетворяет матричному уравнению $p^* = p^* P$, то нахождение данного вектора можно осуществлять согласно такому утверждению.

Определим редуцированную матрицу $\Lambda^{(n)} = (\lambda_{ij}^{(n)})$ таким образом:

$$\Lambda^{(n)} = \begin{pmatrix} -\lambda_1 & \lambda_{12} + \sum_{j=n+1}^{\infty} \lambda_{1j} & \dots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} + \sum_{j=n+1}^{\infty} \lambda_{2j} & -\lambda_2 & \dots & \lambda_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{n1} + \sum_{j=n+1}^{\infty} \lambda_{nj} & \lambda_{n2} & \dots & \lambda_n \end{pmatrix}.$$

Последовательность матриц $\{\Lambda^{(n)}\}_{n=1}^{\infty}$ совпадает поэлементно к матрице Λ , и с небольшими изменениями возможно перенести на доведение такого факта.

ВЫВОДЫ

Обоснована целесообразность применения нового подхода к управлению неоднородными марковскими процессами, которое базируется на стабилизации распределений этих процессов.

Этот подход есть достаточно универсальным в теоретическом аспекте и конструктивным с прикладной точки зрения, как аналитические модели эксплуатационно-

технологической безотказности зерноуборочных комбайнов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boyko A.I. 2013: Varirovanie izmeneniy pokazateley nadyozhnosti passivno rezerviruemykh sistem pri povrezhdennom osnovnom i ispravnom dubliruyuschem elementah / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko, V.M. Savchenko // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictva motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 15, No 2. – 35 – 39.
2. Boyko A.I. 2013: Grafoanaliticheskiy analiz sostoyaniy i perehodov v vozmozhnyie sostoyaniya aktivno rezerviruemykh tehnikeskoykh sistem / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko, V.M. Savchenko // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictva motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 15, No 4, – 231–235.
3. Boyko A.I. 2010: Ustanovlenie funktsii vosstanovleniya podsistem zernouborochnykh kombaynov v usloviyah razvitiya sferyi tehnikeskogo obsluzhivaniya / A.I. Boyko, K.N. Dumenko // Vestnik LNAU. Agroinzhenernyye issledovaniya – Lvov. – T.1, № 14. – 12–20.
4. Boyko A.I. 2013: Matematichne modelyuvannya sistemi «lyudina-mashina» pri nakopichenni vidmov / A.I. Boyko, A.V. Novitskiy // Visnik HNTUSG Im. Petra Vasilenka. – Harkiv, HNTUSG. – Vip. 134. – 75–80.
5. Bronshteyn I.N. 1981: Spravochnik po matematiki / I.N. Bronshteyn, K.A. Semendyaev // M.: Nauka. – 720.
6. Byikov V.V. 2005: Metodologicheskie i tehnologicheskie osnovyi sistem i tehnikeskogo servisa lesnykh mashin: avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni doktora tehn. nauk: 05.21.01 / Byikov Vladimir Vasilevich. – Moskva / – 43.
7. Dzherald Sandler. 1966: Tehnika nadezhnosti sistem / S. Dzherald; per. s angl. A.L. Raykina. Seriya «Teoreticheskie osnovyi tehnikeskoy kibernetiki». – M., «Mir». – 300.
8. Doroshenko T.M. 2009: Stimulyuvannya profesiynogo rozvitku pratsivnikov v sistem i strategichnogo rozvitku pidpriEmstva. / T.M. Doroshenko // Zbirnik naukovih prats Kirovogradskogo natsionalnogo tehnikeskogo universitetu. seriya: ekonomichni nauki. – Kirovograd. – №15. – 258–264.
9. Druzhinin G.V. 1977: Nadyozhnost avtomatizirovannykh sistem / G.V. Druzhinin. Izd. 3-e pererab. i dop. – M., «Energiya». – 536.
10. Ena T.A. 2010. ProfesIyno vazhlyvi yakosti dispatcherIv energosistem / T.A. Ena, V.V. Kalnish / UkraYinskiy zhurnal z problem meditsini pratsI.– № 4 (24). – 11 – 20.
11. Kozachenko O.V. 2010: Perspektivi rozvitku tehnikeskogo obslugovuvannya i remontu mashin / O.V. Kozachenko // Visnik HNTUSG Im. Petra Vasilenka. – Harkiv, HNTUSG. – Vip. 94. – 3 – 8.
12. Kostikov V.A. 2008: Nadezhnost tehnikeskikh sistem i tehnoennogo riski / V.A. Kostikov. – M., MGTUGA. – 136.
13. Lehman S.D. 2011: Metodologiya doslidzhennya nebezpechnih protsesiv pri funktsionuvanni ergativnih sistem agrarnogo virobnitstva / S.D. Lehman, M.V. Panflova // Tehnika ta energetika APK: zbirnik naukovih prats NUBIPU. – K.: NUBIPU. – Vip. 166, ch. 1. – 294–301.
14. Makrinova E.I. 2012: Metodika kompleksnoy otsenki upravlencheskogo personala v organizatsiyah potrebitelskoy kooperatsii / E.I. Makrinova, M.G. Muhina / Ekonomicheskie nauki. Fundamentalnyie issledovaniya. – № 3. – 696 – 701.
15. Nechiporenko V.I. 1977: Strukturnyy analiz sistem (effektivnosti i nadezhnosti) / V.I. Nechiporenko. – M.: «Sovetskoe radio». – 211.
16. Novitskiy A.V. 2013: Metodichni pidhodi otsInki nadIynosti lyudini-operatora, yak skladovoyi sistem «lyudina – mashina – seredovishe» / A.V. Novitskiy, Z.V. Ruzhilo, O.A. Novitska // Visnik HNTUSG Im. Petra Vasilenka. – Harkiv, HNTUSG. – Vip. 133. – 243 – 248.
17. Ostreykovskiy V.A. 2003: Teoriya nadyozhnosti: uchebnoe posobie / V.A. Ostreykovskiy. – M.: Vyssh. shk. – 463.
18. Pozdnyakov V.D. 2006. Povyishenie nadezhnosti i effektivnosti funktsionirovaniya operatorov mehanizirovannykh protsessov zhivotnovodstva: avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni doktora tehn. nauk: 05.20.01/ Pozdnyakov Vasilij Dmitrievich. – Orenburg. – 35.

19. Poshivalov V.P. 2010: Vznachennya kompleksnih pokaznikov nadliynosti ergatichnih sistem / V.P. Poshivalov, Yu.F. Daniev, O.V. Poshivalova // Visnik Akademiyi mitnoyi sluzhbi UkraYini. Seriya: "Tehnichni nauki". – # 1 (43). – 111 – 119.
20. Rogovskiy I.L. 2011: Vpliv pokaznikov nadiynosti na perIodichnIst tehničnogo obslugovuvannya silskogospodarskih mashin / I.L. Rogovskiy // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 13B. – 92 – 97.
21. Rogovskiy I.L. 2013: Metodologiya tehničnogo obslugovuvannya silskogospodarskih mashin / I.L. Rogovskiy, O.V. Dubrovina // Tehnika ta energetika APK: zbirnik naukovih prats NUBIPU. – K.: NUBIPU. – Vip. 185, ch. 2. – 372–379.
22. Filippov A. 2005: Dinamika dizelnogo DRTS (Dvigatelya s regulirovaniem moschnosti otklyucheniem ot delnykh rabochikh tsiklov) / A. Filippov, A. Beshun, Y. Gerasimchuk, O. Gluhovska, L. Evchenko // MOTROL: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – Lublin. – T.7. – C. 83–91.
23. Strashnov S.V. 2012: Regulirovanie dizelya 6CH11/12,5 izmeneniem chisla robotayuschikh tsilindrov ili tsiklov: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk: 05.04.02. – M. – 18.

**ANALYTICAL MODELS
OF OPERATIONAL-TECHNOLOGICAL
RELIABILITY GRAIN HARVESTER
COMBINE**

Summary. The set of methods of exact and approximate stabilization distributions which may use the model problems both on and on of real systems, operational and technological reliability grainharvester combine.

Key words: technical operation, reliability, grainharvester combine.

СПОСОБ ОЧИСТКИ КРЫШ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕПЛИЦ ОТ СНЕГА

Алексей Опрышко, Наталья Пасечник

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Aleksey Opryshko, Nataly Pasychnyk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Предложен способ очистки крыш теплиц изготовленных из эффективных теплоизолирующих материалов от снега с помощью теплового излучения. Проведено анализ полученных результатов и предложено пути повышения эффективности способа.

Ключевые слова: теплицы, снегоочистка, лучистая энергия.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В Тепличных хозяйствах Украины значительный процент себестоимости продукции составляют энергозатраты, поскольку из-за климата отопительный сезон составляет порядка 5-6 месяцев в году. Конструкции теплиц разработанные во времена СССР были спроектированы в условиях не рыночной экономики и рассчитаны на низкую стоимость энергоресурсов, таких как электричество и природный газ. В условиях рыночных отношений, при распаде СССР, отечественные производители столкнулись с резким ростом цен на электричество и углеводородное топливо, но получили доступ к современным западным технологиям, в том числе и разработкам по тепличному хозяйству.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С конца 80-х годов в Голландии и Германии с целью повышения энергоэффективности внедрялись новые конструкционные материалы, такие как сотовый поликарбонат [1] и стеклопакеты для изготовления стен и крыш теплиц [2, 3]. Готовые технологические решения начали внедряться на Украине, опыт их эксплуатации показал, что вместе с принципиальной экономией средств на отопление были выявлены и проблемы характерные для местного климата. В Украине

не редкость мощные снегопады при отрицательных температурах, в следствии которых, на крышах образуется слой снега не пропускающий солнечный свет в теплицу. По этой причине для облучения растений необходимо использовать мощные лампы накаливания (0,5-1,5 кВт) или дорогие LED светильники [4, 5, 6]. С учетом стоимости LED светильников и стоимости электричества вопрос очистки крыш теплиц от снега является актуальным.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является разработка способа очистки крыш теплиц изготовленных из эффективных теплоизолирующих материалов от снега с помощью теплового излучения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Конструкции теплиц, разработанные в СССР, были адаптированы к выпадению значительных объемов снега. Исходя из низкой стоимости природного газа, в случае выпадения снега, температура теплоносителя увеличивалась, в результате чего однослойная стеклянная крыша прогревалась и снег стаивал. В случае возможности отсутствия отопления, крыши таких теплиц должны были усиливаться сеткой рабицей для предотвращения разрушения кровли под весом снега. На сегодняшний момент, в Украине при эксплуатации подобных теплиц необходимо учитывать и политическую ситуацию с возможностью изменения цен или вообще прекращения поставок газа Российской федерацией. Попытки использовать местное сырье, такое как торф, уголь, опилки [7, 8] вызывает определенные трудности, поскольку на крыши теплиц оседает сажа и пепел, которые

нужно удалять. При наличии стеклопакета или использовании сотового поликарбоната для изготовления крыши теплицы такой способ очистки от снега мало пригоден.

Для чистки крыш теплиц от загрязнений были разработаны специальные машины, рассчитанные на плоские поверхности кровли теплиц [9, 10]. На рис. 1 представлено типичную машину для мытья крыш теплиц [11]. Как видно из представленной фотографии машина предназначена для удаления пыли и прочих загрязнений с стеклянной поверхности и наличие снежного покрова и льда толщиной в несколько сантиметров сделает её работу невозможной. Машина создавалась для Голландии, где наличие снега на поверхности теплицы длительное время маловероятно. При проектировании машины для удаления снега необходимо учитывать что в отличие от пыли, сажа и прочих загрязнений объем и масса снега и льда на крыше может составлять соответственно кубометры и тонны, что ставит вопрос об их транспортировании.



Рис. 1. Машина для мытья крыш теплиц

Fig. 1. Machine wash roofs of greenhouses

Для современных теплиц из сотового поликарбоната, получившим широкое распространение благодаря легкости, надежности, низкой стоимости [11-13] создание подобных машин может быть не оправдано с технической и экономической точки зрения. Поскольку в отличие от стеклянных, арочные поликарбонатные теплицы, как правило, имеют гнутую поверхность крыши. При этом очистка от снега таких теплиц является особо актуальной, поскольку снег скапливается на их верхней части (рис. 2).



Рис. 2. Скопление снега на арочной поликарбонатной теплице

Fig. 2. Accumulation of snow on arched greenhouse poly-carbonate

Гипотеза. Для очистки крыши теплицы от снега было предложено прогреть верхний слой крыши теплицы созданной из стеклопакета или нескольких слоёв сотового поликарбоната. При этом для обеспечения энергоэффективности нагрев должен обеспечить таяние не всего слоя снега, а исключительно его нижней части для облегчения сползания снега с крыши в желоба, где его таяние будет обеспечено стандартным электронагревательным кабелем [14, 15]. Нагрев предполагалось осуществлять при помощи ламп накаливания, чтобы дополнительно с конвекцией использовать и лучистый механизм передачи энергии. Это должно было способствовать частичному таянию снега и уменьшению его альбедо, и соответственно облегчало поглощение им солнечной энергии и соответственно его скорейшего таяния.

Экспериментальные исследования проводились в зимнем саду, крыша которого состояла из 2-х слоев сотового поликарбоната толщиной в 10 и 4 мм внешний и внутренний слои соответственно. Геометрические размеры крыши составляли $2,5 \times 0,95 \times 0,15$ м. Угол наклона по вертикали 35° . Производитель поликарбоната компания Vizog, цвет внешнего слоя – бронза, внутренний – прозрачный бесцветный [17]. Зимний сад был оборудован в не отапливаемой комнате жилого дома и ориентирован на юго-запад (рис. 3). Тепло из дома попадало в комнату сквозь гипсокартонные стены и негерметичный двери. Одним из основных способов оценки тепловых потерь для сельскохозяйственных

объектов и строительных конструкций является использование тепловизоров [19-22]. Но в данном случае их использование затруднено исходя из низкой точности измерения данных устройств и неизбежном большом угле между тепловизором и исследуемой поверхностью. По этой причине, оценку теплоизоляционных свойств крыши зимнего сада проводили с помощью преобразователя теплового потока ПТП-1Б.11.2.1.11.Д.13.1.13.00.0, изготовленном отделом теплометрии института технической теплофизики НАНУ [20]. Измерения показали, что по теплоизоляционным свойствам крыша зимнего сада из сотового поликарбоната аналогична стандартному 2-х камерному не вакуумированному оконному стеклопакету.



Рис. 3. «Зимний сад» внешний вид. Съемка с юго-западной стороны 20.02.2014 г.

Fig. 3. "Winter Garden" appearance. Shooting from south-west side of 20.02.2014

Одним из основных способов оценки тепловых потерь для сельскохозяйственных объектов и строительных конструкций является использование тепловизоров [19,20]. Но в данном случае их использование затруднено исходя из низкой точности измерения данных устройств и неизбежном большом угле между тепловизором и исследуемой поверхностью. По этой причине, оценку теплоизоляционных свойств крыши зимнего сада проводили с помощью преобразователя теплового потока ПТП-1Б.11.2.1.11.Д.13.1.13.00.0, изготовленном отделом теплометрии института технической теплофизики НАНУ [20]. Измерения показали, что по теплоизоляционным свойствам крыша зимнего сада из сотового поликарбоната аналогична стандартному 2-х камерному не вакуумированному оконному стеклопакету.

Для прогревания внутреннего объема прозрачной крыши использовались лампы накаливания мощностью в 100 Вт. Температуру в середине крыши, на улице и в помещении измеряли с помощью спиртовых термометров. За счет прозрачности крыши информацию о температуре в середине её получали визуально при сохранении её герметичности. Результаты исследования представлены на рис. 4.

В последних числах января 2014 года в результате снегопада на поверхности крыши зимнего сада выпало около 5-7 см. снега. Таяние снега на крыше зимнего сада оценивали визуально исходя из величины расстояния между крайней верхней точкой зимнего сада и крайней верхней точкой снежного покрова. 31 января был проведен эксперимент посвященный исследованию зависимости температуры в середине прозрачной крыши от времени суток и температуры в середине зимнего сада и на улице. Было установлено, что благодаря геотермальной энергии на протяжении суток в середине помещения температура менялась на 14 °С, в то время как в середине прозрачной крыши изменения составили 11°С. Очевидно это объяснялось тем, что в комната обогревалась также и через окно, выходящее на юг.

Первого февраля 2014 года погодные условия были аналогичны предыдущему дню. Перед началом эксперимента визуально было установлено, что площадь поверхности снежного покрова на крыше зимнего сада за 31.01.14 не изменилась. В 10 часов утра были включены лампы накаливания в середине крыши зимнего сада и в 17 часов они были отключены, поскольку световой день заканчивался и дальнейший подогрев был не перспективен. Как видно из представленных данных прогрев и остывание внутреннего пространства крыши при помощи двух ламп накаливания произошел в течении 1-1,5 часов. Остывание, согласно графику, происходило несколько быстрее, что объясняется тем, что термометр был расположен в нижней части крыши, теплый воздух от ламп за счет конвекции стремился вверх. Благодаря работе двух ламп накаливания суммарной площадью в 200 Вт пространство в середине крыши удалось нагреть до 15°С, при температуре на улице -10°С. Это привело в уско-

рению таянья снега, и по отношению к контрольному, не подогреваемому отсеку крыши зимнего сада, площадь снежного покрова уменьшилась на 7-15%, в обоих отделениях таянье произошло в верхней части зимнего сада. Неточность определения площади снежного покрова обусловлена тем, что слой снега имел границу сложной формы и разную толщину, кроме того в некоторых случаях образовывался отдельные участки прозрачного льда, что затрудняло определение его геометрических размеров. Образование тонкого слоя льда вызвано низкой температурой воздуха. Для Украины не свойственен резко континентальный климат и на протяжении зимы часты заморозки и оттепели. С учетом хороших теплоизолирующих свойств

сотового поликарбоната тонкий слой льда легче растает в солнечную погоду.

В ходе эксперимента было отмечено, что отмечено существенное таянье снега в нижней части крыши, непосредственно напротив лам накаливания (рис. 5). Пояснением этому, по нашему мнению, является то, что таянье снега произошло благодаря не нагреву, а именно излучению лам накаливания. На рисунке видно, что таянье снега произошло строго вдоль воздушных каналов сотового поликарбоната. При этом, проталина имеет ярко выраженные границы по всей толщине слоя снега, что служит дополнительным подтверждением предположения про лучистый механизм передачи энергии.

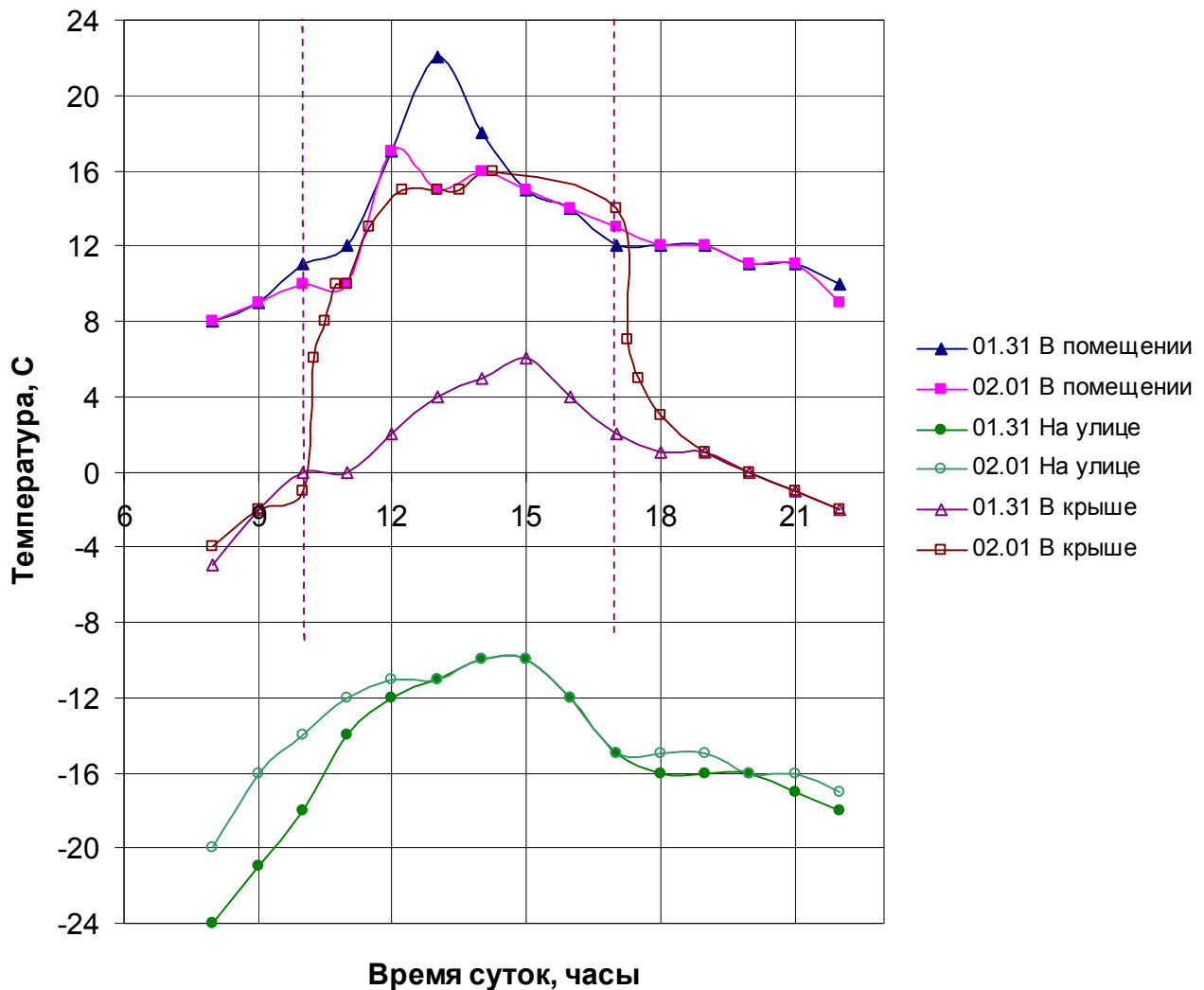


Рис. 4. Зависимость температуры в помещении, в середине крыши и на улице от времени суток

Fig. 4. Dependence of temperature of room in middle of roof and on street from time to time of day



Рис. 5. Фотография слоя снега над подогреваемой крышей зимнего сада

Fig. 5. Photo snow layer over a heated conservatory roof of "Winter Garden"

ВЫВОДЫ

Таяние снега на крышах теплиц, созданных из материалов с низкой теплопроводностью, можно обеспечить за счет использования не теплопередачи а теплового излучения размещая источники в середине теплиц.

Для экономии энергии при нагреве снега за счет лучистой энергии целесообразно использовать светоотражатели направленные на участки скопления снега.

В случае создания многослойных теплиц из сотового поликарбоната внешний слой, на котором может скапливаться снег, целесообразно изготавливать из образца с минимальной толщиной обеспечивающей его механическую прочность для обеспечения снеготаяния за счет конвекции и теплового излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bredenbeck H. 1988: Solarenergie-Nutzung in Norddeutschland. Dt. Gartenbau; T. 42. N 15. – 934–936
2. Waaijenberg D. 1989: Nederlandse kassenbouw zoekt naar meer licht. Landbouwk. Tijdschr; T. 101. N 3. – 27–29.
3. Gabloffsky W. 1990: NTV: Gewachshausbau. Gartnerborse Gartenwelt; T. 90. N 9. – 440–442.

4. Kondrateva N.; Bilalova N.i dr. 2011: Analiz ispolzovaniya svetodiodnyih obluchatelnyih ustanovok v zaschisennom grunte. Ovoschevodstvo i teplich. hoz-vo, 2011; N 12. – 32–33.
5. Sokolov A.V. 2012: Shirokopolosnaya sistema osvescheniya dlya teplichnyih rasteniy. Ergoobespechenie i energosberezhenie v sel. hoz-ve / Vseros. nauch.-issled. in-t elektrifikatsii sel. hoz-va [i dr.]. – Moskva; Ch. 2. – 209–212.
6. Vovdenko K.P. 2011: Issledovanie svetovoy karakteristiki svetodiodnogo svetilnika. Mehanizatsiya i elektrifikatsiya sel.hoz-va; N 11. – 31.
7. Cairol D.; Lombardot G. 1985: Les serres de roses coupees en ile-de-France et dans le Var (1982-1983). Rev. hortic; T. 260. – 19–24.
8. Sudachenko V.N. 2002: Ispolzovanie vtorichnyih energoresursov v teplichnom ovschevodstve. Ekologiya i s.-h. tehnika. – SPb; T.3. – 93–96.
9. Kokoreva V. 2002: Mashinyi dlya myitya krovli teplits. Gavrish, 2002; N 3. – 28–29.
10. Weimann G. 1988: Die NTV-Bleiswijk. Gartnerborse Gartenwelt; T. 88. N 7. – 272–276.
11. Safety-Car, the low-cost Roof Cleaner/white wash Machine. <http://vdwaay.nl/Safety-Car/1785/>
12. Tsinkaev H. 2006: Effektivnyiy teplosberegayuschiy plastik – sotovyyi polikarbonat dlya ostekleniya teplits Teplitsyi Rossii; N 3. – 26–27.
13. Trofimov E.V. 2008: Material dlya teplits: steklo, plenka ili polikarbonat? Teplitsyi Rossii; N 1. – 21–23.
14. Bahtiyarov R.F. 2011: Teplosberegayuschee pokryitie dlya teplits. Kartoffel i ovoschi; N 5. – 15.
15. Muhortova E.I. 2005: Perspektivyi primeneniya samoreguliruemyih elektronagrevatelnyih kabeley na predpriyatiyah APK. Elektrifikatsiya selskogo hozyaystva / Bashk. gos. agrar. un-t. Ufa; Vyip. 4. – 52–56.
16. Kabeli obogreva Duo-Mix, Supi Txlp. http://www.sosylek.net/antiobledenenie_kabels_duo-mix_supi_txlp.php
17. Sotovyyi polikarbonat Vizor. <http://teplitca.kiev.ua/g307681-vizor>
18. Vitez T.; Travnicek P. 2011: The measurement of heat loss with use of a thermal imaging

system. Acta Univ. Agr. Silvicult. Mendelianae Brunensis; Vol. 59, N 3. – 193–196.

19. Romasevich Yu. A. 2012: Realizaciya optimal'nogo upravleniya dvizheniem dinamicheskikh system s ispolzovaniem PD- i PID-regulirovaniya / Yu. A. Romasevich // Motrol. – Vo 14. – №3. – 176–183.

20. Ross M. Yu. 2010: Primenenie bespilotnykh letatelnykh apparatov dlya operativnogo kontrolya usloviy kultivirovaniya mikrovodorosley v otkrytykh vodoemah Energoobespechenie i energosberezhenie v selskom hozyaystve / Vseros. nauch.-issled. in-t elektrifikatsii sel. hoz-va [i dr.]. – Moskva; Ch. 4. – 318–324.

21. Romasevich Yu. O. 2011: Optimizatsiya rezhimu zmini vilyotu vantazhu bashtovogo krana za odinichnimi kinematichnimi kriteriyami / Yu. O. Romasevich, G. V. Shumilov // Motrol. – Tom 13 B. – 167–173.

22. Institut Tehnichnoi teplofiziki NAN Ukrayini. <http://ittf.kiev.ua/>

METHOD OF SNOW CLEANING ROOF ENERGY-EFFICIENT GREENHOUSES

Summary. Method for cleaning roofs of greenhouses made of effective thermal insulation materials on the snow with the help of thermal radiation. The analysis of the results and suggested ways to improve the process.

Key words: greenhouses, snow removing, radiant energy.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА ПРИ СОДЕРЖАНИИ ЖИВОТНЫХ

Геннадий Голуб, Роман Швец

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Gennadiy Golub, Roman Shvets

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Приведенный принцип управления удалением навоза при содержании животных путем изменения дозы подстилки.

Ключевые слова: Навозная жижа, крупный рогатый скот, свиньи, навоз, влажность, подстилка.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Функционирование сельскохозяйственного производства должно осуществляться на безотходной основе с расширенным воспроизводством плодородия почв. Однако в настоящее время распространился метод производства сельскохозяйственной продукции, который базируются на основе применения интенсивных технологий. Потребность растений в элементах питания восполняется за счет минеральных удобрений, когда дозы внесения органических удобрений на порядок меньше необходимого количества для компенсации потерь гумуса, что приводит к ухудшению биологических свойств почвы и ее деградации.

Безотходная технология представляет собой такой способ производства сельскохозяйственной продукции, при котором негативное влияние на окружающую среду отсутствует или не превышает уровня санитарно-гигиенических норм и предельно допустимых концентраций. Одним из элементов безотходного производства сельскохозяйственной продукции является переработка и использование навоза.

В связи с этим, возникает необходимость в управлении процессом удаления навоза крупного рогатого скота (КРС) и свиней, удельный вес которого в общем количестве навоза наибольший, в полноценные органические удобрения с использованием техно-

логий биогазового сбраживания и компостирования.

Несмотря на значительное количество проведенных исследований, вопросы управления процессом удаления навоза, с планированием его дальнейшего распределения путем изменения доз подстилки, требует проведения дальнейших исследований.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Навоз животноводческих ферм представляет собой смесь твердых и жидких экскрементов животных, растворенных в них минеральных и газообразных веществ, технологической и смывной воды, отходов корма. Имея большую влажность, навоз содержит значительное количество минеральных и органических веществ, которые трудно окисляются. Одновременно имеет достаточно большой запас энергии, аккумулированной в биомассе.

Навоз используют не только в качестве органического удобрения, из него получают кормовые дрожжи, биогаз, используют в качестве добавки в корм животным, на его основе выращивают червей, мух, ряску, кувшины сальвинии, хлореллу, используют в гидропонных системах [3, 8, 9, 16].

Однако в большинстве случаев навоз используется в качестве органического удобрения, так как он не только повышает содержание гумуса в почве, но и существенно улучшает ее физико-химические свойства, увеличивает запас питательных веществ, снижает кислотность, повышает поглотельную способность, буферность, влагоемкость, скважность и водопроницаемость, обогащает почву микрофлорой, усиливает биологическую активность и выделение уг-

лекислоты, уменьшает сопротивление рабочих органов при обработке почвы [1, 20, 21, 7].

В процессе переработки навоз является источником для получения газообразного топлива на основе биометана, а также компостов на основе подстилочного навоза и навозной жижи после метанового сбраживания, которые должны быть основным видом органического удобрения в растениеводстве.

Навозная жижа – жидкость, которая выделяется из навоза при его удалении и хранении. Ее используют для производства компостов, как жидкое органическое удобрение и в качестве биосырья в биогазовых технологиях [20].

Одним из важнейших принципов производства компоста есть добавления в исходную смесь углеродных материалов, которые являются важным компонентом дыхания и питания микроорганизмов, которые осуществляют процесс аэробного сбраживания. При закладке материалов на компостирование нужно выдерживать определенное соотношение между азотом и углеродом. Для поддержания заданного баланса, богатые азотом материалы насыщают углеродными материалами, в частности к навозу добавляют соответствующую норму подстилки. Для того чтобы процесс компостирования шел в нужном направлении, компостная смесь должна иметь углерод и азот в соотношении $C:N = 20-30:1$ (C – количество углерода, N – количество азота) [18].

При использовании навоза при производство биогаза выделяют две технологии: жидкофазную и твердофазную. При твердофазной технологии возникают трудности, связанные с обеспечением оптимальных условий протекания микробиологических процессов ферментации биомассы. В первую очередь это касается загрузки и гомогенизации биомассы, которая поступает на сбраживания. Применение жидкофазной ферментации является более распространенным в практике использования биогазовых установок. При этом обеспечивают непрерывное введение небольшими порциями входной биомассы в метантенк, который представляет собой емкость-смеситель, где поддерживается заданная влажность и температура без доступа воздуха [6].

Система удаления навоза из помещений для животных и суточный объем навоза существенно сказываются на объемах навозохранилищ, а следовательно, на капитальных затратах, необходимых для их сооружения. Кроме того, при накоплении сырья необходимо учитывать те обстоятельство, что со временем навоз теряет азот и органическое вещество, что во многом определяет эффективность следующего этапа его использования для производства компоста и получения биогаза [6].

Следует отметить, что метановое сбраживание не обеспечивает обеззараживание навоза, который подвергается ферментации в биогазовых установках, кроме того в случае открытого хранения отходов сбраживания выделяться метан. Так, например, согласно законам Германии о возобновляемых источниках энергии, повышенное внимание уделяется закрытым хранилищам для хранения биомассы после сбраживания. Размеры таких хранилищ, как правило, сооружают объемом, который обеспечивал бы содержание сброженной биомассы не менее чем 180 дней [11].

Нами также предложена технология, которая предусматривает сбор подстилочного навоза вдоль зоны содержания животных, разделение подстилочного навоза на навозную жижу и густую фракцию, которая содержит подстилочный материал, их удаление из животноводческого помещения и дальнейшее использование навозной жижи для анаэробного сбраживания с получением биогаза, а густой фракции, которая содержит подстилочный материал, для компостирования и дальнейшего использования полученного компоста как органического удобрения [6, 10].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установление закономерности выхода навозной жижи из подстилочного навоза при содержании животных в зависимости от дозы подстилки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Суточное количество навозной жижи, которую можно получить из животноводческих предприятий зависит от суточного ко-

личества подстилки и суточного количества навоза, которой обуславливается видом, количеством животных и количеством и видом используемой подстилки.

Общеизвестно, что суточное количество навоза и необходимое количество подстилки, а также общее количество их смеси на животноводческих предприятиях определяется следующим образом:

$$Q_{Г} = nq, \quad (1)$$

где: $Q_{Г}$ – суточное количество навоза животных, кг/сутки; n – количество животных, гол.; q – суточный выход навоза на животноводческих предприятиях, согласно ВНК-

АПК-09.06 (табл. 1, табл. 2) [12], пересчитанных на одну свиноматку (табл. 3), и одну дойную корову (табл. 4), кг/гол. в сутки.

$$Q_{П} = nq_{П}, \quad (2)$$

где: $Q_{П}$ – суточная потребность в подстилке, кг/сутки; $q_{П}$ – суточная потребность в подстилке перечислена на одно животное, кг/гол. в сутки:

$$Q_{С} = n(q_{Г} + q_{П}), \quad (3)$$

где: $Q_{С}$ – общая суточная количество смеси навоза и подстилки, кг/сутки.

Таблица 1. Суточные нормы выхода и влажности экскрементов на свинофермах
Table 1. Daily norms of output and humidity excrement for pig farms

Группа животных	Выход экскрементов и их состав					
	Всего		в том числе			
	Масса, кг	Влажность, %	кал		моча	
			Масса, кг	Влажность, %	Масса, кг	Влажность, %
Хряки	11,04	89,43	3,80	75,0	7,24	97,0
Свиноматки:						
холостые	8,80	90,87	2,46	73,8	6,34	97,5
супоросные	10,00	91,01	2,60	73,1	7,40	97,3
подсосные	15,30	90,14	4,30	73,1	11,00	96,8
Поросята в возрасте, дней						
26–42	0,40	90,03	0,10	70,0	0,30	96,7
43–60	0,70	85,29	0,30	71,0	0,40	96,0
60–106	1,80	86,62	0,70	71,4	1,10	96,3
Свиньи на откорме массой, кг						
до 70	5,00	86,98	2,05	73,0	2,95	96,7
более 70	6,50	87,68	2,70	74,7	3,80	96,9

Таблица 2. Суточные нормы выхода и влажности экскрементов на молочных фермах
Table 2. Daily norms of output and humidity excrement for dairy farms

Группа животных	Выход экскрементов и их состав					
	Всего		в том числе			
	Масса, кг	Влажность, %	кал		моча	
			Масса, кг	Влажность, %	Масса, кг	Влажность, %
Коровы	55,00	88,44	35,00	85,2	20,00	94,1
Телята ремонтные:						
до 3-х месяцев	4,50	91,74	1,00	80,0	3,50	95,1
от 3-х до 6 месяцев	7,50	87,40	5,00	83,0	2,50	96,2
Телки и нетели:						
от 6 до 12 месяцев	26,00	86,24	14,00	79,5	12,00	94,1

Таблица 3. Суточный выход навоза на свинофермах из расчета на одну свиноматку
Table 3. Daily output of manure on farms is based on sow

Группа животных	Выход экскрементов и их состав			
	Кал		Моча	
	Масса, кг	Влажность, %	Масса, кг	Влажность, %
Основная свиноматка	2,9	73,2	7,8	97,2
Ремонтные свиноматки	1,0	73,8	2,5	97,5
Хряки и ремонтные хряки	0,1	75,0	0,3	97,0
Поросята	1,7	71,3	2,7	96,3
Свиньи на откорме	12,2	74,0	17,3	96,8
Общий выход и влажность навоза из расчета на одну свиноматку	17,9	73,6	30,7	96,9
	48,5	кг	88,3	%

Таблица 4. Суточный выход навоза на молочных фермах из расчета на одну дойную корову
Table 4. Output of manure from livestock enterprises per one cow

Суточный выход навоза	Выход экскрементов и их состав			
	кал		моча	
	Масса, кг	Влажность, %	Масса, кг	Влажность, %
Дойные коровы	35	85,2	20	94,1
Нетели	4	80,0	3	94,4
Выход и влажность навоза из расчета на одну дойную корову за сутки	39	84,7	23	94,1
	62	кг	88,2	%

Влажность подстилочного навоза при максимальной водоудерживающей способности (МВС) обуславливается видом подстилки и для растительных материалов она находится, как правило, в пределах от 76 до 84% [2].

Известно, также, что количество воды, которая превышает максимальную водоудерживающую способность подстилочного навоза, обусловленную наличием подстилки, составляет:

$$Q_G^B = Q_C \frac{W_C - W_{ПН}}{100 - W_{ПН}}, \quad (4)$$

где: Q_G^B – суточное количество воды, которая не удерживается подстилочным навозом и поступает в навозную жижу, кг/сутки; W_C – влажность смеси навоза и подстилки, %; $W_{ПН}$ – влажность подстилочного навоза при максимальном количестве удерживаемой воды (влажность при максимальной водоудерживающей способности), %.

Очевидно, что влажность смеси навоза и подстилки определяется так:

$$W_C = \frac{q_G W_G + q_{П} W_{П}}{q_G + q_{П}}, \quad (5)$$

где: W_C – влажность смеси навоза и подстилки, %; W_G – влажность навоза, %; $W_{П}$ – влажность подстилки, %.

Учитывая, что суточное количество навозной жижи составляет:

$$Q_{ГН} = \frac{Q_G^B}{W_{ГН}}, \quad (6)$$

где: $Q_{ГН}$ – суточное количество навозной жижи, кг/сутки; $W_{ГН}$ – влажность навозной жижи, отн. ед., и подставив значения количества воды, которая превышает максимальную водоудерживающую способность подстилочного навоза, обусловленную наличием подстилки, получим:

$$Q_{ГН} = \frac{Q_C}{W_{ГН}} \cdot \frac{W_C - W_{ПН}}{100 - W_{ПН}} = \frac{n(q_{Г} + q_{П})}{W_{ГН}} \cdot \frac{W_C - W_{ПН}}{100 - W_{ПН}} = \frac{n(q_{Г} + q_{П})}{W_{ГН}} \cdot \frac{q_{Г}W_{Г} + q_{П}W_{П} - W_{ПН}}{100 - W_{ПН}} =$$

$$= \frac{n}{W_{ГН}} \cdot \frac{q_{Г}W_{Г} + q_{П}W_{П} - (q_{Г} + q_{П})W_{ПН}}{100 - W_{ПН}}. \quad (7)$$

На основе полученного уравнения построена зависимость выхода навозной жижи в зависимости от влажности подстилочного навоза при МВС и дозы подстилки для свиней (рис. 1) и коров (рис. 2).

Анализ взаимного влияния влажности подстилочного навоза при МВС и дозы подстилки в зависимости от потребности для животных показал, что максимальный выход навозной жижи наблюдается при уменьшении внесении подстилки и уменьшении влажности подстилочного навоза при МВС. Зато при увеличении внесении подстилки от 4 до 6 кг/гол. для свиней и 5 до 8 кг/гол за сутки для КРС будем иметь отсутствие выхода навозной жижи в пределах изменения влажности подстилочного навоза при МВС от 82 до 84 % соответственно.

Установлено, что с увеличением внесения подстилки и влажности подстилочного навоза при МВС от 77 до 82 %, влажность подстилочного навоза увеличивается на величину от 1 до 1,5 % (рис. 3 для свиней и рис. 4 для коров).

С увеличением влажности подстилочного навоза при МВС более 82 % внесения подстилки более 3 кг/гол за сутки не имеет существенного влияния на влажность подстилочного навоза свиней и КРС. Это связано с тем, что влажность подстилочного навоза достигает своей критической границы и дальнейшее поглощение жидкой фракции прекращается.

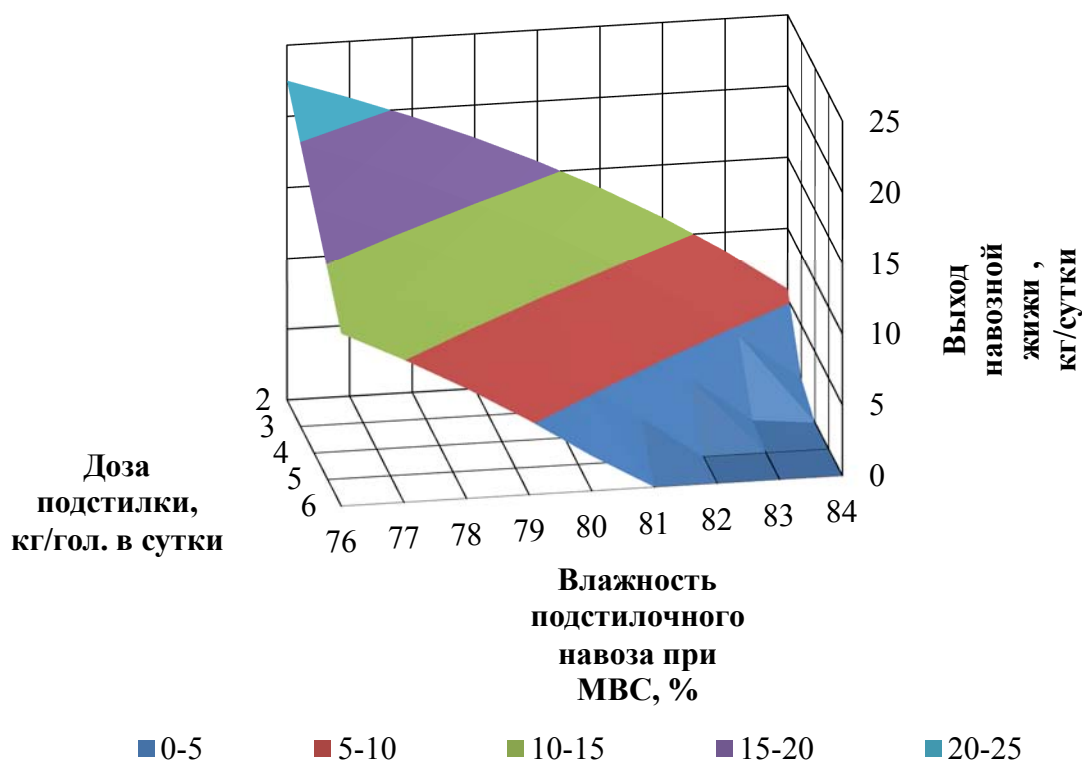


Рис. 1. Зависимость выхода навоза от влажности подстилочного навоза при МВС и дозы подстилки для свиней

Fig. 1. Dependence of yield of the manure from the humidity of bedding manure at cost center and dose litter for pigs

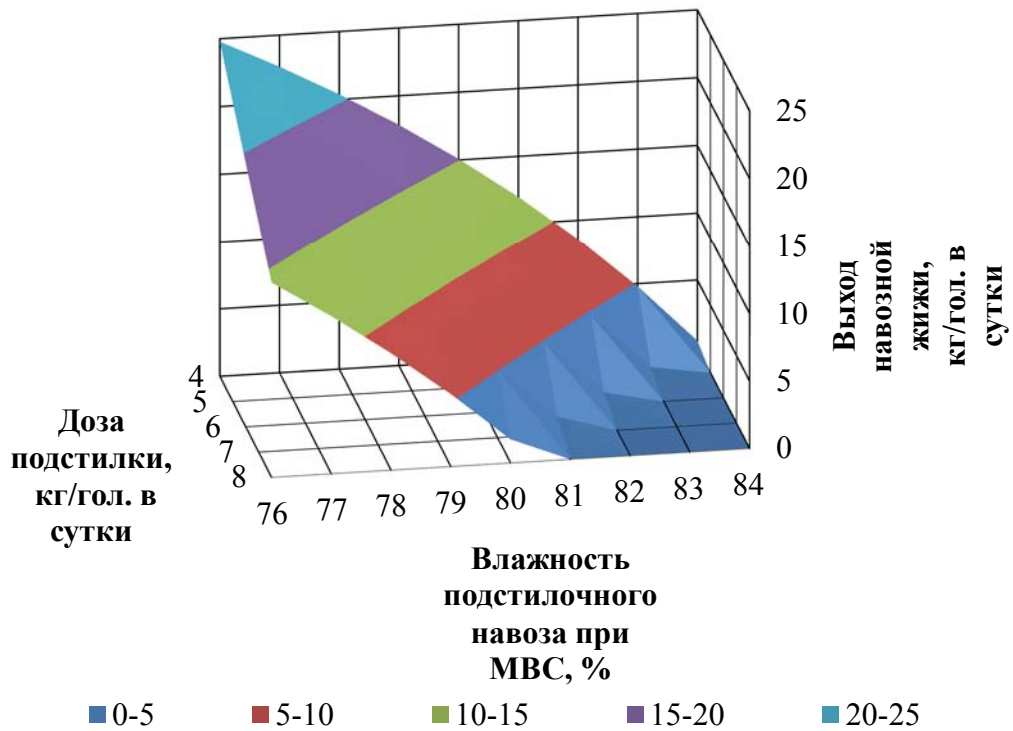


Рис. 2. Зависимость выхода навоза от влажности подстилочного навоза при МВС и дозы подстилки для коров

Fig. 2. Dependence of the yield of the manure from the humidity of bedding manure at a cost center and dose litter for cows

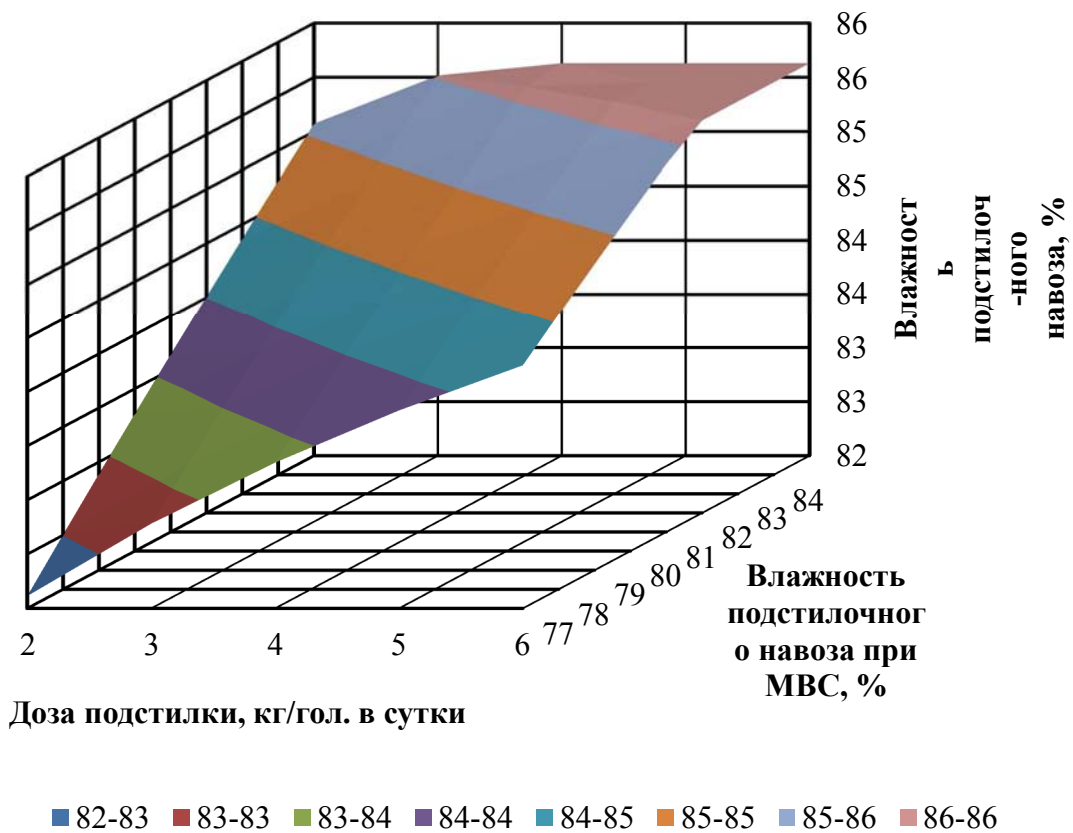


Рис. 3. Зависимость влажности подстилочного навоза от влажности подстилочного навоза при МВС и дозы подстилки

Fig. 3. Dependence of humidity of bedding manure from moisture bedding on-who as a cost center, and dose litter

С увеличением дозы внесения подстилки наблюдается уменьшение выхода навоза при неизменном значении влажности. На основе полученного уравнения было построено за-

висимости выхода навоза от вида животных при внесении различной дозы подстилки и величине максимальной водоудерживающей способности на уровне 80% (рис. 5).

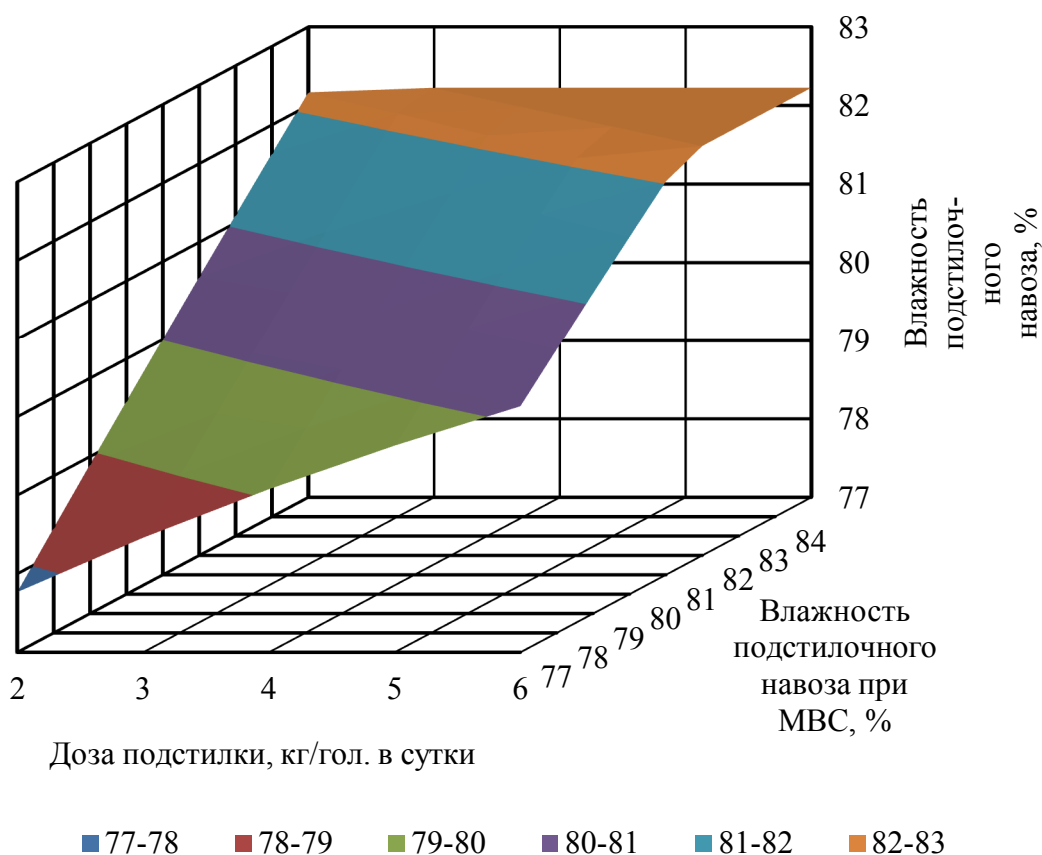


Рис. 4. Зависимость влажности подстилочного навоза от влажности подстилочного навоза при МВС и дозы подстилки

Fig. 4. Dependence of humidity of bedding manure from moisture bedding on who as a cost center, and dose litter



Рис. 5. Зависимость выхода навоза от дозы подстилки при влажности подстилочного навоза, которая соответствует МВС3 на уровне 80 %

Fig. 5. Dependence of the yield of the manure from the dose litter moisture bedding manure, which corresponds to a cost center to 80 %

Из графика видно, что с увеличением дозы внесения подстилки наблюдается уменьшение выхода навоза при постоянном значении величины влажности подстилочного навоза, которая соответствует МВС.

Так, например, при суточном использовании подстилки в количестве 4 кг/гол., выход навоза составит 15,1 кг/гол. в сутки для КРС и 9,1 кг/гол. в сутки для свиней, а при увеличении дозы подстилки до 6 кг/гол., соответственно 8,4 и 2,5 кг/гол. в сутки.

ВЫВОД

Установлены закономерности выхода навозной жижи из подстилочного навоза в зависимости от дозы подстилки, позволяют осуществлять управление процессом удаления навоза с планированием объемов дальнейшего распределения подстилочного навоза на аэробную ферментацию и навозной жижи на анаэробное сбраживание в биогазовых установках с последующим ее возвратом в процесс компостирования подстилочного навоза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Agrohimiya 1967: Pod red. V.M. Klechkovskogo i A.V. Peterburgskogo. – M.: Kolos, – 583.
2. Agrohimiya 1991: Agrohimiya v voprosah i otvetah / [A.A. Kalikin I.R. Vil'dflush, V.A. Ionas i dr.]. – Mn.: Uradzhaj. – 240.
3. Dolgov V.S. 1984: Gigiena uborki i utilizacii navoza / Dolgov V.S. – M.: Rossel'-hozizdat. – 175.
4. Dubrovina O. 2013: Rezul'tati isledovanij metanovoj fermentacii mnogo-komponentnogo substrata/ O. Dubrovina – Motrol, 15. №3. – 179–187.
5. Flys I. 2010: Engineer project management of production and processing complex / I. Flys – Motrol, 12 – 75–81.
6. Golub G.A. 2007: Agropromislove virobnictvo istivnih gribiv. Mehaniko-tehnologichni osnovi / G.A. Golub. – K.: Agrarna nauka. – 332.
7. Hohlov V.I. 1988: Podgotovka i primeneniye organicheskikh udobrenij v uslovijah intensivnogo zemledelija / V.I. Hohlov // Mehanizacija i jelektifikacija sel. hoz-va. № 12. – 11–14.
8. Ler R. 1979: Pererabotka i ispol'zovanie sel'skohozjajstvennyh othodov: Per. s angl. / Pod. red. A.N. Shamko. – M.: Kolos. – 415.
9. Metodicheskie 1983: Metodicheskie rekomendacii po pro-ektirovaniju sistem udaleniya, obrabotki, obezzarzhivaniya, hraneniya i utilizacii navoza i pometa / – M.: Kolos. – 61.
10. Patent 2013: Patent na korisnu model' № 18512 Ukraina, MPK (2013.01), A01K 23/00. Sposib vidalennja ta pidgotovki pidstilkovogo gnoju do utilizacii / Golub G.A., Zabolod'ko O.O., Hmelovskij V.S., Marus O.A.; vlasnik Nacional'nij universitet bioresursiv i prirodokoristuvannja Ukraini – Zajav. 08.02.2012, № a 201201345; Opubl. 10.07.2013, Bjul. №13.
11. Rukovodstvo 2010: Rukovodstvo po biogazu ot poluchenija do ispol'zovanija/: Identifikacionnyj nomer proekta (FKZ/INP): 22005108/ Nemeckij centr issledovanija biomassy Torgauer StraÙe 116- 04347 Leipzig [5-e polnost'ju pererab. izd.] Gjulcov.; izdano agentstvom po vozobnovljaemih resursam (FNR) Fechagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. – 214.
12. Sistemi 2006: Sistemi vidalennja, obrobki, pidgotovki, ta vikoristannja gnoju: VNTP–APK 09.06. Ofic. vidannja / – K.: Ministerstvo agrarnoi politiki Ukraini. – 100.
13. Sposoby 1998: Sposoby upravlenija processom biofermentacii organicheskogo syr'ja dlja poluchenija jekologicheskij chistyh udobrenij i kormovyh dobavok s zadannymi parametrami kachestva / Tehnologicheskij reglament/ VNIIMZ – Tver'. – 108.
14. Spravochnaja 1980: Spravochnaja kniga po himizacii selskogo hazjajstva / [Pod red. V.M. Borisova.] – 2-e izd., pererab. i dop. – M.:Kolos, 1980. – 560.
15. Tehnologija 2014: Tehnologija pererobki biologichnih vidhodiv u biogazovih ustanovkah z oberto-vimi reaktorami / [Golub G.A., Sidorchuk O.V., Kuharec S.M., ta in.]; za red. d-ra tehn. nauk, prof. G.A. Golub. – K.: Vidavnicij centr NUBiP Ukraini, – 106.
16. Tivo P.F. 1988: Jefferektivnoe ispol'zovanie bespodstilochnogo navoza./ Tivo P.F., Drobot S.G. – Minsk: Uradzhaj. – 116.

17. Tuva V.N. 1984: Tehnologicheskie processy i trebovanija k kompleksam tehniceskikh sredstv dlja mehanizirovannogo prigotovlenija kompostov na zhivotnovodcheskikh fermah i pticefabrikah: avtoref. dis. na soiskanie nauk, stepeni kand. tehn. nauk: V.N. Tuva – SPb-Pushkin. – 168.
18. Vasil'ev V.A., Luk'janenkov I.I., Mineev V.G. i dr. 1984: Organicheskie udobrenija v intensivnom zemledelii / Pod red. V.G. Mineeva. M.: Kolos, 303.
19. Agrohimiija 1991: Agrohimiija v voprosah i otvetah / [A.A. Kalikin I.R. Vil'dflush, V.A. Ionas i dr.]. – Mn.: Uradzhaj. – 240.
20. Vasil'ev V.A. 1988: Spravochnik po organicheskim udobrenijam / V.A. Vasil'ev N.V. Filippova [2-e izd., pererab. i dop.] – M.: Rosagropromizdat. – 255.
21. Vasjutin A.S. 1996: Zemledelie Rossii: sostojanie i zadachi // Zemledelie. № 3. – 4–5.

MANAGEMENT OF CONTENT IN MANURE ANIMALS

Summary. Powered by removing manure management principle at SRI containing animal by changing the dose of the litter.

Key words: slurry, cattle, pig manure, humidity, litter.

СОДЕРЖАНИЕ

Vitaliy Kryvoruchko, Thomas Amon, Barbara Amon, Valeriy Dubrovin, Maksym Melnychuk: co fermentation of sugar by-products with typical agricultural substrates.....	3
Вячеслав Ловейкин, Юрий Човнюк, Пётр Лымарь: анализ динамических нагрузок в канатах подъёмных кранов методом временных сплайнов.....	12
Сергей Пожидаев: ещё раз о радиусах эластичного колеса	19
Геннадий Голуб, Максим Павленко, Наталья Оларь: оценка сырьевой базы производства дизельного биотоплива при двухступенчатым отжиме растительного масла	26
Вячеслав Ловейкин, Александр Шевчук: оптимизация режима изменения вылета башенного крана с шарнирно-сочлененной стреловой системой по энергетическому критерию	33
Геннадий Голуб, Олег Марус: повышение качественных показателей энтомологического препарата трихограммы и определения экономической эффективности его производства	41
Сергей Карабинеш, Ярослав Марченко: механизм совместного действия точечной сварки и склеивания на рабочие характеристики соединения.....	51
Виктор Несвидомин, Тарас Пилипака, Татьяна Кремец: способ аналитического отображения плоских изображений на криволинейные поверхности.	58
Геннадий Голуб, Вячеслав Чуба: моделирование эксплуатационных показателей работы МТА на дизельном биотопливе	66
Александр Дзюб, Владислав Сухенко, Валерий Мануилов, Юрий Сухенко: методика исследования процессов коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевых и перерабатывающих производств.....	74
Сергей Топчий: влияние способа регулирования мощности на топливную экономичность бензинового двигателя.....	82
Юрий Сухенко, Александр Дзюб, Владислав Сухенко, Валерий Мануилов: природа коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевой и перерабатывающей промышленности	90
Андрей Новицкий: исследование надежности сложных технических систем «человек - машина» методом графов	96
Вячеслав Ловейкин, Юрий Ромасевич, Василий Голдун: математическое моделирование системы „механизм подъема груза – груз – транспортное средство”	103
Виктор Полищук, Николай Лободко, Алексей Полищук: использование отходов биодизельного производства для повышения производительности биогазовых установок.....	110
Михаил Муштрук, Юрий Сухенко: дизельное биотопливо с жиросодержащих отходов птицеводства	117
Юрий Ромасевич: анализ и разработка способов учета ограничений на функцию управления движением грузоподъемных кранов	123
Александр Войналович: методология определения риска травмирования механизаторов за данными дефектоскопического контроля	130

Григорий Шкариковский, Роман Шкариковский: отдельные результаты исследования деятельности производителей сельскохозяйственной продукции Украины.....	138
Олег Гнатюк, Александр Покутный, Тамара Билько: применение вероятностного анализа для оценки риска травмирования механизаторов агропромышленного комплекса.....	144
Юрий Герасимчук: оптимизация состава смеси при регулировании мощности бензинового двигателя методом отключения рабочих циклов.....	152
Виктор Василенков, Максим Гудзенко: результаты экспериментального исследования определения энергетической ценности соломы льна.....	159
Григорий Шкариковский: оценивание влияния конструктивно-компоновочных схем энергосредств на комплектование агрегатов на их базе.....	165
Валерий Соломка, Алексей Соломка: анализ процесса разрушения зерна ударом.....	172
Анатолий Панченко, Анжела Волошина, Игорь Панченко: методологические основы проектирования гидравлических вращателей планетарного типа.....	179
Александр Броварец: идентификация агробиологического состояния сельскохозяйственных угодий путем измерения электропроводных свойств грунтовой среды.....	187
Владимир Донец, Светлана Кочубей, Виталий Яценко, Александр Броварец, Тарас Казанцев, Вадим Бровченко: полевой спектральный аппаратно-программный комплекс для подспутниковой валидации дистанционного исследования растительности.....	195
Валерий Дубровин, Александр Броварец, Аль-Хазаали Хайдер Раад Надим: состояние проблемы и необходимость разработки комплекса оборудования для полива винограда при выращивании в природно-климатических зонах Ирака.....	202
Екатерина Серая: вентиляторное опрыскивание виноградников как процесс фильтрации аэрозолей.....	208
Геннадий Голуб, Виктор Теслюк, Василий Хмельовский, Николай Икальчик: энергоёмкость уборки навоза усовершенствованной скреперной установкой.....	215
Виталий Радчук: обоснование конструктивно-функциональной схемы и результаты экспериментальных исследований барабанного дозатора комбикормов.....	223
Валерий Дубровин, Дмитрий Скоробогатов: экспериментальные исследования агротехнических показателей работы плуга с дисковым измельчителем.....	229
Александр Демко, Анатолий Демко, Александр Надточий: производительность зерноуборочных комбайнов в зависимости от агробиологического состояния хлебной массы.....	236
Вадим Яременко, Анастасия Куценко, Олег Черныш, Мария Бондар: создание электронных диагностических средств гидравлических приводов комбайнов на основе динамических переходных процессов их функционирования.....	243
Анастасия Куценко, Вадим Яременко, Олег Черныш, Мария Бондар: о вынужденных колебаниях в периодических одномерных волноводах.....	248
Олег Черныш, Вадим Яременко, Анастасия Куценко, Мария Бондар: моделирование вынужденного колебательного движения в вибрационных приводах сельскохозяйственной техники.....	253

Валерий Макаренко, Константин Муравьев, Танзания Евпак, Николай Каливошко: исследование влияния коррозионной среды на трещиностойкость металла эксплуатируемых нефтяных резервуаров	258
Алексей Бешун: динамика многоцилиндровых дизельных двигателей с регулированием мощности отключением цилиндров и циклов.....	265
Валерий Дубровин, Николай Шведик: анализ процесса взаимодействия планки мотовила из колосоносным флоем	273
Евгений Коноплянченко, Владислав Герасименко, Виталий Колодненко: ресурсосберегающие технологии реинжиниринга средств транспорта специального назначения	279
Валерий Дубровин, Евгениуш Красовски, Константин Держан, Иван Роговский: периодичность в системе технического обслуживания кормоуборочных комбайнов	288
Иван Роговский: стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин	296
Валерий Дубровин, Евгениуш Красовски, Светлана Тарасенко, Семен Волошин: эксплуатационная надежность силовых контактных соединений электрооборудования.....	303
Людмила Титова, Иван Роговский: эффективность технической эксплуатации лесных МЭС	313
Леонид Роговский, Оксана Зазимко, Сергей Кюрчев, Наталья Болтянская: нормирование механической обработки восстановленных деталей сельскохозяйственной техники	322
Александр Быстрый, Иван Роговский: аналитические модели эксплуатационно-технологической безотказности зерноуборочных комбайнов	332
Опрышко Алексей, Пасечник Наталья: способ очистки крыш энергосберегающих теплиц от снега.....	339
Геннадий Голуб, Роман Швец: управление процессом удаления навоза при содержании животных	345

LIST OF THE REVIEWERS

1. Maksym Melnychuk
2. Valeriy Dubrovin
3. Gennady Golub
4. Victor Tesyluk
5. Vyacheslav Loveykin
6. Ivan Revenko
7. Sergey Pylypaka
8. Aleksandr Voynalovich
9. Aleksey Opryshko
10. Andrey Novitskiy
11. Grigoriy Shkaryvskiy
12. Iwan Rohowski
13. Konstantin Pochka
14. Leonid Rogovskiy
15. Nicholas Berezovoy
16. Oleg Chernysh
17. Oleg Marus
18. Sergey Fryshev
19. Stepan Lekhman
20. Valentyna Melnyk
21. Vasiliy Khmelevskiy
22. Victor Polyschuk
23. Yuliy Revenko
24. Zinoviy Ruzhylo
25. Oksana Zazimko
26. Sergei Kyurchev
27. Oleksiy Beshun
28. Anastasiya Kutsenko
29. Vadym Yaremenko
30. Oleg Chernysh
31. Mariya Bondar

Editors of the “MOTROL” magazine of the Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture would like to inform both the authors and readers that an agreement was signed with the Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling at the Warsaw University referred to as “ICM”. Therefore, ICM is the owner and operator of the IT system needed to conduct and support a digital scientific library accessible to users via the Internet called the “ICM Internet Platform”, which ensures the safety of development, storage and retrieval of published materials provided to users. ICM is obliged to put all the articles printed in the “MOTROL” on the ICM Internet Platform. ICM develops metadata, which are then indexed in the “Agro” database.

Impact factor of the „MOTROL" journal according to the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture is 2,42 (January 2014).

GUIDELINES FOR AUTHORS (2014)

The journal publishes the original research papers. The papers (min. 8 pages) should not exceed 12 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, 12 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2,5 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 pre- pared 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. (Table1).

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), (% $m^3 m^{-3}$) 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 the name of the first author and then others, e.g.

7. Kasaja O., Azarevich G. and Bannel A.N. 2009. Econometric Analysis of Banking Financial Results in Poland. Journal of Academy of Business and Economics (JABE), Vol. IV. Nr 1, 202–210.

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 Polish). 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.