



Issue №23

Part 1



International periodic scientific journal

ONLINE

www.sworldjournal.com

D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov (Bulgaria)

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 87)
GOOGLESCHOLAR

SWorld Journal

Issue №23
Part 1
January 2024

Published by:
SWorld & D.A. Tsenov Academy of Economics, Svishtov, Bulgaria

UDC 08
LBC 94

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*
Scientific Secretary: Kuprienko Sergiy, *PhD in Technical Sciences*

Editorial board: More than 300 doctors of science. Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/about/editorialTeam>

Expert-Peer Review Board of the journal: Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "SWorldJournal" has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars. Today, the journal publishes authors from from different countries.

Journal Established in 2018. Periodicity of publication: twice a year

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in the INDEXCOPERNICUS, GoogleScholar.

UDC 08
LBC 94

Published by:
SWorld &
D.A. Tsenov Academy of Economics
Svishtov, Bulgaria
e-mail: editor@sworldjournal.com

Copyright
© Authors, scientific texts 2024



UDK 621.3.061

CONTROL NODAL VOLTAGE LOSSES OF ELECTRIC POWER SYSTEM WITH CORRECTION TRANSFORMATION RATIOS

Arakelyan Varuzhan Pavlik,

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
National Polytechnic University of Armenia, Institute of Power Engineering and
Electrical Engineering, chair of Electric Power Engineering,
Republic of Armenia, Yerevan city, Str. Teryan 105, Yerevan 0009

Abstract. Introductory speech on the research topic: Electrical systems are complex systems. Multifaceted connections between the elements of modern electrical systems determine the features of their management. In the course of research, the system is modeled by two interconnected components. The first component relates to modeling the electrical system modes, and the second component relates to modeling the electrical network scheme. The electrical network scheme model contains passive parameters of power lines and transformers, on the basis of which a Z-matrix of generalized parameters is formed. The influence passive parameters of two-winding transformers leads to voltage and power losses in the system. Therefore, it is necessary to take into account the possibility of changing the modules of transformation ratios when controlling the modes of the electrical system.

The purpose of scientific research: Control nodal voltage losses of electric power system with correction transformation ratios. Modeling of two-winding transformers with an Γ -equivalent circuit, application of an algorithm for determining transformation ratio modules, formulae for calculating voltage losses, correction formulae for transformation ratio modules.

Description of scientific and practical significance of the work: Scientific value of the work: A new approach to managing nodal voltage losses of an electric power system is presented, based on the Γ -equivalent circuit for modeling transformers, using a Z-matrix without passive parameters of transformers, controlling the level of nodal voltage by changing transformation ratios. Practical significance: provides universality of calculation, analysis and assessment of the influence of passive parameters of transformers on voltage and power losses in transmission electrical networks.

Description of the research methodology: Taking into account various types of modeling of transformers of modern electric power systems, the complexity of network schemes, matrix theory, numerical methods for solving system mode equations, an algorithm for determining transformation ratio modules, control of nodal voltage losses was carried out with correction of transformation ratio modules.

Main results, conclusions of the research work: The research was carried out on a macro-model of the electric power system of Armenia. The analysis shows that the proposed algorithm for determining the transformation ratios of two-winding transformers, formulae for calculating voltage losses and formulae for correcting transformation ratios are applicable for transmission electrical networks. Nodal voltage losses in the system scheme and changes in transformation ratios caused by the passive parameters of transformers are estimated.

The value of the conducted research (what contribution of this work to the relevant branch of knowledge): The presented approach expands the scope of application of transformer parameters in the calculation and analysis of voltage and power losses.

Practical significance of the results of work: The resulting algorithm for determining transformation ratios, formulae for calculating voltage losses, and formulae for correcting transformation ratios make it possible to comprehensively analyze the level of voltage losses, control the permissible level of node voltages by changing transformation ratios and solve problems of voltage regulation.

Keywords: electric power system, transformation ratio, passive parameter, voltage losses, correction, matrix.



Introduction. Modern electrical power systems have an ever-evolving, complex configuration of electrical networks. The configuration is characterized by a model of the electrical network scheme. The electrical network scheme is modeled by equivalent circuits of power lines and transformers. Typically, power lines are modeled with a π -form equivalent circuit, rarely two-winding transformers with an Γ -form equivalent circuit. The electrical network scheme model forms a Z-matrix of passive parameters. Many researches do not take into account the influence passive parameters of two-winding transformers. Passive parameters of transformers cause changes in the nodal voltages of the electrical system. Voltage and power losses in the system increase. The form of representation of passive parameters of transformers is important for solving mode problems of system. Currently, there are no researches of the modes electrical systems related to the control of the permissible level of nodal voltages.

Literature review. Calculation of steady-state modes is the basis for the control of electrical power systems. With the development of electrical networks, interest in calculating modes with the presence of transformer parameters is growing [1-7,10]. If there are transformers with complex transformation ratios in the electric power system, the matrix equation of nodal voltages takes the following form:

$$\dot{U} = \dot{U}_{0B} + Z \cdot \dot{I}. \tag{1}$$

where \dot{U}_{0B} is a multidimensional slack voltage vector of the electrical system,

Z - nodal complex matrix of resistances of the electrical system, taking into account the passive parameters of lines and transformers and complex transformation ratios,

\dot{U} - multidimensional vector of the complex voltage of independent nodes of the electrical system,

\dot{I} -multidimensional vector of the complex current of independent nodes of the electrical system.

To model transformers, π -equivalent circuits are mainly used, and in some cases, Γ -equivalent circuits.

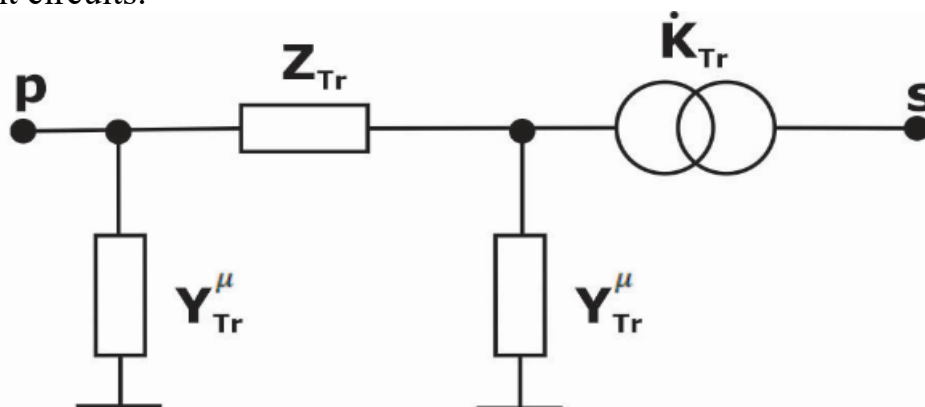


Fig. 1. π -equivalent circuit of a transformer

π -equivalent circuit of a transformer.

Z^Π - matrix of passive parameters (complex impedance matrix) of the Π -equivalent circuit of the transformer has the following form:

$$Z^\Pi = \begin{bmatrix} Y_{Tr} + Y_{Tr}^\mu & -K_{Tr} \cdot Y_{Tr} \\ -K_{Tr}^* \cdot Y_{Tr} & K_{Tr}^2 \cdot (Y_{Tr} + Y_{Tr}^\mu) \end{bmatrix}^{-1}. \tag{2}$$

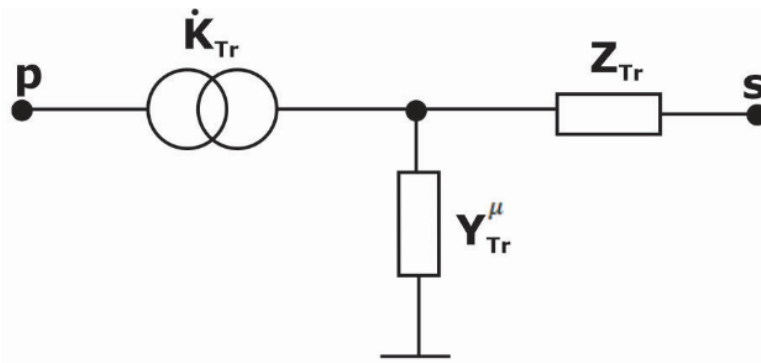


Fig. 2. Γ-equivalent circuit of a transformer

Γ-equivalent circuit of a transformer.

Z^Γ - matrix of passive parameters (complex impedance matrix) of the Γ-equivalent circuit of the transformer has the following form:

$$Z^\Gamma = \begin{bmatrix} \frac{Y_{Tr} + Y_{Tr}^\mu}{K_{Tr}^2} & -\frac{Y_{Tr}}{K_{Tr}^*} \\ -\frac{Y_{Tr}}{K_{Tr}} & Y_{Tr} \end{bmatrix}^{-1} \tag{3}$$

The Z-matrix of generalized parameters of the matrix equation (1) is formed using the Z^Π or Z^Γ matrices.

Calculation of electrical system modes using expression (1) has the following disadvantages:

1. The calculation of system modes with complex transformation ratios and its application becomes more complicated.
2. It is necessary to recalculate the Z-matrix if the transformation ratio changes.
3. Nodal voltage losses and power losses increase in the system.

To do this, it is necessary to rework the tasks of managing voltage losses of the electrical system, taking into account the passive parameters of two-winding transformers.

Aim of the Research. To control nodal voltage losses of the electric power system, it is recommended to use:

1. Γ -form equivalent circuit for modeling transformers.
2. Algorithm for determining the modules of transformation ratios of electrical system transformers in nodes.
3. Formulae for nodal voltage losses of the electrical system due to the passive parameters of transformers.
4. Formulae for correcting the modules of transformation ratios of transformers due to nodal voltage losses.

Main Body. Let us present the calculation scheme of a two-winding transformer in the following form (Fig. 3).

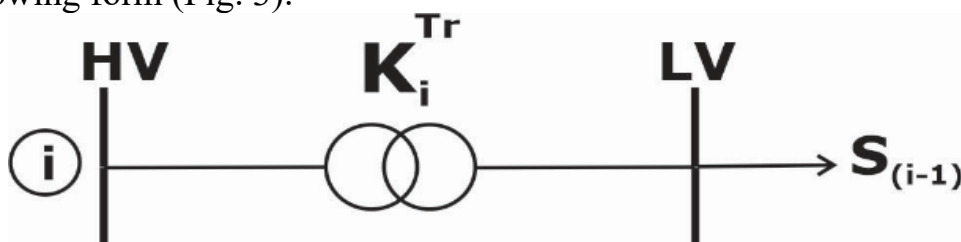


Fig.3 Calculation scheme of a two-winding transformer.



Since the supply voltage of transformers differs from its nominal voltage, control taps are installed in their windings, when they change, the transformation ratio changes within certain limits.

The transformer turns ratio is determined using the following algorithm.

1. First it is accepted:

$$U_i = U_{RTi}^{CAL} . \tag{4}$$

where

U_i - voltage module of the i-th node of the electrical system,

U_{RTi}^{CAL} - the calculated voltage value of the transformer regulating tap of the electrical system i-th node.

2. The number of initial taps of the transformer voltage regulation device is determined by the

following expression:

$$n'_{HVi} = \frac{U_{RTi}^{CAL} - U_{nomi}^{HV}}{\frac{a_i \cdot U_{nomi}^{HV}}{100}} . \tag{5}$$

where

U_{nomi}^{HV} - the high-voltage winding nominal voltage value of the i-th node transformer,

a_i - the voltage regulation degree of the i-th node transformer relative to the nominal voltage.

Let us make the following notation.

$$\Delta a_i = \frac{a_i \cdot U_{HOMi}^{BH}}{100} . \tag{6}$$

Taking into account notation (6), formula (5) takes the following form:

$$n'_{HVi} = \frac{U_{RTi}^{CAL} - U_{nomi}^{HV}}{\Delta a_i} . \tag{7}$$

where

Δa_i -this is the voltage regulation step of the i-th node transformer.

The number of calculated initial control taps is rounded up.

$$n'_{HVi} \approx n_{HVi} . \tag{8}$$

3. The standard value of the transformer regulation tap voltage is determined by the following formula:

$$U_{RTi}^{ST} = U_{nomi}^{HV} \cdot (1 + n_{HVi} \cdot a_i) . \tag{9}$$

Let us make the following notation.

$$\omega_{RTi} = 1 + n_{HVi} \cdot a_i . \tag{10}$$

where

ω_{RTi} the relative turns number of the high-voltage winding of the i-th node transformer.

Taking into account notation (10), formula (9) will take the following form:

$$U_{RTi}^{ST} = U_{nomi}^{HV} \cdot \omega_{RTi} . \tag{11}$$

4. The standard value of the transformer turns ratio is determined by the following formula:

$$K_i^{Tr} = \frac{U_{RTi}^{ST}}{U_{nomi}^{LV}} . \tag{12}$$



where

U_{nomi}^{LV} - the low-voltage winding nominal voltage value of the i -th node transformer.

The transformation ratio varies within the following limits:

$$K_i^{Tr} = \begin{cases} K_{i,min}^{Tr}, & \text{when } U_{RTi,min}^{ST} = K_{i,nom}^{Tr} \cdot \omega_{RTi}^{min}, \\ K_{i,nom}^{Tr}, & \text{when } U_{RTi}^{ST} = U_{nom,i}^{PL}, \\ K_{i,max}^{Tr}, & \text{when } U_{RTi,max}^{ST} = K_{i,nom}^{Tr} \cdot \omega_{RTi}^{max}. \end{cases} \quad (13)$$

where

$$\omega_{RTi}^{min} = 1 - n_{HVi} \cdot a_i, \quad (14)$$

$$\omega_{RTi}^{max} = 1 + n_{HVi} \cdot a_i, \quad (15)$$

Let us assume that the electric power system (EPS) consists of $M + 1$ nodes (see Fig. 4).

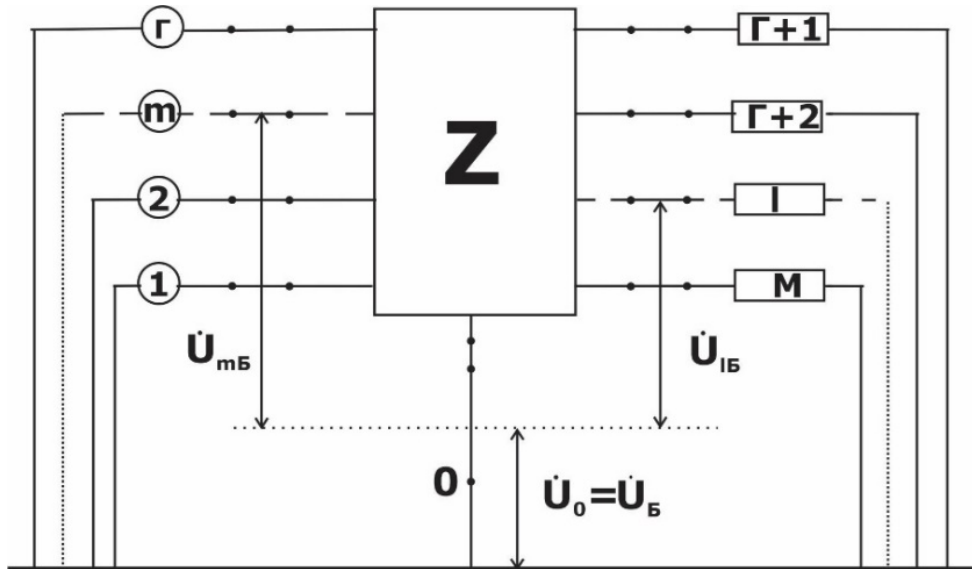


Fig. 4. Equivalent scheme of the EPS with the Z-form

The node with index "0" is selected as the slack node. In this case, the equation of steady-state of the electrical system in the Z-form takes the following form [8, 9, 10]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_{0B} + Z_{11} \cdot \dot{I}_1 + Z_{12} \cdot \dot{I}_2 + \dots + Z_{1M} \cdot \dot{I}_M, \\ \dot{U}_2 &= \dot{U}_{0B} + Z_{21} \cdot \dot{I}_1 + Z_{22} \cdot \dot{I}_2 + \dots + Z_{2M} \cdot \dot{I}_M, \\ &\dots \dots \dots \\ \dot{U}_M &= \dot{U}_{0B} + Z_{M1} \cdot \dot{I}_1 + Z_{M2} \cdot \dot{I}_2 + \dots + Z_{MM} \cdot \dot{I}_M. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

where $\dot{U}_{0B}, \dot{U}_1, \dot{U}_2, \dots, \dot{U}_M$ -are complex voltages of nodes 0, 1, ..., M of the electrical system,

$\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_M$ -are complex currents of nodes 1,2, ..., M of the electrical system,

$Z_{12}, \dots, Z_{1M}, Z_{21}, \dots, Z_{2M}, \dots, Z_{M1}, \dots, Z_{MM}$ - are mutual impedances of independent nodes of the electrical system,

$Z_{11}, Z_{22}, \dots, Z_{MM}$ - are self-impedances of independent nodes 1,2,...,M of the electrical system.

The nodal equation of the electrical system (16) in a compact form takes the form:

$$\dot{U} = \dot{U}_{0B} + Z \cdot \dot{I}. \quad (17)$$



where \dot{U}_{0B} is a multidimensional slack voltage vector of the electrical system,

Z - nodal complex matrix of self and mutual impedances, due to the longitudinal and transverse passive parameters of power lines,

\dot{U} - multidimensional vector of the complex voltage of independent nodes of the electrical system,

i -multidimensional vector of the complex current of independent nodes of the electrical system.

Taking into account the passive parameters of transformers in the electric power system (Fig. 4.), the equivalent circuit of the EPS will take the following form (Fig. 5.).

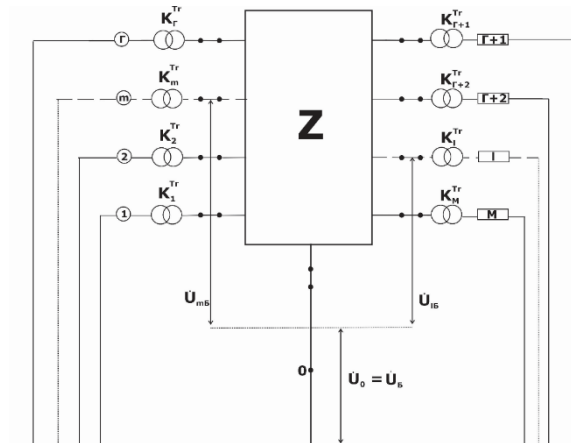


Fig. 5. EPS equivalent scheme in Z-form, taking into account the transformation ratios of transformers.

Let us write the matrix equation of the steady-state for the equivalent scheme of the electric power system presented in (Fig. 5.), we will have:

$$\dot{U}^{Tr} = \dot{U}_{0B} + Z \cdot i^{Tr} \tag{18}$$

where

\dot{U}^{Tr} multidimensional complex voltages vector of electrical system independent nodes, taking into account the passive parameters of transformers,

i^{Tr} - multidimensional complex currents vector of electrical system independent nodes, taking into account the passive parameters of transformers.

From the difference between matrix equations (17) and (18) we obtain:

$$\dot{U} - \dot{U}^{Tr} = Z \cdot (i - i^{Tr}). \tag{19}$$

Using matrix equation (19), we determine the voltage losses using the following formula, we obtain:

$$\nabla U = \text{mod } \dot{U} - \text{mod } \dot{U}^{Tr}. \tag{20}$$

or

$$\nabla U = U - U^{Tr}. \tag{21}$$

where

$$\nabla U = \begin{bmatrix} \nabla U_1 \\ \nabla U_2 \\ \dots \dots \dots \\ \nabla U_M \end{bmatrix}, \tag{22} \quad U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \dots \dots \\ U_M \end{bmatrix}, \tag{23} \quad U^{Tr} = \begin{bmatrix} U_1^{Tr} \\ U_2^{Tr} \\ \dots \dots \dots \\ U_M^{Tr} \end{bmatrix}. \tag{24}$$

We compensate for nodal voltage losses in the electrical system caused by the presence of passive parameters of transformers by changing the transformation ratios.



Let us write matrix equation (21) in the following form:

$$U = \alpha \cdot U^{Tr}. \tag{25}$$

where

α - change coefficient in nodal voltage of the electrical system..

$$\alpha = 1 + \nabla U / U^{Tr}. \tag{26}$$

Using the algorithm for determining the transformation ratios of transformers, matrix equation (25) will take the following form:

$$K = \alpha \cdot K^{Tr}. \tag{27}$$

where

K - multidimensional vector of transformers transformation ratios of the electrical system independent nodes,

K^{Tr} - multidimensional vector of transformers transformation ratios of the electrical system independent nodes, in the presence of passive parameters..

$$K = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ \dots \\ K_M \end{bmatrix}, \tag{28} \quad \alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_M \end{bmatrix}, \tag{29} \quad K^{Tr} = \begin{bmatrix} K_1^{Tr} \\ K_2^{Tr} \\ \dots \\ K_M^{Tr} \end{bmatrix}. \tag{30}$$

Let us estimate the voltage losses of the nodes and the change in transformation ratios using the Euclidean norm of vectors [11], i.e.

$$\|\nabla U\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^M |\nabla U_i|^2}, \tag{31}$$

$$\|\Delta K\|_2 = \sqrt{\sum_{i,j} |\Delta K_i|^2}. \tag{32}$$

The study was carried out on the macromodel of the Armenian EPS. The simple iteration method is used to solve the steady-state equations. The results are presented in tables. The Hrazdan Thermal Power Plant (index “0”) is represented as the slack node, the Yerevan Thermal Power Plant (index “1”), the Armenian Nuclear Power Plant (index “2”) are the generator nodes.

Table 1 - Voltages

node,i	$ \dot{U}_i $, kV	$ U_i^{Tr} $, kV	∇U , kV	α
0	220	220	-	-
1	211.974	206.9752	4.9988	1.0242
2	214.6895	208.9606	5.7289	1.0274
3	210.517	206.3364	4.1806	1.0203
4	210.6054	205.559	5.0464	1.0245

Table 2 - Transformers transformation ratios

node,i	K^{Tr}	K	ΔK
0	-	-	-
1	0.0761	0.0743	0.0018
2	0.0754	0.0734	0.0020
3	0.0533	0.0523	0.0011
4	0.0511	0.0499	0.0012



Conclusions:

1. Nodal voltage losses of the electric power system due to the passive parameters of transformers are: $\|\nabla U\|_2=2.42\%$.
2. The change in the transformation ratios of transformers in the electrical power system scheme is: $\|\Delta K\|_2=2.41\%$.
3. Nodal voltage losses of the electric power system in the presence of passive parameters of transformers are compensated by transformation ratios correction equivalent to losses.

Prospects for further research

1. Study of voltage calculations in system-forming electrical networks, taking into account the passive parameters of power lines and transformers.
2. Research on voltage regulation in transmission networks.

References

1. Fazylov X. F., T. X. Nasyrov T. X., Briskin I. L. To the calculation of steady-state modes of power systems taking into account complex transformation ratios of transformers. ELECTRICITY No. 12, 1972, pp. 7-9.
2. Timoty Vismar Transformer model. February 23, 2012 .22p.
3. Dusko Nedic Tap Adjustment AC Load Flow. UMIST. September, 2002. 17p.
4. Juan A. Martinez-Velasco Equivalent circuit of transformers with control of voltage and phase angle. Electric Powe Systems Research 81. 2011, pp. 1349-1356.
5. H.N. Aghdam Analysis of Phase-Shifting Transformer (PST), on Congestion management and Voltage Profile in Power System by MATLAB/Simulink Toolbox. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 3(7): 2011, pp. 650-659.
6. Allen A. Castillo, M. Natalia Galvan Osuna, Norma A. Barboza Tello, Alejandra J. Vega Teaching Short-Circuit Calculation with Off-Nominal Turns Ratio Transformers. TEM. Journal. Volume 10, Issue 4, November 2021, pp. 1525-1533.
7. Jose M. Cano, Md. Rejwanur R. Mojumdar, Joaquin G. Norniella, Gonzalo A. Orcajo Phase shifting transformer model for direct approach power flow studies. Electrical Power and Energy Systems 91 (2017), pp. 71-79.
8. Xi-Fan Wang, Yonghau Song, Malcolm Irving Modern Power Systems Analysis. Springer Science + Business Media. New York, 2008. 569 p.
9. Arakelyan V.P. Estimation of the voltage drop in the electric power system using a Z-matrix of a new type. Academic notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: technical sciences, Kyiv, Volume 30 (69) Part 2 No. 4 2019, pp.1-5.
10. Arakelyan V.P. Assessment of the electric power system power losses taking into account the passive parameters of transformers. SworldJournal, Issue 16 / Part 1, November 2022, pp. 3-11.
11. Gentle James E. Matrix Algebra. Theory, Computations and Applications in Statistics. Switzerland: Second Edition, Springer Texts in Statistics, 2017. 648 p.



УДК 004.2

IMPLEMENTATION OF THE FUNCTION OF STEPWISE CURRENT RELAY PROTECTION BASED ON A PARALLEL OPERATION PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІЇ СТУПІНЧАСТОГО СТРУМОВОГО РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА ПАРАЛЕЛЬНОЇ ДІЇ

Hrytsenko S.D. / Гриценко С.Д.

assistant / асистент

State Biotechnological Universite, Kharkiv, Alchevsky, 44, 61000

Державний біотехнологічний університет, Харків, Алчевських, 44, 61000

Piskarov O.M. / Піскарьов О.М.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-6980-984X

Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Nauky Avenue, 14, 61000

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, проспект Науки, 14, 61000

Abstract. The issue of increasing the reliability of relay protection devices by using programmable logic integrated circuits (PLIC) has been considered. The algorithm of the current step protection is analyzed and implemented on PLIC using VHDL language. It is shown that the use of PLIC can significantly increase the speed, reliability and noise immunity of relay protection devices. The conclusion is made about the prospect of using PLIC to create highly reliable relay protection systems.

Key words: improving the reliability of relay protection devices, programmable logic integrated circuits, FPGAs, parallel-acting controller FPGAs

Introduction. Relay protection (RP) is designed to protect power systems and its elements from dangerous consequences of damage and abnormal modes. Reliable RP operation is essential for normal and reliable functioning of modern power systems. Currently, microprocessor-based relay protection devices (MPRPD) have been developed and are widely used. However, the practice of their application shows that these devices have typical disadvantages of microprocessor equipment, namely: limited reliability parameters of both hardware and software. Therefore, improving the reliability of relay protection devices is an important and urgent task.

The use of programmable logic integrated circuit (PLIC) technology can eliminate some MPRPD disadvantages, and first of all, replace the serial principle of information processing with a parallel one, which allows to manifold increase the speed, reliability and noise immunity of RP devices and systems [1].

Conducted studies have shown that implementation of RP systems on PLIC is possible [2]. A PLIC parallel action controller was taken to practically test the RP algorithm.

Analysis of recent research and publications.

The analysis of known publications shows that PLICs are widely used to build digital devices of varying complexity and capabilities in various fields. However, no mentions of using PLICs in RP devices were found.

Main research materials.

The main algorithms for the functioning of relay protection with relative selectivity include current step protection. Current cutoff refers to overcurrent



protection that responds to an increase in current. Its main difference from maximum current protection [3] lies in the method of ensuring selectivity. Current step protection is a combination of current cutoffs and maximum current protection, which allows performing full-fledged protection with high speed. Usually, current step protection is performed in three stages:

- instantaneous cutoff - protects the initial line section;
- cutoff with time delay - used for reliable protection of the remaining line section;
- maximum current protection - performs the functions of close and remote backing.

The controlled signal from the current transformer *TA* is fed to the current relays of the first stage *KA1.1*, *KA1.2*, *KA1.3*, second stage *KA2.1*, *KA2.2*, *KA2.3* and third stage *KA3.1*, *KA3.2*, *KA3.3*. In case of short circuit, current relays are activated, which generate one at the output. The signal at the output of logical elements *DW1*, *DW2*, *DW3* becomes equal to one if at least one input signal is equal to one. Elements *DT1*, *DT2* implement a time delay necessary to meet the requirements of protection selectivity. *KL* is the output protection device, *KH1*, *KH2*, *KH3* are signaling elements (Figure. 1).

If the protection behavior is represented as a logical function T, then the tripping condition can be written as:

$$T = (KA1.1 \text{ OR } KA1.2 \text{ OR } KA1.3) \text{ OR } (KA2.1 \text{ OR } KA2.2 \text{ OR } KA2.3) \text{ AND } DT1 \uparrow \text{ OR } (KA3.1 \text{ OR } KA3.2 \text{ OR } KA3.3) \text{ AND } DT2 \uparrow = 1,$$

where *KA1.1*, *KA1.2*, *KA1.3*, *KA2.1*, *KA2.2*, *KA2.3*, *KA3.1*, *KA3.2*, *KA3.3* are the logical signals at the outputs of the overcurrent protection measuring elements;

DT1 ↑, *DT2* ↑ are time delay operators.

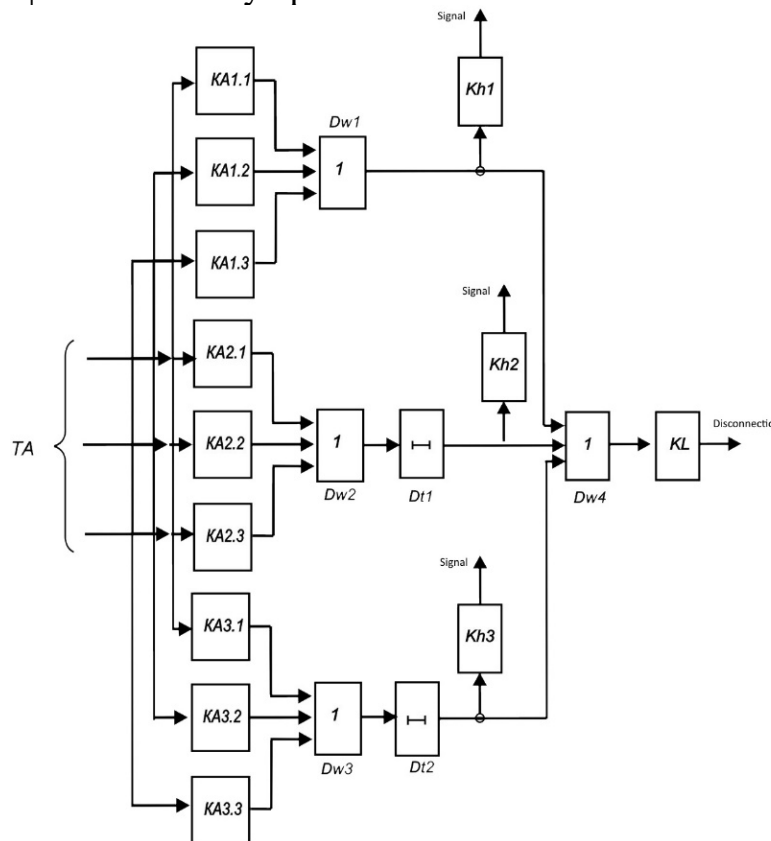


Figure 1 - Algorithm of current step protection using logic elements



In a very simplified version, the end product built using PLIC technology is a set of discrete logic implemented on a single chip. The main difference is that the "hardware" of the PLIC-based control device is determined not by the PCB routing and a fixed set of elements and connections, but is programmatically formed from a set of semiconductor switches. Thus, it is possible to implement control and processing logic in a very compact semiconductor device package due to physically implemented connections and transitions. Since PLIC technologies make it possible to implement parallel single-cycle processing of vectors of arbitrary length, a PLIC-based device operates much faster, and importantly, more reliably than any microprocessor device with a traditional sequential mode of operation.

In addition, modern PLICs have another difference: thanks to the built-in programming and configuration systems available in many PLIC types, which allow reprogramming them directly on site without external programmers, PLIC-based devices can be upgraded even while in permanent operation at the customer's facility.

To implement the RP device, a PLIC parallel action controller was used based on the EPM7128SLC84 Cyclone family crystal from Altera with flash load memory. An analog-to-digital converter (ADC) block was added to convert the input analog signals from current (TA) and voltage (TV) transformers into digital format, as well as an executive element that is used to disconnect the damaged network section from the power source (Figure. 2).

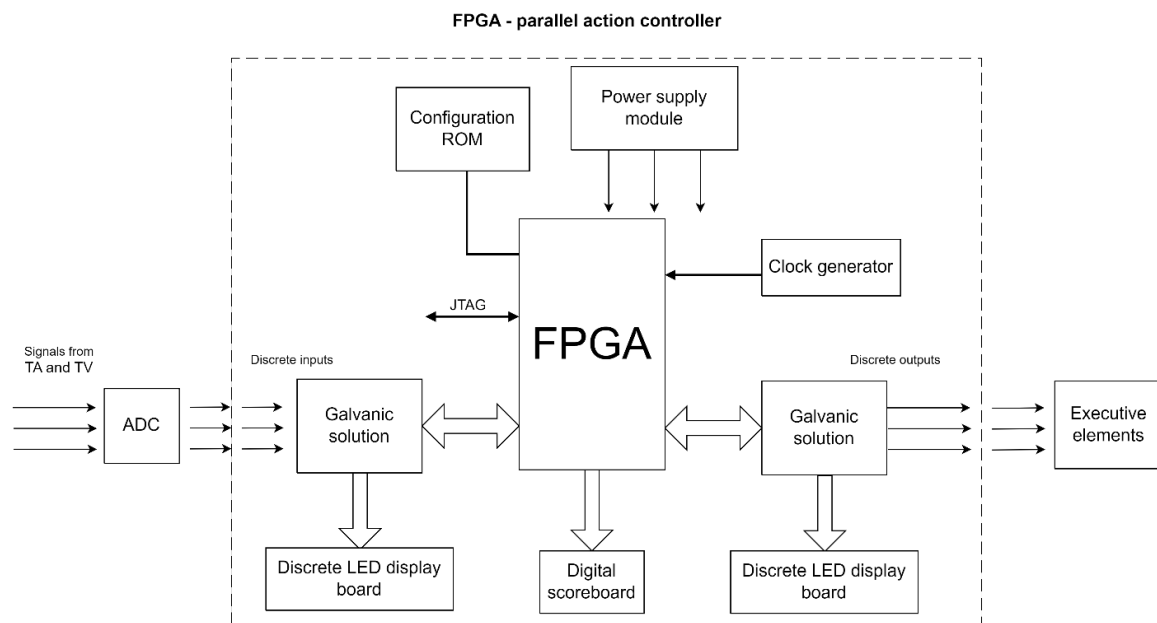


Figure 2 - Functional diagram of relay protection on a PLIC parallel action controller

The VHDL language and Intel Quartus Prime development environment were used to write the control program for this algorithm.

Principle of operation. The controlled signals from the current and voltage transformers are fed to the analog-to-digital converter. Next, the digital value of voltage and current is transmitted to the discrete inputs of the PLIC parallel action controller, via galvanic isolation to the input pins of the PLIC chip. In the PLIC, the data is processed according to a given algorithm (Figure. 1) and, depending on the result,



signals are generated at the discrete outputs of the controller. In case the algorithm is executed with critical input values, a signal is sent to the executive elements.

Conclusion. The conducted research has significantly advanced our understanding of the feasibility of integrating current step relay protection through Programmable Logic Integrated Circuits technologies. The findings underscore the potential for developing highly reliable relay protection systems by leveraging the capabilities of PLICs. The successful implementation of current step relay protection using PLIC technologies opens up promising avenues for enhancing the efficiency and dependability of protective systems in diverse applications.

Furthermore, the results of this study highlight the adaptability of PLICs in addressing the intricate requirements of relay protection, demonstrating their ability to provide intricate and responsive solutions to dynamic electrical environments.

The positive outcomes observed in this research lay a foundation for future advancements in relay protection technology, paving the way for innovative solutions that can withstand the evolving challenges in the realm of electrical protection. As technology continues to progress, incorporating PLICs into relay protection systems holds great promise for achieving unprecedented levels of reliability, efficiency, and adaptability.

In conclusion, the study strongly supports the notion that PLIC technologies represent a viable and promising avenue for the development of highly reliable relay protection systems. The ongoing exploration of PLICs in the field of electrical protection is expected to contribute significantly to the evolution of smarter, more resilient power systems, ensuring the continuous and secure operation of critical infrastructure.

References:

1 Hrytsenko S. D., Radchenko S. S., Furman I. A. Use of PLIC technologies for relay protection implementation // PROCESS AUTOMATION systems: application in the educational process and production, Kharkiv, 2011. P. 8-9.

2 Furman I. O., Radchenko S. S., Hrytsenko S. D. Study of the possibility of technical implementation of advanced relay protection systems // Problems of energy supply and energy saving in the agro-industrial complex of Ukraine: Bulletin of KhNTUSG named after Peter Vasilenko, issue 102, Kharkiv, 2010. P. 100-101.

3 Hrytsenko S. D., Radchenko S. S., Furman I. O. Implementation of relay protection functions using a PLIC parallel action controller // Problems of energy supply and energy saving in the agro-industrial complex of Ukraine: Bulletin of KhNTUSG named after Peter Vasilenko, issue 117, Kharkiv, 2011. P. 58-59.

***Анотація.** Розглянуто питання підвищення надійності пристроїв релейного захисту шляхом застосування програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС). Проаналізовано алгоритм струмового ступеневого захисту та реалізовано його на ПЛІС з використанням мови VHDL. Показано, що застосування ПЛІС може значно підвищити швидкодію, надійність та завадостійкість пристроїв релейного захисту. Зроблено висновок про перспективність використання ПЛІС для створення високонадійних систем релейного захисту.*

***Ключові слова:** підвищення надійності пристроїв релейного захисту, програмовані логічні інтегральні схеми, ПЛІС, ПЛІС контролери паралельної дії.*

Article sent: 30.12.2023

© Hrytsenko S.D., Piskarov O.M.



UDC 536.7

SEARCH FOR STATE PARAMETERS OF THERMODYNAMIC MODELS OF GAS TURBINE SYSTEMS WITH DIFFERENT THRUST AMOUNTS

Lobunko O.P.

PhD

ORCID: 0000-0001-5273-4768

National Technical University of Ukraine

"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract. Individual values of working time and working conditions, thermal and technical condition of gas turbine systems may differ significantly from the indicators of the average statistical object. The work examines modern approaches to thermodynamic modeling of gas turbine system state parameters and methods of assessing the actual degradation of characteristics over time. The article presents the results of computational and experimental studies of the possible influence of changes in the state of characteristics of engine components on the thermal state of gas turbine components. An algorithm for finding the best combination of parameters of the state of the characteristics of nodes of the thermodynamic model of the gas turbine system using the quasi-Newtonian method and the finite-difference gradient is proposed. It was established that there are promising methods of forming individual assessments of the technical condition of heat engine units and working out measures to maintain a stable level of key characteristics in the process of resource depletion and recovery during repairs.

Keywords: compressor, combustion chamber, gas turbine, thermodynamic model, algorithm, identification, state parameters

Introduction

The actual operating conditions of heat engines are accompanied by physicochemical processes of changing the mechanical properties of materials and material systems from which their components are made, processes of changing the characteristics of fuel-regulating equipment units and gas-air tracts. In the process of real work (characterized by the operating time from the beginning of operation τ and the number of load cycles N), there is a process of multifactorial influence on the technical condition of heat engines and scenarios of its change in the future. Karpinos, Korovin, Lobunko, Vedischeva (2014) performed a study of the operational damage of structural elements of more than 100 gas turbine engines of the same type with different working hours since the beginning of operation. It was established that with an increase in the operating time of heat engines from the beginning of operation, there is a degradation of the properties of materials and an increase in the number of rejected parts as a result of defects.

A set of operational damages $P(\tau > 0, N > 0)$ set of parts and components of the flow part of heat engines (according to different mechanisms) leads to a shift in the functional characteristics of its nodes, which may differ significantly from the characteristics of the corresponding node of the same engine at the beginning of its operation ($\tau = 0, N = 0$).

The deterioration of the characteristics of heat engines in operation, the search for technical and technological possibilities of maintaining their stable level as the resource is exhausted, diagnosis and the choice of rational methods of restoration during repair remain an urgent problem. The urgency of the problem is determined not



only by economic considerations, but also by the loss of traction by the heat engine $\Delta R(\tau)$, increasing the amount of heat $\Delta Q(\tau)$ to ensure the specified parameters of the thermodynamic cycle.

The value of thermodynamic parameters of the same name $X_1, X_2 \dots X_n$, reflecting the real working processes of a sample of n heat engines of the same type with different amounts of work since the beginning of operation ($\tau_x > 0, N_x > 0$) under identical external operating conditions (P_H, T_H) and the position of control bodies (α) can differ significantly. These discrepancies are determined by the individual characteristics of heat engine units and their units. One of the urgent problems of mechanical engineering is the search for opportunities to increase the reliability of modeling changes in thermodynamic parameters $\Delta X^P(\tau)$, which characterize the working process of the object depending on the working time.

Main text. Literature review.

Fentai, Amare Desalegn, Baheta, Aklylu, Gilany, Syed Ihtsham Ul-Haq (2018) presented a quantitative method of heat engine diagnostics. Artificial neural networks are used to evaluate the progressive wear of one and several gas tract components from the point of view of mass flow and isentropic efficiency indices. The data necessary for training and testing this method are obtained from the thermodynamic model of the engine in stationary conditions. Gaussian noise values were considered to assess the tolerance of the method for measuring uncertainties. For complex problems of diagnosing engines based on the structure of one artificial neural network, it may not be enough to obtain reliable and accurate results. The authors used seven decentralized frameworks to evaluate seven different component failure scenarios, which significantly improves the accuracy of fault identification.

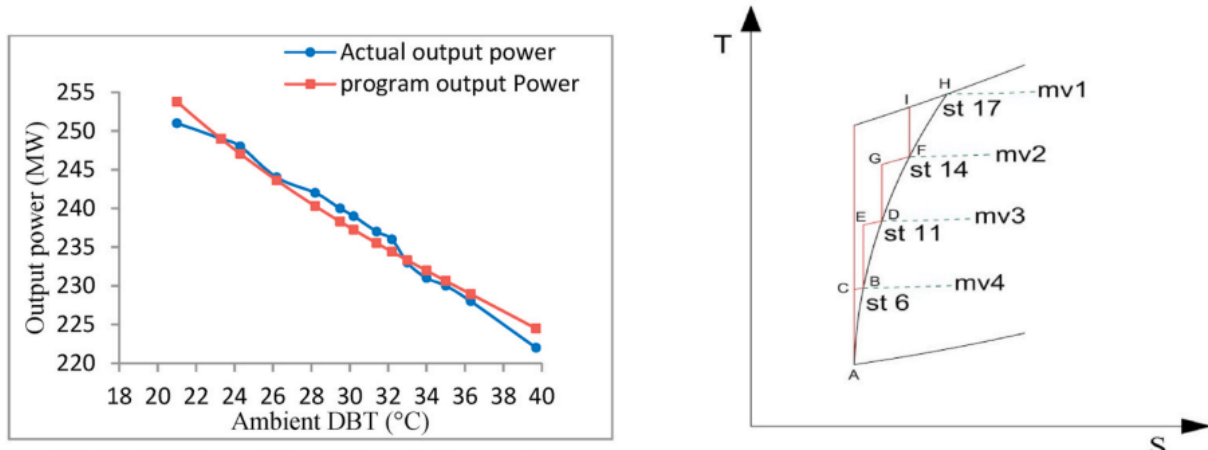
Khaled A. Naeim, Ahmed A. Hegazi, Mohamed M. Awad, Salah H. El-Emam (2022) used the enthalpy-entropy approach to model the actual gas turbine cycle (Figure 1). The developed program was used to study the influence of ambient temperature, relative humidity, and ambient pressure on the output parameters of the gas turbine. The gas turbine simulation results showed that as the temperature increased, the power of the gas turbine decreased, while the thermal efficiency of the gas turbine decreased, and the specific fuel consumption increased. Gas turbine power decreased with increasing relative humidity.

Jeffryes W. Chapman, Thomas M. Lavelle, Jonathan S. Litt (2016) noted the fact that the cost and risks associated with the design and operation of gas turbine engine systems have led to increased dependence on mathematical models. In paper (4), the main aspects of engine simulation, performance analysis and connections with the development of the engine control system are considered. The focus is on thermodynamic modeling using techniques common in the industry: Brayton cycle, component efficiency maps, scaling maps, and generation of design point criteria. The T-MATS scheme of the engine model is presented in the figure 2.

Alfredo Gimelli, Raniero Sannino (2017) applied a multifactorial multiobjective methodology aimed at validating the thermodynamic model of a microgas turbine. The methodology is based on a genetic optimization algorithm, where decision variables and objectives are set depending on available experimental data. The results of the studied case emphasize the ability of the method to indicate some inconsistencies in



experimental data and the fact that it can lead to a consistent thermodynamic reconstruction of microturbine behavior.



(a) Validation of the GT modeling code with M701F3 actual readings during baseloads.

(b) GT compressor T-S diagram.

Figure 1 – Validation and compressor T-S diagram

Source: [3]

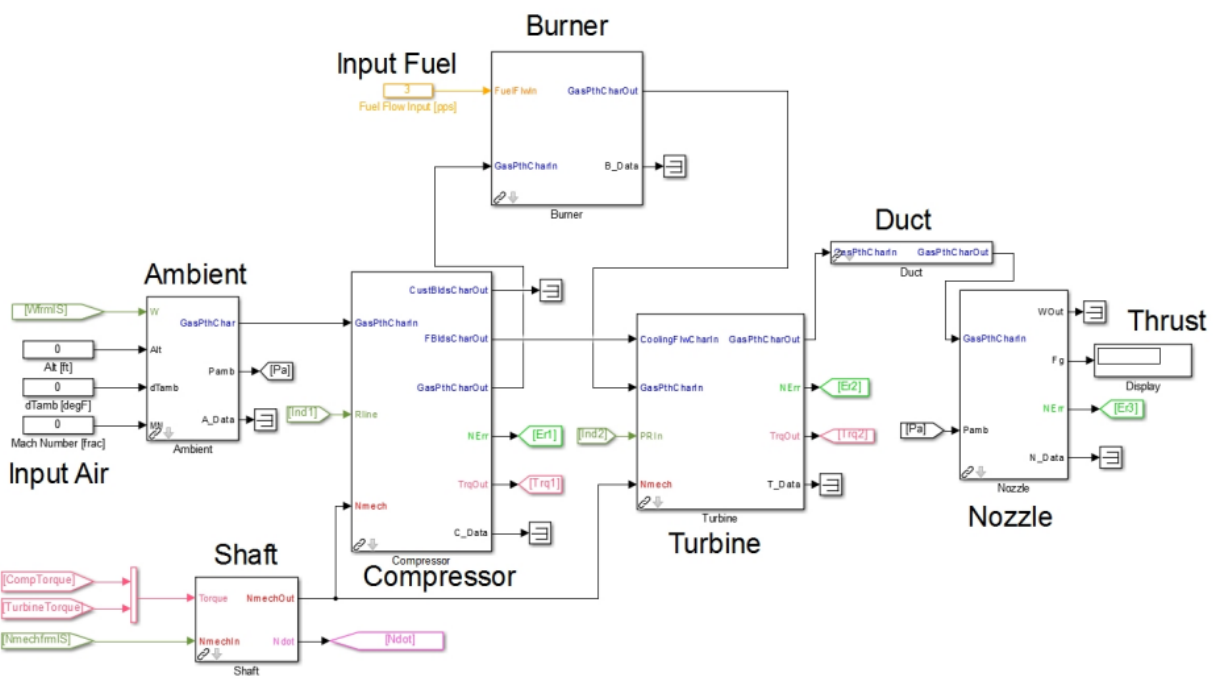


Figure 2 – T-MATS turbojet model

Source: [4]

Work R. Yadav, Yogesh Kapadi, Abhay Pashilkar (2005) is dedicated to the development and validation of an aerothermodynamic model of a turbofan engine based on the variable state and control volume approach. Using actual performance data, steady-state and transient engine simulations were performed using MATLAB-SIMULINK. A simulation model is systematically developed. Graphs of the engine states are constructed for various stable operating conditions. The model is equipped with capabilities that can be integrated with engine control design software. The results are verified by software Gas turbine Simulation Program.



Pawel Magryta, Konrad Pietrykowski, Michal Geca (2018) proposed a one-dimensional model of an aircraft engine. This model is developed in software AVL BOOST. The model is used to calculate the fuel and air flow parameters in the engine intake system, as well as to analyze the combustion process and the flow of exhaust gases into the external environment. The model is based on the equations describing the isentropic flow. The geometry of the channels and all parts of the model is displayed on the basis of an empirical study of engine elements.

Materials and methods.

Analysis of literary sources, applied thermogas dynamics, theory and practice of the use of heat engines, reliability, technical diagnostics, computer modeling of thermodynamic processes (Figure 3).

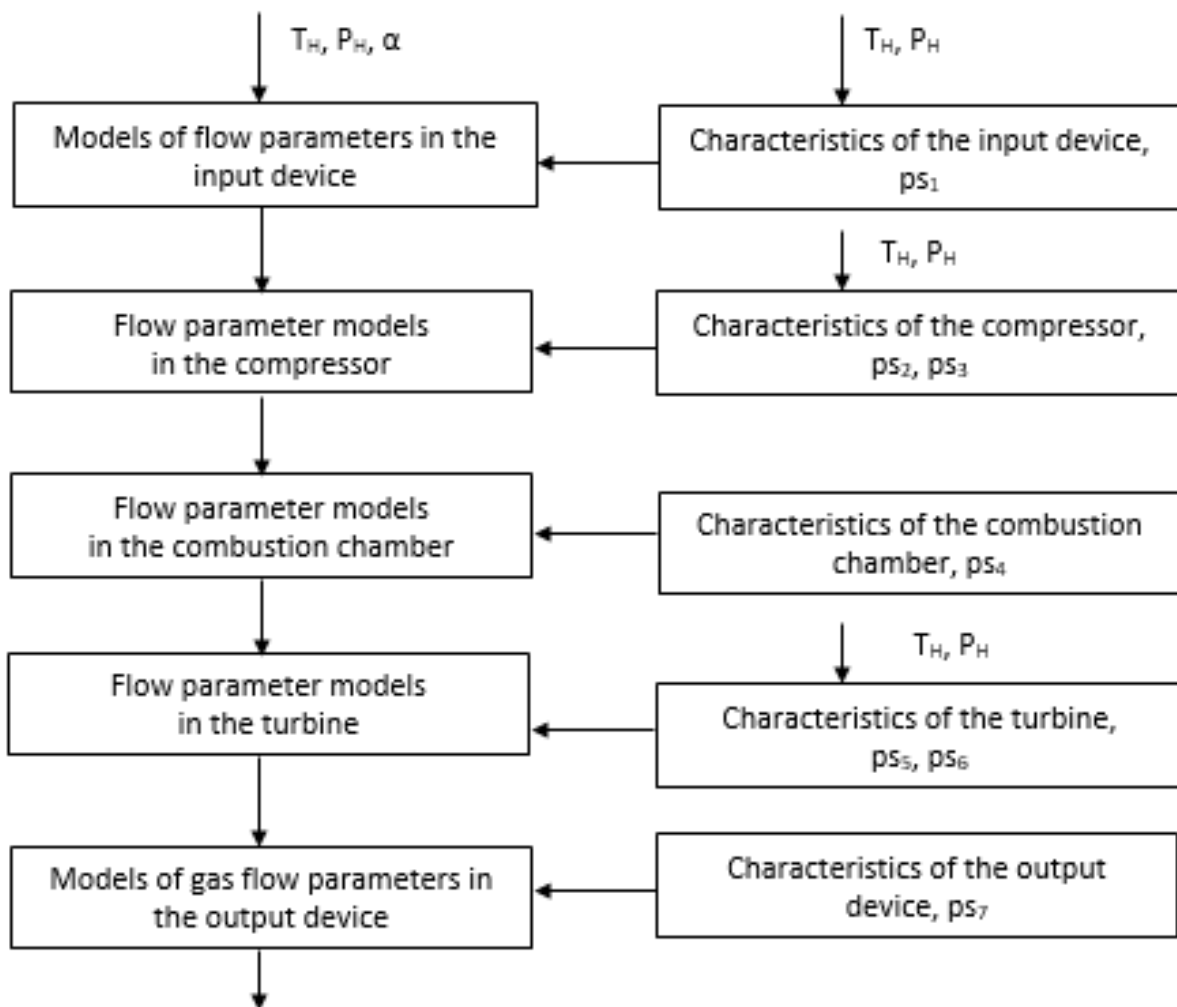


Figure 3 – Diagram of a thermodynamic model of a heat engine

Author's development

The thermodynamic model of a heat engine (Figure 3) is represented by a sequence of equations that describe the work processes of air flow compression in the compressor, heat supply in the combustion chamber, expansion in the gas turbine, and acceleration in the output device. The thermodynamic model allows you to simulate the values of the parameters in different parts of the engine when the input data changes (T_H , P_H , α).



In order to assess the effect of changes in compressor characteristics on the operating conditions of heat engine components, a calculation experiment was performed. The thermodynamic model of the engine and the model of the gas turbine blades were used in the experiment. In order to model the displacement (degradation) of the characteristics of the elements of the flow part relative to the characteristics of the engine at the beginning of operation, as well as to implement the procedure for refining the individual thermodynamic model of the engine, a vector of state parameters was introduced \overline{ps}_x .

To the composition of the components of the vector \overline{ps}_x parameters of characteristic shifts are included (Figure 4, on the left) relative to the corresponding characteristics of an average engine.

Results and discussion.

Computer modeling of the degradation of the signs of the technical state of the unit is implemented by adjusting the values of the state parameter of the compressor efficiency: $-ps_{EK} = 1,0$ – the value is valid for the engine at the beginning of operation; $-ps_{EK} = 0,96, ps_{EK} = 0,92$ – the value of the correction coefficients, which correspond to the displacement of the characteristic branches of the compressor efficiency coefficient to smaller values by 4% and 8%.

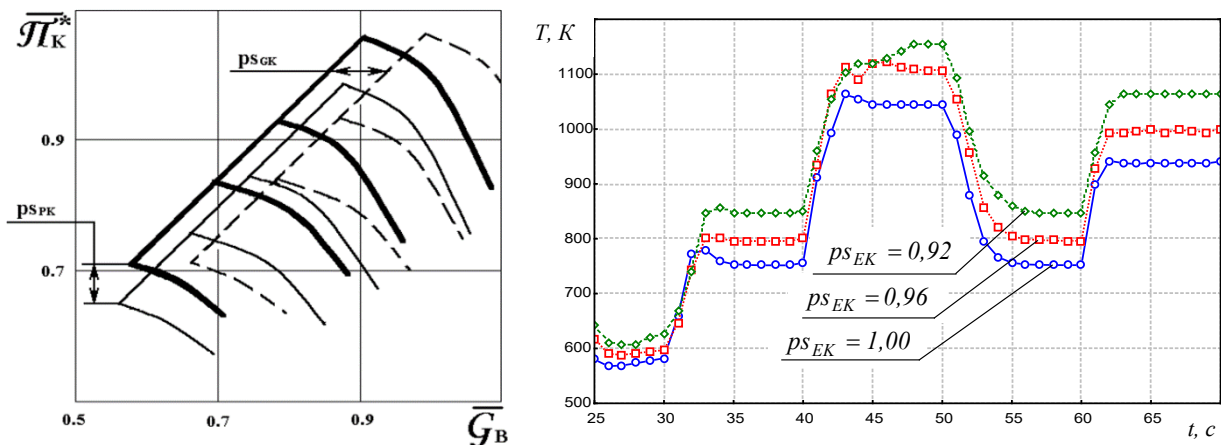


Figure 4 – Scheme of changes in state parameters (on the left), simulation results of changes in the material temperature of turbine parts due to degradation of compressor characteristics

Author's development

Analysis of the results of modeling the thermal state of the turbine parts (Figure 4) shows that a decrease in the efficiency of the compressor leads to a change in the operating conditions of the unit under study. The automatic control system (8) compensates for the deterioration of the characteristics by additional heat supply ΔQ in the thermodynamic cycle (fuel supply to the combustion chamber). At the same time, the values of the parameters of the work process increase (T_G).

It was established that the displacement of the branches of the characteristics of the coefficient of useful action of the compressor $\Delta\eta_K$ on 8%, under other identical operating conditions (same external conditions and mode parameters (P_H, T_H, α) heat engine, leads to an increase in the temperature of the turbine blades $\Delta T \approx 100$ K. The total duration of operation of turbine parts at elevated temperature also increases. In



transient regimes, fuel overdose can lead to its afterburning in the turbine path, which contributes to intensive thermal destruction of the material of gas turbine parts.

Based on many years of computational and analytical research, an algorithm for refining the thermodynamic model is proposed (Figure 5).

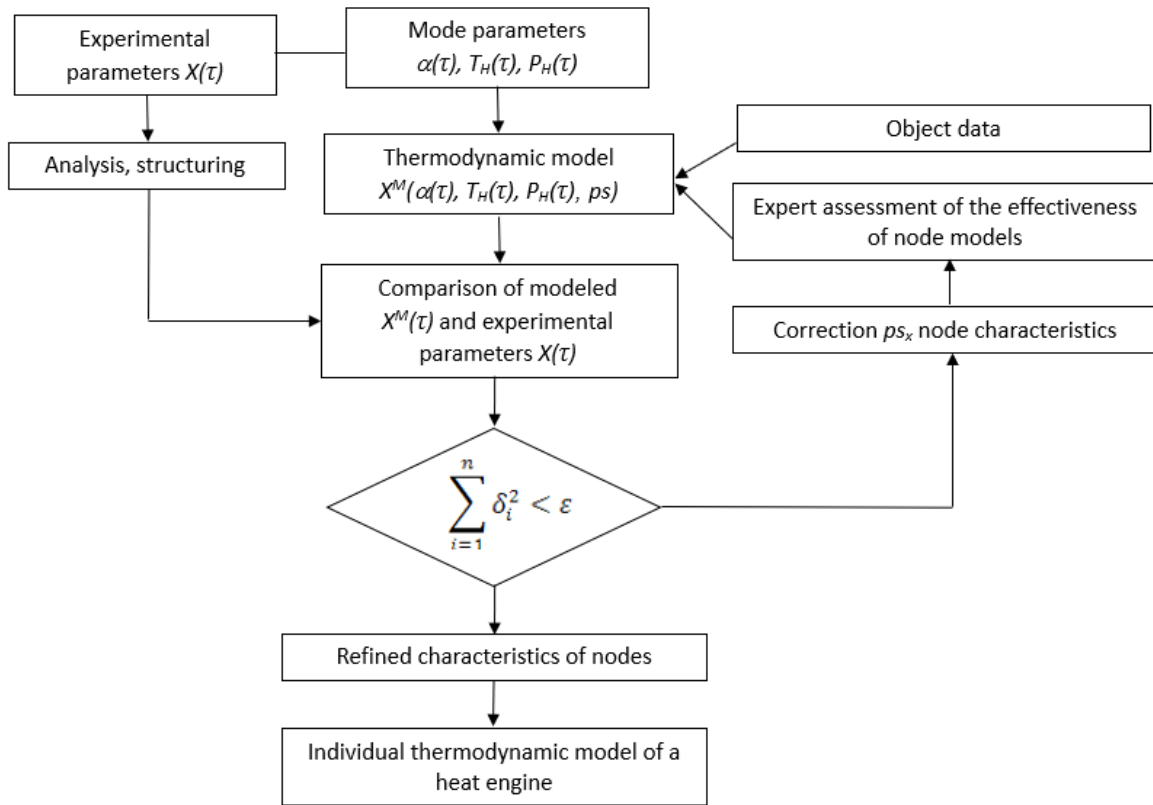


Figure 5 – Algorithm for identifying the thermodynamic model of the engine

Author's development

The task of refining the thermodynamic model is solved by finding (2) the optimal combination of state parameter values \overline{ps}_x , which ensure the minimum value of the root-mean-square discrepancy $E(\overline{ps}_x)$ between registered and calculated parameters of the same name - signs of the state of the object under study.

$$E(\overline{ps}) = 1/m \sqrt{\sum_{j=1}^m (H(\overline{ps}))_j^2} \Rightarrow \min, j = \overline{1, m}, \tag{1}$$

m – the number of experimental parameters used in the refinement of the thermodynamic model;

\overline{ps}_x – vector of state parameters of the thermodynamic model of the node;

H_j – the relative incoherence between the j -th components of the vectors \vec{X}^P , $\vec{X}^M(\overline{ps})$, which is defined using a dependency

$$H_j = \frac{X_j^P - X_j^M}{\delta X_j}, j = \overline{1, m}, \tag{2}$$

δH_j – j th parameter registration error.

The software implementation of the developed algorithm involves the use of a subroutine for finding the minimum of the objective function with m variables. The quasi-Newtonian method and the finite-difference gradient are used in the process of searching for the best version of such solutions.



The use of the developed methodology in the algorithms for diagnosing and monitoring thermogasdynamic parameters will contribute to increasing the accuracy of the assessment of the current technical condition of the heat engine in operation (9).

Conclusions. The results of the calculation of the possible degradation of the thermodynamic parameters of the main units of the heat engine are presented. Considered possible factors that affect the measured parameters of the same type of heat engines. The presented approaches can be taken into account when: forming individual assessments of the technical condition of components and systems of the heat engine; development of measures to maintain a stable level of characteristics in the process of resource depletion and restoration during repair.

Literature:

1. Karpinos B.S., Korovin A.V., Lobunko O.P., Vedishcheva M.Yu. (2014) Operational damage of aviation turbojet two-circuit engines with afterburner combustion chambers. Zaporozhye: Vesnyk dzhvatelestroeniya. P. 18-24. [http://journal.zntu.edu.ua/vd/files/VD12014/VD\(1\)_2014.pdf](http://journal.zntu.edu.ua/vd/files/VD12014/VD(1)_2014.pdf)
2. Fentai, Amare Desalegn, Baheta, Aklylu, Gilany, Syed Ihtsham Ul-Haq (2018) Identification of Gas Turbine Gas Path Faults Using Nested Artificial Neural Networks. Tronoch, Malaysia. Aircraft construction and aerospace engineering, ISSN 0002-2667, Vol. 90, No. 6, p. 992-999. <https://doi.org/10.1108/AEAT-01-2018-0013>.
3. Khaled A. Naeim, Ahmed A. Hegazi, Mohamed M. Awad, Salah H. El-Emam (2022) Thermodynamic analysis of gas turbine performance using the enthalpy–entropy approach. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102036>
4. Jeffryes W. Chapman, Thomas M. Lavelle, Jonathan S. Litt (2016) Practical Techniques for Modeling Gas Turbine Engine Performance. American Institute of Aeronautics and Astronautics. Report №: NASA/TM-2016-219147.
5. Alfredo Gimelli, Raniero Sannino (2017). Thermodynamic model validation of Capstone C30 micro gas turbine. 72nd Conference of Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2017, 6-8 September 2017, Lecce, Italy. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217336846>
6. R. Yadav, Yogesh Kapadi, Abhay Pashilkar (2005). Aero-thermodynamic model for digital simulation of turbofan engine. ASME Turbo Expo 2005: Power for Land, Sea and Air June 6-9, 2005, Reno-Tahoe, Nevada, USA <http://dx.doi.org/10.1115/GT2005-68248>
7. Pawel Magryta, Konrad Pietrykowski, Michal Geca (2018) Thermodynamic Model of the ASz-62IR Radial Aircraft Engine. Transactions of the institute of aviation, Warsaw, № 1(250), pp. 36-49. DOI: 10.2478/tar-2018-0004.
8. Lobunko O.P. (2023) Simulation of degradation of individual characteristics of gas turbine engine components. XXXI International scientific and practical conference “Science, worldview and modern youth”: materials of the International Scientific and Practical Conference, USA, San Francisco, 8-11 August 2023. P. 118-123. doi – 10.46299/ISG.2023.1.31.
9. Lobunko O.P., Kuzmin S.M. (2010) Organization of monitoring of functional parameters of aircraft engines. Kyiv: SRIA. P. 195-199. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpndndia_2010_6%2813%29_33



Abstract. Індивідуальні значення часу напрацювання і умови роботи, тепловий і технічний стан газотурбінних систем можуть суттєво відрізнятись від показників середньостатистичного об'єкту. В роботі розглядається сучасні підходи термодинамічного моделювання параметрів стану газотурбінних систем і способи оцінки фактичної деградації характеристик у часі. У статті представлені результати розрахунково-експериментальних досліджень можливого впливу змін стану характеристик вузлів двигуна на тепловий стан компонентів газових турбін. Запропоновано алгоритм пошуку кращого поєднання параметрів стану характеристик вузлів термодинамічної моделі газотурбінної системи з використанням квазіньютонівського методу і кінцево-різничного градієнту. Встановлено, що перспективними є способи формування індивідуальних оцінок технічного стану вузлів теплового двигуна і відпрацювання заходів з підтримання стабільного рівня ключових характеристик в процесі вичерпання ресурсу та відновлення при виконанні ремонту.

Key words: компресор, камера згоряння, газова турбіна, термодинамічна модель, алгоритм, ідентифікація, параметри стану.

The article is designed: 29.12.2023

© Lobunko O.P.



IMPLEMENTATION OF THE SAFETY MANAGEMENT SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF CORN GLUTEN-FREE PASTA ON THE BASIS OF THE HACCP CONCEPT

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕЧНІСТЮ ВИРОБНИЦТВА КУКУРУДЗЯНОЇ БЕЗГЛЮТЕНОВОЇ ПАСТИ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ НАССР

Stukalska N.M./Стукальська Н.М.

Ph.D., Associate Professor

ORCID ID: 0000-0001-6590-7170

Rakuta H.P./Ракута Г.П.

Master's student / магістрант

National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrivska St. 68, 01601

Національний університет харчових технологій,

м. Київ, вул. Володимирська 68, 01601

Анотація. У статті було здійснено спробу розробити систему моніторингу якості зберігання сировини, яка використовується для виробництва безглютенових паст, а також моніторинг підготовки сировини та сам процес виготовлення паст.

Встановлено, що під час виробництва безглютенових паст визначено чотири критично контрольні точки, а саме одна на етапі проміжного зберігання продуктів та три критично контрольні точки на етапі висушування, охолодження та тимчасового зберігання. Тому на даних етапах потрібно акцентувати увагу на контролі проведення операцій.

Ключові слова: рослинні білки, системи моніторингу, функціональний харчовий продукт, глютен, ККТ.

Вступ.

Найефективнішим методом забезпечення якості та безпечності харчової продукції нині у світі визнано систему НАССР (Hazard Analysis Control Critical Points - аналіз ризиків у контрольних критичних точках). Це науково обґрунтований, раціональний і систематичний підхід до ідентифікації продукції, оцінювання та контролю ризиків, які можуть виникнути під час виробництва, перероблення, зберігання та використання харчових продуктів. Принципи системи НАССР рекомендовані для практичного застосування Комісією Codex Alimentarius і є обов'язковими для країн ЄС на всіх харчових підприємствах.

Стан харчування і здоров'я населення України на сьогоднішній день провідні вчені оцінюють як загрозливі для національної безпеки чинники. У такій ситуації підвищення якості і безпечності харчових продуктів є одним із найважливіших і пріоритетних завдань держави.

Система НАССР набула великого поширення у світовій практиці завдяки тому, що вона працює з будь-якими харчовими продуктами і з будь-якою системою виробництва. Для адаптації цієї методики в Україні Укрметртестстандарт розробив і затвердив національний стандарт ДСТУ 4161-2003 "Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги", який включив загальні принципи функціонування системи, а також вимоги Директиви 93/43 "Про гігієну харчових продуктів".

Тому нами була виявлена зацікавленість у розробці системи моніторингу і якості виробництва безглютенових паст в закладі ресторанного господарства. Для складання системи моніторингу виробництва безглютенових паст потрібно



провести аналіз виникнення небезпечних чинників, а саме харчових алергенів, на етапі приймання сировини та виробництва кулінарної продукції.

Згідно з міжнародними стандартами, встановленими Codex Alimentarius, продукція, в якій вміст глютену не перевищує 20 мг на кілограм продукту може мати маркування "Без глютену". Використання маркування "Без глютену" дозволено Регламентом ЄС № 41/2009, що застосовується до харчових продуктів для людей, які не переносять клейковини.

При прийманні сировини слід звертати увагу на наявність на маркуванні ліцензійного символу «Перекреслений колосок» та вимагати у постачальника підтверджувальні документи на дану ліцензію.

Якщо аналізувати етап виробництва продукції, харчові алергени можуть потрапити внаслідок перехресного забруднення продукції, проте на підприємстві організований спеціальний цех для виробництва безглютенової продукції, а також приміщення для окремого зберігання сировини для виробництва безглютенових виробів та готової продукції, що унеможливорює пересікання потоків на виробництві, а отже і забруднення продукції.

Підприємство має цільовий асортимент продукції, аналіз рецептурного складу якого не виявив джерел можливого потрапляння алергенів до готової продукції.

Оскільки ризик забруднення продукції алергенами, у тому числі глютену, є маловірогідною, контроль доцільно організувати в межах чіткого контролю сировини та дотримання умов зберігання сировини та готової продукції.

Система НАССР також пропонує поділити весь процес виробництва на блоки і запровадити системи контролю за потенційними ризиками щодо кожного з цих блоків. Передбачається, що детальний аналіз ризиків, кваліфіковане, відповідальне виконання операцій кожним фахівцем харчового підприємства і ведення документації на всі заходи дадуть змогу мінімізувати вірогідність виробництва неякісної продукції.

Метою роботи є розробка системи моніторингу безпечності та якості виробництва безглютенової кукурудзяної пасти на основі принципів НАССР. Під час процесу виробництва безглютенової продукції на етапі приймання слід ретельно слідкувати за відсутністю білка глютену у сировині, що постачається на виробництво.

Виклад основного матеріалу.

Ми розробляємо функціональний харчовий продукт, який призначений для людей хворих на гіпотрофію, лейкомію, розлади кишкового тракту та непереносимість глютену цілікія так група споживачів розширюється. Тому, першим етапом розроблення системи моніторингу є встановлення критичних контрольних точок (ККТ) на етапі приймання сировини. Отримані результати проведення такого аналізу представлені у таблиці 1.

Отже, внаслідок використання алгоритму прийняття рішень було встановлено, що на етапі приймання сировини не наявні контрольні критичні точки, а небезпечні чинники можна нівелювати дотримуючись програми-передумови «Специфікації (вимоги) до сировини та контроль за постачальниками».



Таблиця 1 - Встановлення критичних точок контролю на етапі приймання сировини

Назва продукту	Позначення ідентифікованої небезпеки	Найменування ідентифікованої небезпеки	Відповіді на запитання «дерева рішень»				Номер ККТ
			№1: Чи існують на даному етапі чи на наступному етапі попереджувальні дії для цього небезпечного чиннику?	№ 2: Чи може даний етап зменшити рівень небезпечного чиннику до прийнятого?	№ 3: Чи є можливість на цьому етапі появи небезпечного чиннику або збільшення його до недопустимого рівня?	№ 4: Чи гарантує наступний етап усунення небезпечного чиннику?	
Бакалійні товари	Б	Salmonella spp, Listeria monocytogenes; Clostridium perfringens	Так: вхідний контроль	Не застосовується	Так	Так	-
	Х	Токсичні елементи, радіонукліди, мікотоксини, діоксини	Так: перевірка готового продукту на якість	Не застосовується	Ні	-	-
	Ф	Скло, метал, пластик	Так: вхідний контроль	Не застосовується	Так	Так: просіювання	-
Питна вода	Б	Патогенні мікроорганізми: E. coli	Так: сертифікат на воду	Не застосовується	Так	Так: кип'ятіння	-
	Х	Нітрати, нітрити, фтор, свинець, миш'як, ртуть, ціаніди, алюміній, молібден, селен, стронцій, берилій	Так: сертифікат на воду, перевірка готового продукту на якість	Не застосовується	Ні	-	-
	Ф	-	-	-	-	-	-



Другим етапом проведення моніторингу – це визначення небезпечних чинників на етапі проміжного зберігання та підготовки сировини до безпосереднього приготування торта. При аналізі можливих ККТ проведений аналогічний процес визначення за допомогою «дерева прийняття рішень». Отримані результати заповнено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Встановлення критичних точок контролю на проміжного зберігання сировини

Етап процесу	Позначення ідентифікованої небезпеки	Найменування ідентифікованої небезпеки	Відповіді на запитання «дерева рішень»				Номер ККТ
			№1: Чи існують на даному етапі чи на наступному етапі попереджувальні дії для цього небезпечного чиннику?	№2: Чи може даний етап зменшити рівень небезпечного чиннику до прийнятого?	№3: Чи є можливість на цьому етапі появи небезпечного чиннику або збільшення його до недопустимого рівня?	№4: Чи гарантує наступний етап усунення небезпечного чиннику?	
Тимчасове зберігання продукції	Б	МАФАНМ, БГКП, Salmonella, Bacillus subtilis, S.Aureus, плісняві гриби	Так: контроль умов зберігання	Так	-	-	ККТ1
	Х	мікотоксини, залишки миючих засобів, перекуси	Так: контроль умов зберігання	Так	-	-	
	Ф	скло, метал, пластмаса, нігті, волосся, гудзики	Так	Ні	Так	Так: просіювання	-

Отже, внаслідок використання алгоритму прийняття рішень було встановлено, що етап проміжного зберігання є першою критичною точкою, яку слід контролювати.

Етап виробництва безглютенової продукції є одним з головним при дослідженні небезпечних факторів, так як має найбільшу кількість нюансів, які можуть стати причиною виникнення небезпек. Відповідно, наступним етапом є визначення, які небезпечні чинники можна контролювати за допомогою програм-передумов, а які за допомогою ККТ, отримані дані оформлені у вигляді таблиці 3.

Отже, внаслідок використання алгоритму прийняття рішень було встановлено, що етап висушування, охолодження та тимчасове зберігання пасти є точками контролю. Тому на даних етапах потрібно акцентувати увагу на контролі проведення операцій.



Таблиця 3 – Встановлення критичних точок контролю на етапі виробництва безглютенової пасти

Етап процесу	Позначення ідентифікованої небезпеки	Найменування ідентифікованої небезпеки	Відповіді на запитання «дерева рішень»				Номер ККТ
			№ 1: Чи існують на даному етапі чи на наступному етапі попереджувальні дії для цього небезпечного чиннику?	№ 2: Чи може даний етап зменшити рівень небезпечного чиннику до прийнятого?	№ 3: Чи є можливість на цьому етапі появи небезпечного чиннику або збільшення його до	№ 4: Чи гарантує наступний етап усунення небезпечного чиннику?	
Підготовчі операції, приготування тіста, формування пластів	Б	МАФАНМ, БГКП	Так	Не застосовується	Так	Так: теплова обробка	-
	Х	Залишки миючих засобів	Так: діючий план миття	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-
	Ф	Скло, метал, пластмаса, нігті, волосся, гудзики	Так: діючий план профілактики	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-
Висушування	Б	Bacillus subtilis, S.Aureus	Так	Так	-	-	ККТ 2
	Х	Залишки миючих засобів	Так: діючий план миття	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-
Висушування	Ф	Скло, метал, пластмаса, нігті, волосся, гудзики	Так: діючий план профілактики	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-
Охолодження	Б	МАФАНМ, БГКП, Salmonella, Bacillus subtilis, S.Aureus, плісняві гриби	Так	Так	-	-	ККТ 3
	Х	Залишки миючих засобів	Так: діючий план миття	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-



	Ф	Скло, метал, пластмаса, нігті, волосся, гудзики	Так: діючий план профілактики	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-
Пакування	Б	МАФАНМ, БГКП	Так: діючий план миття	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-
	Х	Стирол, солі важких металів (цинку, плюмбуму, арсену)	Так: сертифікат якості	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-
	Ф	Скло, метал, пластмаса, нігті, волосся, гудзики	Так: діючий план профілактики	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-
Тимчасове зберігання	Б	МАФАНМ, БГКП, Salmonella, Bacillus subtilis, S.Aureus, пліснява	Так: контроль умов зберігання	Так	-	-	ККТ4
	Х	Залишки миючих засобів	Так: діючий план миття	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-
	Ф	Скло, метал, пластмаса, нігті, волосся, гудзики	Так	Не застосовується	Так	Так: поточний контроль	-

При наступному етапі розробки плану НАССР слід встановити коригувальні дії (план управління безпечністю) для попередньоідентифікованих ККТ. Коригувальні дії – це дії, які встановлюються в тому випадку, коли в процесі моніторингу було виявлено, що ідентифіковані небезпечні чинники на певному технологічному етапі вийшли за критичні межі. Складаємо план НАССР, заносимо в нього попередньо ідентифіковані небезпечні чинники, визначаємо граничні показники та встановлюємо коригувальні дії для кожної ККТ. План НАССР наведено в таблиці 4.

Отже, при розробці плану управління безпечністю кукурудзяної безглютенової пасти було встановлено 4 критичних контрольних точки, що стосуються етапів виробництва продукції, зберігання сировини та готового продукту, дотримання персоналом правил особистої гігієни та карантинних вимог. Для кожної ККТ було встановлено граничну величину, процедуру моніторингу та коригувальну дію.



Таблиця 4 - План управління безпечністю кукурудзяної безглютенової пасти

Найменування продукту «кукурудзяна безглютенова паста»							
Етап	Небезпечний чинник	№ ККТ	Критична гранична величина для кожної ККТ	Процедура моніторингу ККТ	Коригувальна дія	Протокол НАССР	Відповідальна особа
Тимчасове зберігання продукції	При порушенні умов зберігання може початися розвиток патогенних мікро-організмів, плісняви, пероксидів	1	W=60- 65%, t=+12 °C; Борошно: τ=до 6 місяців; Олія: τ=1 місяць після відкриття	Безперервний контроль умов зберігання персоналом	Відповідальна особа регулює температуру, вологість та термін зберігання продукції та документує отримані показники	Журнал контролю умов зберігання; Журнал списання продукції	Комірник
Висушування	Порушення умов технологічного процесу може призвести до розвитку патогенної мікро-флори	2	Сушіння 5 год., при - 10C ⁰	Безперервний контроль персоналу за режимом випікання	Відповідальна особа регулює час, температуру випікання, температуру всередині виробу	Журнал контролю технологічних режимів	Старший кухар
Зберігання	При порушенні умов зберігання може початися розвиток патогенних мікро-організмів, плісняви	3	W=75%, t=+15...+25° C , τ=до 2 місяців	Безперервний контроль умов зберігання персоналом	Відповідальна особа регулює температуру, вологість та термін зберігання продукції та документує отримані показники	Журнал контролю умов зберігання; Журнал списання продукції	Комірник
Всі етапи виробництва	При недотриманні персоналом правил особистої гігієни, карантинного режиму може відбутися забруднення сировини/ продукції	4	Заміна масок та рукавичок кожні 3 год; Наявність медичних книжок, сертифікатів про вакцинацію, або негативних ПЛР тестів	Безперервний контроль за дотриманням персоналом карантинних вимог	Відповідальна особа регулює процес дотримання персоналом карантинних вимог	Журнал заміни масок та рукавичок, Журнал фіксації стану здоров'я персоналу	Менеджер виробництва



Висновки.

В ході досліджень було представлено систему моніторингу безпечності та якості виробництва безглютенових борошняних виробів, а саме кукурудзяної пасти, вона є дієвою та ефективною і може застосовуватися при впровадженні системи НАССР, як у закладах ресторанного господарства, так на підприємствах з виробництва вітамінізованої безглютенової продукції з урахуванням потреб споживача та з відповідною якістю.

Література:

1. ДСТУ ISO 22000: 2007 «Система управління безпечністю харчових продуктів».
2. ДСТУ ISO 9001:2015 «Системи управління якістю. Вимоги»
3. ДБН В.2.2-25: 2009 «Підприємства харчування (Заклади ресторанного господарства)»
4. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» 771/97-ВР (зі змінами), поточна редакція 21.03.2021р.
5. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 01.10.2012 р. № 590 «Вимоги щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР)».
6. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 08.08.2019 № 446 «Про затвердження форми акта, складеного за результатами проведення заходу державного контролю у формі аудиту постійно діючих процедур, заснованих на принципах НАССР», зареєстрований у Міністерстві юстиції України 27 серпня 2019 року за № 980/33951.
7. Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. <https://dpss.gov.ua/publicnainformaciya>.

Abstract. *In the article, an attempt was made to develop a system for monitoring the quality of storage of raw materials used for the production of gluten-free pastes, as well as monitoring the preparation of raw materials and the process of making pastes.*

It was established that during the production of gluten-free pastes, four critical control points are defined, namely one at the stage of intermediate storage of products and three critical control points at the stage of drying, cooling and temporary storage. Therefore, at these stages, it is necessary to focus on the control of operations.

Keywords: *vegetable proteins, specific volume, amino acid score, energy content, shortbread dough, gluten, quantitative quality indicator.*



УДК 664.643.1,

THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT ON THE MECHANICAL WEAR OF THE WORKING ORGANS OF THE MACHINE
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА МЕХАНІЧНЕ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИНИ**Stadnyk I.Y. / Стадник І.Я.***d. t.s ., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-4126-3256

Derkach A.B. / Деркач А.В.*c.t.s ., / к.т.н.,*

ORCID: 0000-0002-0395-362x

Kravcheniuk H. U. / Кравченко Х.Ю.*c.t.s ., / к.т.н.,*

ORCID: 0000-0002-7547-6834

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University,**Ternopil 46001, Hohol str. 6,**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,**м. Тернопіль 46001, вул. Гоголя 6***Fedoriv V.M./ Федорів В.М.***c.t.s ., as.prof. / к.т.н., доц*

ORCID:0000-0002-4499-0910

*Khmelnyskyi National University. Khmelnytskyi, 11 Instytutska St., 29016**Хмельницький національний університет.**Хмельницький, вул.Інститутська, 11, 29016*

Анотація. Розглянуто середовище із складом хімічних та поверхнево-активних речовин які потрапляючи на циліндричну поверхню робочих органів викликають корозійне руйнування і зношування або корозійно-механічне спрацювання. Оскільки тертя завжди супроводжується з нагріванням в умовах корозійно-механічного зношування, вирішальне значення для оцінки якості терморегулювання має тривалість процесу та конструктивні параметри машини в чутливому середовищі щодо точки термодинаміки. Встановлено, що температура середовища змінюється не тільки в часі, але і по висоті робочої камери, так як гідродинамічний процес відрізняється досить великою складністю і тому нами передбачено шляхи для вивчення природи цього процесу з належною точністю задати коефіцієнт тепловіддачі.

Ключові слова: поверхнево-активні речовини, середовище, гідродинамічний процес, коефіцієнт тепловіддачі, сил тертя, валки.

Вступ.

Аналіз сучасного стану парку устаткування харчової галузі України свідчить про те, що його технічний рівень не можна визнати задовільним. Характерною особливістю технологічного обладнання є наявність різної конструкції робочих органів, що механічно впливають на середовище при безпосередньому контакті з ним. Це активно відображається і пливає на процес їх зношування. Так як середовище, в більшості випадків є агресивними і, при контактуванні їх з металами, розвивається електрохімічна корозія [1, 2].

В Україні і за кордоном ведуться інтенсивні роботи з розробки нового покоління високоефективного обладнання для формування, розкачування, транспортування, розділення із використанням різних конструкцій робочих



органів. Основною вимогою до проектування такого обладнання є забезпечення можливих конструкцій за технічними характеристиками замовника в короткий інтервал часу із малими витратами і високою надійністю. Індустріальні технології потребують розробки автоматизованих комплексів із комп'ютерним програмним управлінням, які дадуть можливість оперативно реагувати на сьогоденні вимоги до довговічності і якості спрацювання машин.

Робочі середовища у харчовій галузі за своїм складом і природою дуже різноманітні. Їх умовно можна розділити на газоподібні, рідкі, тверді, що містять хімічні та поверхнево-активні речовини. Потрапляючи на поверхню рухомих робочих органів вони викликають корозійне руйнування і зношування, або комплексне корозійно-механічне спрацювання. Це визначення корозійно-механічного зношування (КМЗ) знайшло своє відображення в ГОСТ 23.002-78, де цей вид зношування трактується, як «зношування в результаті механічної взаємодії, яке супроводжується хімічною і (або) електричною взаємодією матеріалу з середовищем».

Робочі середовища харчової промисловості в більшості випадків є ньютонівськими рідинами. Контактвання викликає на поверхні робочого органу корозію, яка спричиняє не тільки втрати металів, але також зниження механічної міцності конструкцій машин. Пошкодження від корозії призводять до зменшення точності і тривалості роботи механізмів формувальних, тістоподільних, тістомісильних машин. Продукти корозії забруднюють поверхні робочих органів, пошкоджують зовнішній вигляд і, потрапляючи в харчовий продукт, знижують його якість. Взаємодія робочих середовищ з поверхнею металу, що зумовлює корозійне його руйнування, визначається рядом внутрішніх та зовнішніх чинників.

Аналіз системних впливів на спрацювання валкових робочих органів.

В ряді робіт [3, 4] показано, що зносостійкість металів в хімічних і корозійно-активних середовищах визначається в основному їх корозійною стійкістю. Вона обумовлена характером та інтенсивністю протікаючих на поверхнях тертя хімічних (електрохімічних) процесів і швидкістю утворення продуктів корозії. В той же час, важко передбачити поведінку матеріалу при терті в агресивних середовищах. Використання раціональних матеріалів і захисних покриттів, які характеризуються високою зносостійкістю в середовищах борошняного виробництва, ускладнюється через відсутність належної кількості достовірних даних.

Внутрішні фактори визначаються природою і будовою металу робочого органу, способом їх обробки, напруженням, які виникають при експлуатації. Зовнішні фактори пов'язані з характеристиками корозійних середовищ і умовами навантаження деталей. Вони характеризують зовнішні умови експлуатації машин, визначають якісну і кількісну сторони явищ.

З аналізу даних літературних джерел та досліджень підприємств кондитерської промисловості [4,5] випливає, що якість виконуваної роботи формувальних машин з валковими робочими органами залежить від комплексу параметрів, які можна поділити на наступні категорії:

- форма, кінематика, стан і геометричні параметри;



- фізико-хімічні властивості середовища;
- експлуатаційні умови роботи: зазор між валками, зусилля взаємного стискання середовища, частота їх обертання;
- особливості тертя в рідких електропровідних середовищах.

Зазвичай результати зношування валкових робочих органів машин оцінюються вимірами зносу, які поділяються на характеристики службові і матеріальні [3,6]. До службових характеристик зносу відносяться показники, що характеризують якість технологічного процесу. Найбільш вживаними матеріальними характеристиками зносу можуть бути товщина пазів і форма його поперечного перерізу, форма контуру по довжині валка та кут затягування і нагнітання середовища.

В роботах [2,3,6] висвітлено питання про вплив електрохімічних корозійних процесів на механічні властивості металів. Вказано, що цей вплив проявляється в значній мірі і при терті та зношуванні металів. Наявність хімічно активного середовища на поверхні тертя може у декілька разів збільшити знос і навіть змінити характер цього процесу [3]. В нейтральних середовищах (вода, розчини кухонної солі) переважає киснева деполяризація за рахунок розчиненого в середовищі кисню.

За характером взаємодії з металами робочі середовища можна розділити на хімічно - і поверхнево-активні. В групу хімічно-активних середовищ входять водні розчини кислот, лугів, солей. Їх особливість є та, що молекули розчинених в них речовин можуть дисоціювати і, тим самим, обумовлюють можливість протікання електрохімічних корозійних процесів.

Необхідно відмітити, що валкові робочі органи експлуатуються в умовах підвищеної вологості. Пари води, адсорбуючись на поверхні валків, а також розчинені гази (CO_2), створюють умови для протікання електрохімічних реакцій. Робочі середовища хлібопекарської та кондитерської промисловості в більшості випадків є електрохімічними суспензіями. Тому процес корозійно-механічного зношування валкових робочих органів в більшості випадків протікає в умовах електрохімічного впливу середовищ.

Постановка задачі.

Утворена температура з розподілом в середовищі при дії валків, значно впливає на його структуру і поверхню валків. Для розрахунку розподілу температури нагрівання валка тертям необхідно, насамперед, визначити швидкість виділення тепла на границі розділу середовище-валок. Існують чотири методи розрахунку виділення тепла при терті. Два з них засновані на коефіцієнті тертя, третій - на експериментальному визначенні розсіювання потужності, і четвертий - на зворотній моделі теплопровідності для оцінки виділення тепла [4, 6].

Мета статті. Виконати розрахунок тепловиділення при дії робочого органу на середовище із використанням методики, що ґрунтується на вирішенні зворотної задачі теплопровідності.

Викладення основного матеріалу.

Для вирішення зворотної задачі теплопровідності можна використовувати різні методи, такі як метод Гаусса, метод найменших



квадратів, ітераційні методи та інші. Зазвичай, для проведення таких розрахунків використовують програми для чисельного моделювання теплопровідності.

При дослідженні процесів тертя та зношування поверхонь валків з використанням методів термодинаміки необоротних процесів, як правило, застосовують традиційні методи вимірювань та контролю. До таких методів відносять вимірювання та контроль температури в безпосередній близькості від зони тертя, а також вимірювання та контроль сили або моменту тертя поверхонь фрикційного контакту.

Низька чутливість до процесів тертя та зношування на мікрорівні, реакція на необоротні процеси, які виникають на стадіях катастрофічного руйнування поверхонь, складність інтерпретації отриманої інформації про зміни стану поверхонь фрикційного контакту призводить до низької достовірності існуючих методів контролю та діагностики. Тому при дослідженні процесів тертя та зношування поверхонь фрикційного контакту валків із тістом використовуються нетрадиційні методи, що володіють високою чутливістю до процесів, які виникають при терті поверхонь на мікрорівні.

Необхідність забезпечення гарантованої надійності формувальних машин, запобігання їх відмов, зменшення втрат від пошкодження та руйнування виробів в цілому потребує вдосконалення та розробки методів контролю та діагностики стану поверхонь фрикційного контакту з підвищенням їх достовірності.

Експериментальні дані по визначенню температури нагрівання валка в процесі нагнітання, одержані за допомогою розташованих у зоні нагрівання термопар. Використаємо для розрахунку тепловий потік на поверхні тертя (рис.1). При виборі теплового параметра доводиться враховувати, з одного боку, зовнішні умови, зокрема мікроклімат цеху, з іншого - баланс тепла робочої камери машини (тобто тепло, що виділяється в процесі нагнітання, тепло внесене середовищем). З всіх чинників, більшою чи меншою мірою, вони впливають на загальну температуру середовища. Практично лише один виявляється придатним для активного впливу на середовище - температура, що утворюється в робочій камері при дії поверхні валка.

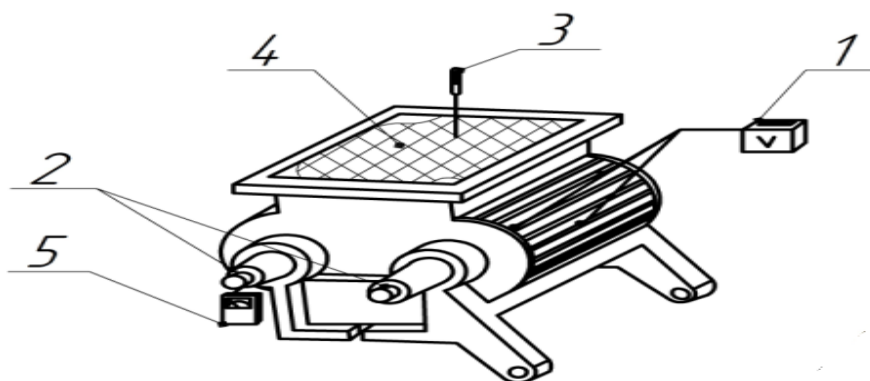


Рисунок 1. Схема установки для визначення температури:

1- термопара з осцилографом; 2- обертові валки; 3- термометр; 4 – тісто;
5- тахометр



Зміну температури в процесі нагнітання вимірювали за допомогою чотирьох термопар, закріплених на поверхні валка відповідно на відстані 5; 15 і 25 мм від торця валка. Вирішальне значення для оцінки якості терморегулювання має тривалість встановлення температури в чутливому середовищі. Це питання представляє особливий інтерес з точки зору порівняння якості чутливого валка в старому та новому виконанні. Вона ускладнена тим, що температура середовища змінюється не тільки в часі, але і по висоті робочої камери. Крім того, не можна точно сформулювати граничні умови, так як гідродинамічний процес відрізняється досить великою складністю і тому не можна з належною точністю задати коефіцієнт тепловіддачі.

При визначенні характеру температурного поля середовища по висоті було проведено зіставлення одночасного запису температури в двох поясах: спочатку у верхньому і нижньому, а потім у верхньому і середньому (із збереженням зазначеного розташування термопар). Отримані осцилограми свідчать про розшарування температури по висоті, але, разом з тим, привертає на себе увагу періодичність температурного ходу середовища, а також синхронність зміни температури па різній висоті. На рис. 2 представлена одна з осцилограм.

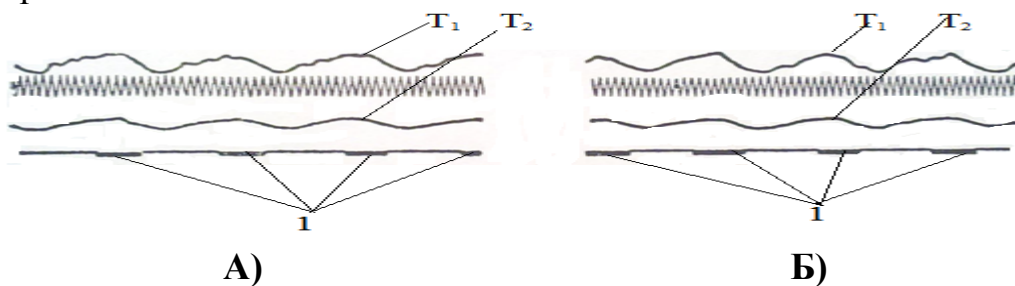


Рисунок 2. Зміна температури над поверхнею валка 1 після а) – шостого; б) – восьмого циклів нагнітання

Дослідження встановили, що відбувається приблизно рівномірно виділення тепла. Цикл виділення досить короткий, і втрати тепла на випромінювання й конвекцію незначні. Розподіл температури по площині, паралельній поверхні тертя, є рівномірним.

Відповідно до цього реальну картину зміни температури в об'ємі також допустимо замінити картиною зміни її середньої арифметичної величини. Надалі прийняті наступні позначення:

T'' і T' - поточні температури середовища і валка; τ - час; c - теплоємність матеріалу валка; ρ - його густина; F - бокова поверхня; V - об'єм; r - радіус; h - висота; α - коефіцієнт тепловіддачі; α , ρ , c , F і V - постійні параметри процесу.

Дійсна зміна температури по часі апроксимується лінійною функцією:

$$T'' = T'_0 \pm a \tau,$$

де позитивний знак при другому доданку відповідає прогріванню середовища, а негативний - охолодженню.

Рівняння теплообміну запишемо в наступному вигляді:

$$\alpha (T'' - T') F d\tau = c \rho V dT',$$



Приймаємо позначення - $k = \frac{\alpha}{c\rho} \frac{F}{V}$,

Отримуємо: $\frac{dT'}{d\tau} = k(T''_0 + \alpha r - T')$.

Початкову температуру середовища приймаємо за початок 0 відліку і відповідно вводимо позначення: $T' - T'' = \vartheta$.

ϑ - являє собою надлишкову температуру металу по відношенню до початкової температури середовища.

Таким чином, при охолодженні $\vartheta > 0$, а при нагріванні $\vartheta < 0$. Отже ,

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = -k(\vartheta - \alpha r), \text{ або } \vartheta' + k\vartheta = k\alpha r$$

Це звичайне диференціальне рівняння, лінійне, першого порядку, неоднорідне. Його загальне рішення виходить як сума двох рішень: загального розв'язання однорідного рівняння ϑ і власного розв'язання неоднорідного рівняння ϑ_2 .

У умовах нагнітання, коли частина валка не знаходиться у контакті з навколишнім середовищем, вільний потік повітря ззовні до робочої камери виявляється надзвичайно слабким. За оцінками, ефективний коефіцієнт теплопровідності має визначене значення. Таким чином, теплообмін у цій конструкції відбувається за рахунок як теплопровідності, так і випромінювання. Для визначення інтенсивності теплообміну введемо сумарний коефіцієнт тепловіддачі, представивши його у вигляді $\alpha = \alpha_K + \alpha_L$

При цьому перший доданок, відповідає конструктивному переносу тепла, визначиться у вигляді $\alpha_K = \frac{\lambda}{\vartheta_B}$

де λ - коефіцієнт теплопровідності повітря;

ϑ_B - товщина повітряного прошарку.

Другий доданок, що характеризує теплообмін випромінюванням, знаходиться з рівняння

$$\alpha_L = c \frac{\left(\frac{T_{mp}}{1000}\right)^4 - \left(\frac{T_{cm}}{1000}\right)^4}{T_{mp} - T_{cm}} \equiv c\vartheta$$

де T_{mp} - абсолютна температура внутрішньої поверхні валка;

T_{cm} - абсолютна температура поверхні валка;

c - коефіцієнт випромінювання системи валка.

Коефіцієнт c визначається за формулою

$$c = \frac{1}{\frac{F_{cm}}{F_{mp}} \left(\frac{1}{c_{cm}} - \frac{1}{c_e} \right)}$$

Тут, c_{cm} і c_{tp} - відповідно коефіцієнти випромінювання абсолютно чорного тіла та матеріалу валка. За умови малої товщини та високої теплопровідності стінки валка можемо припустити, що температура обох її поверхонь є однаковою. Тривалість встановлення температурного режиму, виходячи з



умови, що відносна надмірна температура в усіх випадках нагнітання має однакове задане значення, може бути розглянута як величина, обернена до

$$\text{коефіцієнта теплопровідності (к)}: \tau = \frac{\ln \frac{\vartheta}{\vartheta_0}}{k}$$

Таким чином, час встановлення температурного режиму є величина, зворотна k

Висновки.

У процесі нагнітання середовища, що заповнює зазор, воно виявляє помітну швидкість руху, що суттєво підсилює теплообмін. Зазначено, що в умовах такого руху складно точно визначити коефіцієнт тепловіддачі через складні гідродинамічні умови. Однак час, необхідний для встановлення температурного режиму, дозволяє ефективно вирішити зворотню задачу теплопровідності.

Література

1. I. Stadnyk, V. Piddubnyi, I. Okipnyi, T. Hushtan, V. Vovk, V. Lazaryuk EFFECT OF INHIBITOR EXTRACT ON RESISTANCE TO CORROSION-FATIGUE FRACTURE OF STEEL 20. VII International Conference «In-service Damage of Materials, its Diagnostics and Prediction» October 18-20, 2023, Ternopil, Ukraine

2. Сухенко В.Ю. Методика исследования процессов коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевых и перерабатывающих производств./ А. Дзюб, В. Мануилов, Ю. Сухенко// polish Academy of Sciences/-Lublin-Rzeszow; AgroMedia 2014. –Vol. 16, №3 -74-81с.

3. Крагельский И.В. Некоторые задачи науки о трении. В об. «Проблемы тения и изнашивания», К., «Техніка», 1981, вып.1,с.11-17.

4. Деркач А.П., застосування експериментально-статистичного моделювання для дослідження параметрів надійності валкових машин// Деркач А.,Стадник І.Я., 1Василів В.П.Научний вигляд в будуще. ISSUE№2, 2016-с.63...66.

5. Igor Yaroslavovych Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi, Halyna Karpyk, Mykhail Kravchenko, Volodymyr Hidzhelitskyi ADHESION EFFECT ON ENVIRONMENT PROCESS INJECTION *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* vol. 13, 2019, no. 1, p. 429-437 <https://doi.org/10.5219/1078>

6. Stadnyk, I., Novak, L., Matenchuk, L. 2018. Global rheological approach to the quality of medium injected by the rollers. *Potravinarstvo Slovak Journal for Food Sciences*, vol. 12, no. 1, p. 397-404. <https://doi.org/10.5219/867>

7. Declarative Patent for utility model Ukraine. *Dough feeding unit of the molding machine*. Patent owner : Stadnyk, I. A 21C 3/10 (2006.01) Ukraine. Patent no.111058., 25.10.16.

Abstract. *The considered environment with the composition of chemical and surface-active substances, which, falling on the cylindrical surface of the working bodies, cause corrosive destruction and wear or corrosion-mechanical activation. Since friction is always accompanied by heating under conditions of corrosive-mechanical wear, the duration of the process and the design*



parameters of the machine in a sensitive environment relative to the point of thermodynamics are crucial for evaluating the quality of thermoregulation. It was established that the temperature of the environment changes not only with time, but also with the height of the working chamber, since the hydrodynamic process is quite complex, and therefore we have provided ways to study the nature of this process with the appropriate accuracy to set the heat transfer coefficient.

Key words: *surface-active substances, environment, hydrodynamic process, coefficient of heat transfer, friction forces, rolls.*

Стаття відправлена: 15.01.2024р.

© Стадник І.Я.

д.т.н., проф.



УДК 65.9

USING THE METHOD OF GROUP TRAINING OF MECHANICAL STUDENTS

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ-МЕХАНІКІВ

Kisietov J. V. / Кісєтов Ю.В.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-5360-9376

National University of Shipbuilding,

Mykolayiv, av. Geroyiv Ukraine, 9, 54007

Національний університет кораблебудування,

Миколаїв, пр. Героїв України, 9, 54007

Анотація. Сучасний освітній процес з використанням методів проблемного навчання дозволяє отримати необхідну підготовку для успішної праці спеціалістів в майбутньому. В роботі проаналізовано досвід впровадження сучасного підходу до професійно-практичної підготовки фахівців рівня вищої освіти шляхом організації групової роботи. Наведено приклади використання метода групової роботи студентів спеціалізації «Управління судновими технічними системами і комплексами» за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Ключові слова: Інтенсифікації процесів навчання, підготовки суднових механіків, досвід організації групової роботи, технологічні етапи групової роботи, приклад реалізації групового завдання.

Вступ.

Нинішні об'єктивні реалії організації і проведення навчального процесу змусило заклади вищої освіти шукати нові форми навчальної роботи, перебудовувати структуру освітнього процесу. Сучасна підготовка фахівців вимагає цілеспрямованої організації освітніх процесів у напрямі формування професійної компетентності (професійних знань, умінь і навичок, професійно важливих якостей). В останні роки питання підвищення інноваційної складової сучасної освіти набули значного інтересу серед вчених і практиків які мають відношення до навчальних процесів освіти [1-4 і інші]. Суттєвою складовою інноваційною модернізації сучасної освіти є необхідність реалізації новітніх методик паралельно з існуючими.

Основний текст.

В умовах зростання обсягів інформації з багатьох галузей науки, техніки та технології, висунення високих професійних вимог до майбутніх суднових механіків існує необхідність постійної інтенсифікації процесів і методик їх навчання.

Навчання як творчий процес стало процесом розв'язання нестандартних науково-навчальних завдань нестандартними методами, методами проблемного навчання, сутність якого полягала в утворенні в навчальному процесі проблемних ситуацій, вирішенні та вирішенні студентами задач, рішення яких дозволить отримати необхідну підготовку для успішної праці в майбутньому.

Особливістю морської освіти, є те, що вона регламентується вітчизняними і обов'язковими нормативними документами Міжнародної морської організації.



Зокрема, підготовка фахівців морського транспорту в Україні повинна відповідати вимогам Міжнародної Конвенції по підготовці, дипломуванню моряків та несенню вахти ПДНВ-78/95 (STCW) та Кодексу ПДНВ з Манільськими поправками 2010 р. [5; 6].

Професійними особливостями процесів підготовки і наступної діяльності суднових механіків є також достатньо великий обсяг практичної складової навчального комплексу. (Наприклад, в учбовому плані підготовки фахівців бакалаврського рівня така форма навчально-виховного процесу як практика займає до 25% всього часу). Крім того, окремі особливості вивчення деяких питань потребують наявності колективного (групового) розв'язання шляхом групових дискусій, рольових ігор, розігрування ситуацій, використання тренажерів тощо [5].

Особливості організації групової роботи:

- поділ академічної групи на робочі групи (2 - 4 студента);
- кожна група отримує певне завдання і виконує його спільно під безпосереднім керівництвом лідера групи;
- завдання в групі розподіляється таким способом, щоб дати змогу врахувати й оцінити індивідуальний внесок кожного;
- склад групи непостійний (він добирається у залежності від змісту та характеру очікуваної роботи з урахуванням того, щоб ефективно могли реалізуватися навчальні можливості кожного члена групи).

Технологічні етапи групової роботи на занятті:

Перший етап – підготовка до виконання групового завдання:

- постановка задачі (проблемної ситуації) і її мети;
- розподіл задачі на окремі складові;
- формулювання завдань групам;

Другий етап – групова робота:

- ознайомлення з матеріалом, планування роботи в групі;
- розподіл завдань між членами групи;
- індивідуальне виконання завдань;
- обговорення індивідуальних результатів роботи в групі;
- обговорення загального завдання групи (зауваги, доповнення, уточнення, узагальнення);
- оформлення групових результатів загального завдання;

Третій етап – підсумовуюча частина:

- повідомлення про результати роботи груп;
- підбиття підсумків виконання групових завдань;
- загальний аналіз пізнавальної задачі;
- висновок про групову роботу і досягнення поставленої мети (коментування викладачем роботи групи).

Під час групової роботи викладач контролює хід роботи в групах, відповідає на питання, регулює суперечливі ситуації та порядок роботи, у випадку крайньої необхідності надає допомогу окремим студентам або групам.



Нижче наведено фрагмент реалізації групового завдання на прикладі задачі на тему «Обробка відходів на морських судах». Загальний зразковий план завдання для групової роботи наведено нижче:

- *Тема 1. Визначення проблеми. Введення у тему обробки відходів на морських судах. Постановка задачі та актуальність проблеми;*
- *Тема 2. Розгляд міжнародних норм та стандартів з обробки відходів. Огляд законодавства, що регулює діяльність морських суден у цій галузі;*
- *Тема 3. Види відходів та їх джерела. Класифікація відходів на морських судах. Визначення основних джерел формування відходів. Технології обробки відходів на морських судах;*
- *Тема 4. Розгляд методів збирання та тимчасового зберігання відходів. Приклади організації збору та зберігання;*
- *Тема 5: Обробка твердих відходів. Вивчення методів обробки твердих відходів на морських судах. Практичні приклади реалізації з використанням відповідного обладнання. Управління та моніторинг обробки відходів;*
- *Тема 6: Системи управління відходами на судах. Огляд сучасних систем управління відходами. Розгляд прикладів реалізації таких систем.*
- *Тема 7: Моніторинг та оцінка ефективності. Введення у методи моніторингу обробки відходів. Практичні вправи з оцінки ефективності системи обробки.*

У табл. 1 наведено результат виконання фрагменту реалізації групового завдання на прикладі теми 6. (Використана інформація стосовно характеристик обладнання виробництва фірми Delitek (Норвегія) [7].

Таблиця 1. Зразок фрагментів результатів виконання завдання на тему 6 «Системи управління відходами на судах. Огляд сучасних систем управління відходами. Розгляд прикладів реалізації таких систем»



Застосовуються для ущільнення різних типів відходів: картону, харчових відходів, паперу, пластику, консервних банок тощо. Основні характерні особливості такого обладнання:

- Виготовлені з нержавіючої сталі для внутрішнього або палубного розміщення.
- Контейнери з нержавіючої сталі оснащені колесами для зручності сортування і утилізації відходів.
- Інколи поєднані з пакувальним компактором.
- Мають потужний електрогідравлічний привід для забезпечення високого пресувального зусилля.
- Сміття може ущільнюватися відразу у великих мішках для зручної утилізації.
- Існують версії вибухозахищеного виконання.

Проаналізуємо основні технічні характеристики обладнання для обробки сміття (рис.1.1).



Рис. 1.1 Суднові компактори для сміття і відходів

Компактор відходів DT-220 PN поставляється з контейнером С-200 на колесах місткістю 0,2 м³ і поліетиленовим пакетом HD (рис. 1.2).

DT-220PN може підтримувати кілька контейнерів при сортуванні відходів відповідно до рекомендацій MARPOL, тобто один для пластику, один для паперу тощо.

Таблиця 1.1 Технічні характеристики компактора DT-220PN

Марка DT-220PN

Матеріал Нержавіюча сталь AISI 304 або AISI 316

Місткість 0,2 м³

Розмір отвору завантаження 530 мм x 340 мм

Зусилля ущільнення 1500/3000 кг

Габаритні розміри 760 мм x 695 мм x 1983 мм

Вага (включаючи контейнер) 190 кг

Рівень шуму <78дБ Макс



Рис. 1.2 Компактор відходів DT-220PN



Шредери призначені для подрібнення різних типів відходів: змішаного побутового сміття, паперу і картону, пластикових пляшок, алюмінієвих банок, дерева, тощо). Виробляються з нержавіючої сталі для внутрішнього або палубного розміщення, оснащені колесами для зручності сортування і утилізації відходів, мають потужний електрогідролічний привід для забезпечення високого пресувального зусилля (рис. 2.1).



Рис. 2.1 Зовнішній вигляд сучасних шредерів

Більш детально характеристики сучасних шредерів розглянемо на прикладі шредера DT-190LCS (рис. 2.2, табл. 2.1).

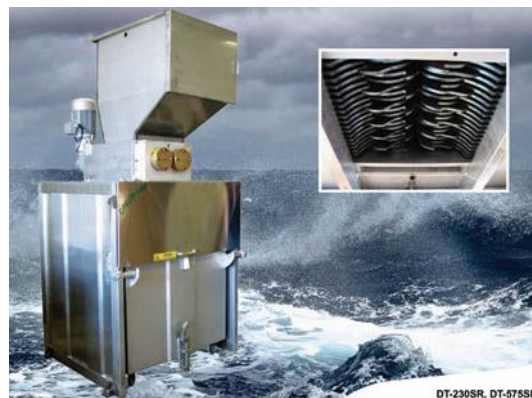


Рис. 2.2 Шредер DT-190LCS

Шредер DT-190LCS призначений для подрібнення різних категорій відходів (змішані споживчі відходи, папір і картон, пластикові пляшки, алюмінієві банки, деревина тощо). Подрібнювач поставляється зі сміттевим баком на 190 л.

Таблиця 2.1 Технічні характеристики шредера DT-190LCS

Марка	DT-190LCS
Матеріал	Нержавіюча сталь AISI 304 або AISI 316 - ПБХ
Контейнер ємність	190 літрів
Розмір отвору завантаження	600 мм x 350 мм
Розміри (Ш x Г x В)	940 мм x 1348 мм x 2041 мм
Вага (включаючи контейнер)	440 кг
Напруга двигуна	380 ~ 440 В, 3Ph, 50 ~ 60 Гц
Потужність електродвигуна	3 кВт
Крутний момент на валу	1900 Нм
Рівень шуму	<70дБ Макс



Подрібнювачі скла спеціально розроблені для дроблення скляних пляшок, банок та подібних виробів зі скла (рис. 3.1). Характерні особливості обладнання:

- Виготовлені з нержавіючої сталі для внутрішнього або палубного розміщення;
- Контейнери з нержавіючої сталі оснащені колесами для зручності сортування і утилізації відходів;
- Потужний електрогідравлічний привід для забезпечення високого пресувального зусилля;
- Сміття ущільнюється відразу у великих мішках для зручної утилізації;
- Безпечна експлуатація завдяки приєднаному контейнеру. Скляний пил не потрапляє в навколишнє середовище.



Рис. 3.1 Суднові подрібнювачі скла

Судновий подрібнювач скла DT-500GC спеціально розроблений для дроблення скляних пляшок, банок та аналогічних скляних матеріалів (рис. 3.2, табл. 3.1). Поставляється з колісним контейнером С-500 ємністю 0,5 м³.



Рис. 3.2 Подрібнювач скла DT-500GC

Таблиця 3.1 Технічні характеристики подрібнювача скла DT-500GC

Марка	DT-500GC
Матеріал	Нержавіюча сталь AISI 304 або AISI 316
Ємність	0,5 м ³
Діаметр труби, що подає скло	Ø 162 мм
Габаритні розміри (Ш x Г x В)	975 мм x 1 208 мм x 1815 мм
Вага (включаючи контейнер)	240 кг
Напруга двигуна	220 В / 380 ~ 440 В, 3Ph, 50 ~ 60 Гц
Потужність електродвигуна	<1,8 кВт
Рівень шуму	<65дБ Макс



Висновок. Наведена інформація може бути використана в якості допомоги при розробці різних учбово-методичних документів (навчальних планів, посібників, методичних вказівок тощо) для забезпечення процесу підготовки суднових механіків. Також даний підхід дає можливість розробки аналогічних інформаційних підґрунтувань для інших спеціалізацій системи освіти майбутніх моряків.

Література:

1. Буцик І. М. Особливості організації групової навчальної діяльності студентів ЗВО в умовах змішаного навчання // Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи. Випуск 5. – Київ, НПУ, 2022, с. 40-45.

2. Kisietov J. The practice of implementation of methods of problem-based training of mechanical engineers. International scientific conference "The current stage of development of scientific and technological progress '2023", No 25 on February 20, 2023, Pro Conference Org in conjunction with Sergeieva & Co, Karlsruhe, Germany, Pp. 3-4. Available at: DOI: 10.30888/2709-1783.2023-25-01-004.

3. Kisietov J., Kuklina O. Features of the information-management system for the preparation of bachelors in marine education Theory, practice and science. Abstracts of XXIII International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan. April 27-30, 2021. Pp. 400-405. Available at: DOI - 10.46299/ISG.2021.I.XXIII.

4. Кісетов Ю., В. Самостійна робота в умовах дистанційного навчання інженерів-механіків: Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XIV Міжнародна науковотехнічна конференція: матеріали. – Миколаїв : НУК, 2023. – с. 135-136.

5. Манільські поправки до Кодексу з підготовки та дипломування моряків та несення вахти (ПДНВ) 25.06.2010 р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://SEARCH.LIGAZAKON.UA/L_DOC2.NSF/LINK1/MU10242.HTML

6. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Sea farers as amended, including the 1995 and 2010 Manila Amendments. STCW Convention and STCW Code. 2011 edition. Language(s): ENG, FRE, SPA, RUS, CHI, ARA (IMO-IC938).

7. Compaction, Shredding and Crushing / URL: <https://www.delitek.nl/about-us-delitek-netherlands/compaction-shredding-crushing/> (дата звернення: 12.01.2024).

Abstract. *The modern educational process using problem-based learning methods allows you to get the necessary training for the successful work of specialists in the future. The paper analyzes the experience of implementing a modern approach to the professional and practical training of specialists at the level of higher education through the organization of group work. Examples of the use of the method of group work of students specializing in "Management of ship technical systems and complexes" in specialty 271 "River and sea transport" for the first (bachelor) level of higher education are given.*

Key words: *Intensification of training processes, training of ship mechanics, experience of organizing group work, technological stages of group work, an example of the implementation of a group task.*



УДК 664.723.047.46:621.315.004.4

**EXPERIMENTAL STUDIES OF GRAIN DRYING WITH MW –
CONVECTIVE CYCLIC ENERGY SUPPLY****ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СУШКИ ЗЕРНА ПРИ МХ-
КОНВЕКТИВНОМУ ЦИКЛІЧНОМУ ПІДВОДІ ЕНЕРГІЇ****Boshkova I. L.***doct. tech. sci, prof.**orcid.org/0009-0009-5599-2709***Volgusheva N. V.***cand. tech. sci, ass. prof.**orcid.org/0000-0002-9984-6502***Boshkov L. Z.***cand. tech. sci, ass. prof.**orcid.org/0000-0002-2196-1519***Капауз К. О.***postgraduate**orcid.org/0000-0003-2363-8819**Odessa National Technological University,
st. Kanatna, 112 Odesa 65039, Ukraine*

Abstract. *The paper presents the results of a study of drying a dense layer of grain under conditions of using microwave field energy. Cyclic modes of supplying microwave energy to a layer of material, alternating with periods of air blowing, are considered. The influence of the duration of layer blowing and air temperature on the patterns of changes in temperature and moisture content of the material, drying speed and specific energy consumption is studied. Oats were used as grain material. A comparative analysis of the characteristics of the processes of microwave convective cyclic drying under various modes is presented.*

Key words: *plant scheme, blowing air through the layer, duration, temperature, moisture content, specific energy consumption, drying speed.*

Introduction.

Heat drying is the most important and most energy-intensive technological operation during post-harvest grain processing. Freshly harvested wheat grain should be dried to a moisture content of 14 percent or less within 48 hours to prevent sprouting and spoilage [1]. Most studies on grain drying are performed on the laboratory scale to study the factors that determine the quality of grains on a large scale. Such factors include air temperature and flow, grain layer thickness, raw material composition, and drying system employed [2]. Currently, convective dryers are the most common for drying grains; they have a number of significant disadvantages, which can be partially eliminated by microwave-convective heat supply. Studies of microwave convective drying of grain [3] have shown that the duration of the drying process in the presence of a microwave energy supply is reduced by 3.5 times compared to convective drying. When studying the kinetics of grain drying, convincing evidence was obtained of the applicability of microwave technologies and the feasibility of developing microwave dryers [4, 5]. Knowledge of the peculiarities of drying kinetics when using a microwave energy contributes to the selection of rational grain drying modes.



Experimental setup and experimental procedure

The experimental setup diagram is shown in Fig. 1. The setup provides research during microwave, microwave-convective and convective drying.

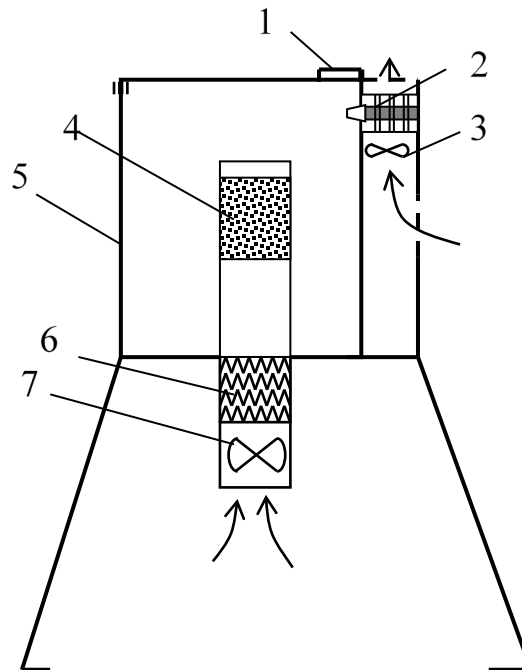


Figure 1 – Scheme of experimental setup for studying the kinetics of drying grain materials under microwave and convective heating

1 – door, 2 – magnetron, 3 – fan of the magnetron cooling system, 4 – experimental cell with grain, 5 – chamber, 6 – electric heater, 7 – fan

An air duct made of radio-transparent material was installed inside the working chamber, into which a cell made in the shape of a parallelepiped from a radio-transparent mesh material was placed. The dimensions of the cell strictly corresponded to the dimensions of the air duct, so that when the material was blown with air, no lateral leaks occurred.

The influence of the duration of blowing τ_c , as well as the temperature of the air blowing through the layer, on the patterns of changes in temperature and moisture content of the material, drying speed and specific energy consumption is studied. In this case, the duration of switching on the magnetron τ_{MW} in all experiments was the same.

When blowing with unheated air, 3 series of experiments are carried out, differing in duration τ_c . After each step, the material is weighed and the temperature of the layer is measured at several points, then a new portion of material with the same weight and moisture content is poured into the cell, and the experiment is carried out with the next period (MW or blowing).

Thus, the obtained initial data make it possible to determine the loss of moisture and the average temperature of the layer, as well as calculate the moisture content and specific energy consumption after each period. In the experiments, the initial and final masses (m_0 , m_f) and temperatures (t_0 , t_f) and the duration of blowing (τ_c) are measured.



0.1 kg of grain with an initial moisture content of 0.2 kg/kg was loaded into the microwave installation. Grain drying took place in a cyclic mode - periods of microwave heating alternated with periods of blowing. The duration of the microwave heating period in all experiments was the same and amounted to 10 s, the magnetron power was 600 W. The duration of the purge period was 10, 20 and 30 s. The air temperature was 20 °C, the filtration rate in the grain layer was 1 m/s. The initial grain temperature was 20 °C. In all experiments, oats were used as a grain material. The method for calculating drying characteristics from experimental data is given in [4].

Results and discussion.

Microwave drying with air blowing through the grain layer without preheating

During the experiment, the air temperature was 20 °C, the filtration rate in the grain layer was 1 m/s. The initial grain temperature was 20 °C.

With a ratio of 10 s MW - 10 s blowing (total duration of the process - 130 s), the specific energy consumption for the entire experiment was 9.07 MJ/kg, the average drying rate was $4.3 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s) – Table 1, mode 1. At $\tau_c=20$ s (total process duration – 190 s), the specific energy consumption for the entire experiment was 9.68 MJ/kg, the average drying rate for the entire experiment was $N = 2,77 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s) – Table 1 mode 2. Average speed of microwave drying $N_{MW} = 2,01 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s), average speed during the blowing period $N_c = 2,78 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s).

When blowing air at $\tau_c=30$ s, the total duration of the experiment was 250 s. The specific energy consumption for the entire experiment was 8.96 MJ/kg, for the entire experiment the drying rate was $N = 2,0 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s) - Table 1, mode 3. The average speed of MW drying was $N_{MW} = 1,57 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s), the average speed during the blowing period $N_c = 2,33 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s).

The drying rate during purging periods decreases as their duration increases. This is explained by a noticeable decrease in the temperature of the material during the period of blowing with cold air.

Microwave drying with heated air blowing through the grain layer

The results were obtained under conditions of blowing the layer with air heated to a temperature $t_{air} = 50$ °C. The initial grain temperature was $t_{grain} = 20$ °C, magnetron power $P = 600$ W, air speed 1 m/s, flow rate 0.0118 kg/s. The duration of the microwave energy heating period was always 10 s.

When blowing with a period of $\tau_c=10$ s (experiment duration 130 s), the specific energy consumption for the entire experiment was 11.72 MJ/kg, the average drying rate for the entire experiment was $3.54 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s) – table 1 mode 4. Average speed of microwave drying $N_{MW} = 2,57 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s), average speed during the blowing period $N_c = 5,33 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s).

When blowing with a period of $\tau_c=20$ s (experiment duration 190 s), the specific energy consumption for the entire experiment was 14.33 MJ/kg. The average drying speed for the experiment was $N = 2.94 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s) - Table 1, mode 5. The average speed of MW drying $N_{MW} = 1,24 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg·s), the average speed during the



blowing period $N_c = 4,32 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg · s). At the same air temperature, but shorter blowing duration, the drying rate was higher.

The characteristics of the processes of microwave convective cyclic drying under various modes are given in Table. 1. Duration of the MW heating period $\tau_{MW} = 10$ s, total MW heating time $\tau_{\Sigma MW} = 70$ s.

Table 1 - Characteristics of microwave convective cyclic drying

Name	Mode				
	1	2	3	4	5
Duration of the convective period τ_c , s	10	20	30	10	20
Total convective heating time $\tau_{\Sigma c}$, s	60	120	180	60	120
Total drying duration τ_{Σ} , s	130	190	250	130	190
Air temperature t_a , °C	20	20	20	50	50
Loss of moisture Δm , 10^{-3} , kg	4,63	4,34	4,69	4,21	5,03
Final moisture content u_f , kg/kg	0,144	0,148	0,144	0,154	0,144
Final temperature t_f , °C	80,5	68	63,3	95,33	91
Drying speed N , 10^{-4} kg/(kg·s)	4,3	2,74	2,0	3,54	2,94
Specific energy consumption q , MJ/kg	9,07	9,68	8,96	11,72	14,33

The final moisture content, as experiments have shown, is practically independent of the sequence of microwave and convective heating for a given initial moisture content. Specific energy consumption depends to a greater extent on the duration of microwave heating, and not on the order in which it is turned on.

Conclusion

The final humidity, is practically independent of the sequence of microwave and convective heating at a given initial humidity. The specific energy consumption depends to a greater extent on the duration of microwave heating, and not on the order in which it is turned on.

References

- [1] Martin-Gatton College of Agriculture, *Food and Environment* URL: <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/id/id125/10.pdf>.
- [2] Ziegler V., Paraginski R. T., Ferreira C. D. Effects of drying conditions on grain quality: a review. *Concilium*. 2023. Vol. 23, no. 8. P. 37–56. URL: <https://doi.org/10.53660/clm-1249-23e13>.
- [3] Kalender'yan V. A., Boshkova I. L., Volgusheva N. V. Kinetics of microwave drying of a free-flowing organic material. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2006. Vol. 79, no. 3. P. 547–552. URL: <https://doi.org/10.1007/s10891-006-0133-y>
- [4] В.А. Календерьян, И.Л. Бошкова. Тепломассоперенос в аппаратах с плотным слоем дисперсного материала: монография. Киев: Слово, 2011. 184 с.
- [5] Acierno D., Barba A. A., d'Amore M. Heat transfer phenomena during processing materials with microwave energy. *Heat and Mass Transfer*. 2003. Vol. 40, no. 5. P. 413–420. URL: <https://doi.org/10.1007/s00231-003-0482-4>.



Анотація. У роботі представлені результати дослідження сушіння щільного шару зерна за умов застосування енергії мікрохвильового поля. Основою для конструювання нових установок є залежності для розрахунку температури та вмісту вологості дисперсного матеріалу в процесі сушіння, що є предметом дослідження даної роботи. Наведено схему експериментальної установки. Установка забезпечує проведення досліджень при мікрохвильовому, мікрохвильово-конвективному та конвективному сушінні. Розглядаються циклічні режими підведення теплоти із застосуванням періодів конвективного сушіння. Вивчається вплив тривалості продування шару та температури повітря на закономірності зміни температур та вмісту вологи матеріалу, швидкість сушіння та питомі витрати енергії. У мікрохвильову установку завантажувалося 0,1 кг зерна з початковим вмістом вологи 0,2 кг/кг. Сушіння зерна проходило в циклічному режимі - періоди МХ нагрівання чергувалися з періодами продування. Тривалість періоду МХ нагріву у всіх дослідках була однаковою і становила 10 с потужність магнетрону 600 Вт. Тривалість періоду продування була 10, 20 та 30 с. Як зерновий матеріал застосовувався овес. Наведено порівняльний аналіз характеристик процесів МХ – конвективного циклічного сушіння при різних режимах.

Ключові слова. схема установки, тривалість продування, температура, вміст вологи, питомі енерговитрати, швидкість сушіння.



УДК 621.921.34:666.233

**DIAMOND-CONTAINING POLYCRYSTALLINE COMPOSITE
MATERIALS AND METHODS OF THEIR PRODUCTION
АЛМАЗОВМІСНІ ПОЛІКРИСТАЛІЧНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ
ТА ШЛЯХИ ЇХ ОДЕРЖАННЯ**

Sokolov O.M. / Соколов О.М.*c.t.s., dep. head depart. / к.т.н., заст. зав. від.*

ORCID: 0000-0003-3783-0545

Harhin V.H. / Гаргін В. Г.*c.t.s., sen. res. / к.т.н., с.н.с.*

ORCID: 0000-0003—3962-8826

*V. Bakul Institute for superhard materials of NAS of Ukraine,**Kyiv, Avtozavodska, 2, 04074**Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,**Київ, Автозаводська, 2, 04074*

Abstract. *This text discusses the production of diamond polycrystalline materials, factors that contribute to the strength of the diamond-diamond bond, conditions for forming a dense and finely dispersed material structure, and the resulting composite with improved performance characteristics.*

Key words: *diamond, composite, high pressure, sintering, activating additive.*

Introduction

The advancement of science and technology necessitates the creation of materials that can function dependably under the influence of force and temperature fields, harsh environments, deep vacuum, and high pressure. Developing and creating composite materials, including nanostructured ones, is a promising way to improve the physical and mechanical properties of materials for structural and functional purposes.

Composites must meet specific requirements, such as high strength, hardness, wear, and corrosion resistance, to be used as materials for tooling or other functional purposes. Only a few composite materials currently meet these requirements to a sufficient degree due to factors such as low strength, hardness, thermal and electrical conductivity, and reduced physical and mechanical properties at extreme temperatures or in a vacuum.

During the 1960s and 1970s, there was a significant development in the production of diamond polycrystals using high-pressure techniques [1]. These materials are characterized by a rigid framework of fused diamond grains, which gives them isotropic properties. This results in improved mechanical properties, particularly impact strength, when compared to single crystals. Diamond's unique properties, such as its hardness, high thermal conductivity, and low friction coefficient, make it a valuable material for tools in various industries [2]. These tools often use composite polycrystalline materials with diamond powders and sintering-activating additives. It is important to maintain consistency in the use of specific terms and units throughout the document.

Diamond-based superhard materials are 2-5 times harder than the materials they process, making them ideal for cutting tools used in processing non-ferrous metals



and alloys, ceramics, metal-ceramics, wood chips, plastics, polymeric materials, granite, and sandstone products.

Main text

The manufacturing of diamond polycrystals is based on two processes: the transformation of non-diamond carbon, usually graphite, into diamond through high static pressures and temperatures or the use of the CVD method [3]. Alternatively, diamond micropowders can be sintered within their thermodynamic stability region [4].

These impurities and inclusions can significantly affect the quality of the polycrystals. Polycrystals obtained through phase transformations often contain impurities and inclusions of graphite or solvent metals, which can be located both inside crystallites and at their boundaries, often forming a second phase. Therefore, when synthesizing carbon materials using carbon solvent alloys, the resulting polycrystals are composed of diamond, metal phases (both through and isolated inclusions), and residual graphite. This composition leads to low heat resistance, which ultimately limits their performance in tools.

During the direct phase transformation of carbonaceous materials into diamond, non-diamond carbon remains in the final product, reducing its physical and mechanical properties as well as thermal stability.

To address these issues, diamond powders are often sintered at high pressures and temperatures. Polycrystalline diamond material is produced by sintering diamond powders under high pressures and temperatures in the presence of additives that activate the sintering process. This technology involves the use of additives to activate the sintering process, resulting in the production of polycrystalline diamond material. In most cases, sintering technology involves a liquid phase. According to sintering practice, the sealing process has four stages: cold compaction, liquid flow, dissolution-precipitation, and solid-phase sintering.

The cold compaction stage involves compressing the diamond without temperature to seal the composite. As pressure increases, the powder compacts due to the sliding of the grains. With further pressure, intensive powder crushing occurs, although not all grains are crushed. Initially, the more defective grains are destroyed. If the operating pressure is slowly released without heating the charge, it is evident that the solid phase particles are surrounded by fine particles (powder) of the same phase.

The liquid phase activates the movement of solid particles, causing pores and capillaries to quickly fill with substance. When the solid particles are well wetted by the liquid, menisci, or curved liquid surfaces, form between them. These menisci are subject to capillary forces that bring the particles closer together, resulting in shrinkage. When there is a layer of liquid at the particle contacts (with good wetting), it reduces friction and jamming between solid particles. This increases the mobility of the particles, allowing them to regroup.

The dissolution-precipitation stage is observed in systems where the solid phase is sufficiently soluble in the liquid phase. The process mechanism involves grain growth resulting from the dissolution of small particles in the liquid and their subsequent deposition on larger particles. Shrinkage occurs due to the presence of



compressive forces in the contact areas, which increases the chemical potential of the components in the solid phase and their solubility in these areas compared to other areas of the solid phase. During sintering, the solid phase moves from the contact points to the free surface, causing shrinkage as the distance between particles decreases.

If solid particles are in direct contact without a liquid phase layer, they fuse together, known as solid-phase sintering. In the case of diamond polycrystalline composite materials, this results in the fusion of diamond particles, as shown in Fig. 1. The final stage of sintering produces solid phases with a rigid, strong framework.

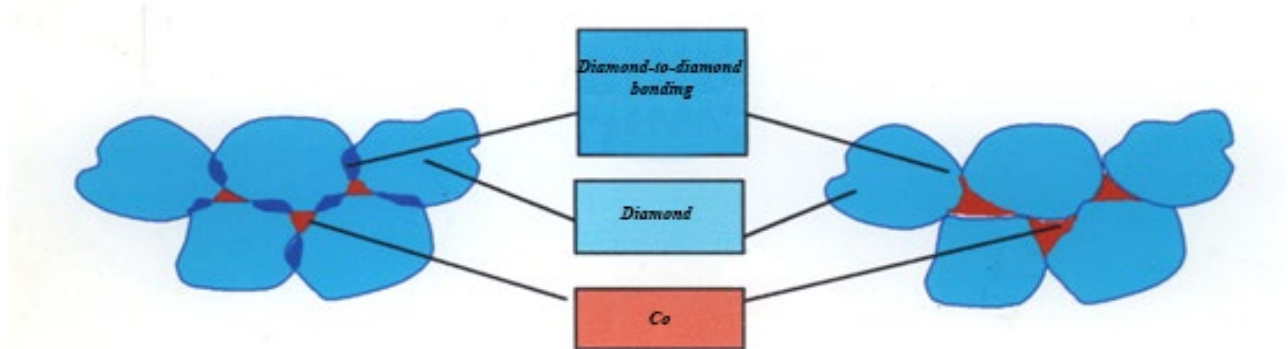


Figure 1 - Elements of the structure of diamond polycrystalline composite material

The material obtained through this method contains a second phase, as shown in Figures 1 and 2.

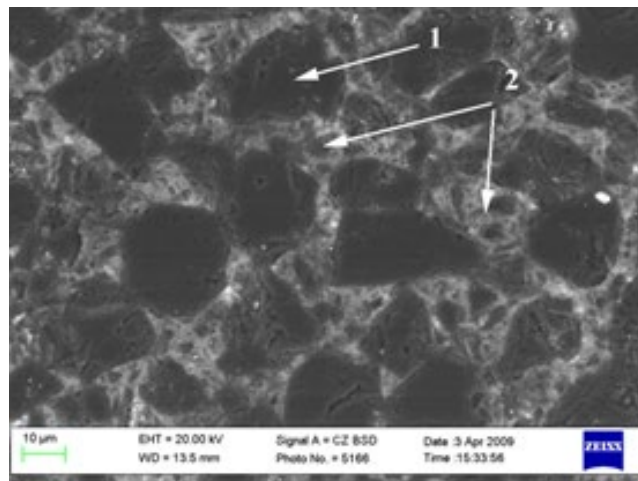


Figure 2 - The structure of the polycrystalline diamond shell (1 - grains of diamond; 2 - destroyed small grains of diamond and sintering additive)

The sintering of diamond powders is influenced by the formation of polycrystalline structures during barothermic treatment. Diamond micropowders experience plastic deformation at a temperature of 1230 K and a pressure of 7 GPa. Graphite is formed in the pores between diamond particles where the sintering pressure is lower. When using additives to activate the sintering process, such as cobalt, nickel, or iron, the graphite formed in the pores transforms into diamond.

When sintering a composite material with increased wear resistance based on diamond powders and additives, it is important to consider that the material's hardness



has the greatest influence on its physical and mechanical properties. The relationship between wear resistance and hardness is determined by the formula:

$$S = (HV)^{1/2} \cdot K_{1C}^{3/4}.$$

The wear resistance parameter is represented by S , while material hardness is represented by HV , and crack resistance is represented by K_{1C} [5].

The physical and mechanical properties of polycrystals are determined by the presence of a continuous framework of diamond particles. This is due to the formation of diamond-diamond bonds and a dense, highly dispersed grain structure. The plastic deformation of diamond particles plays a significant role in the formation of diamond-diamond bonds. It has been established that in order for plastic deformation to effectively consolidate diamonds, high pressures and temperatures corresponding to the thermodynamic stability of diamond are necessary [4]. Additionally, the formation of interdiamond boundaries is mainly determined by the development of mass transfer in the areas where grains indent each other. To strengthen the intergranular boundaries in a polycrystal, sintering process-activating additives are added to the sintering charge. Initially, metals and alloys of the iron group (Fe, Co, Ni) were proposed as additives to activate the sintering process of diamond polycrystals. However, it should be noted that the materials produced using such additives have limitations that restrict their applications. The additives' adhesive activity causes them to interact with the workpiece's surface during smoothing, resulting in tears and a significant decline in roughness.

To ensure high hardness and strength of a diamond composite, a fine-grained dense structure can be achieved by using nanocrystalline diamond powders, advanced methods of preliminary formation and activation of starting materials, and the introduction of sintering-activating additives, grain growth inhibitors, carbon, nitrogen, and oxygen getters into the charge. For instance, cobalt oxide was proposed as an additive that activates the process of diamond sintering in [6]. It was discovered that this substance inhibits grain growth and acts as both a carbon and oxygen heterogeneous agent. It forms various compounds when interacting with metal oxides. The charge was prepared using a special technology that involved submicron powders of diamond grade ASM5 0.1/0 and cobalt oxide. The sintering process was carried out at a pressure of 8.0 GPa and a temperature of 2000 K for 20-30 seconds. The study of sintered composites [7] has shown that combining preliminary mechanical activation of the initial charge with the introduction of activating additives can significantly improve the physical and mechanical characteristics of the diamond nanocomposite sintered under high pressure and temperature. Hardness can be increased by 1.7 times and crack resistance by almost 2 times. The homogeneity of the sintered composite microstructure and the suppression of growth and recrystallization processes during sintering are the primary factors contributing to this result.

Composite polycrystalline materials based on diamond and silicon carbide, such as geothermal and sindax-3, are currently used in tools for drilling, straightening, and smoothing various materials. These materials are produced by impregnating diamond powder with silicon under HPHT conditions, resulting in polycrystals with high thermal stability (~1500 K). The composites in this case consist of a framework of diamond particles (80-85% of the total volume), with silicon carbide and a small



amount of unbound crystalline silicon interspersed between them. Experimental evidence has shown that the strength of this material can be increased by introducing a mixture of silicon and graphite powders, diamond nanopowders, or silicon carbide into the impregnating layer [8].

A two-stage sintering method was proposed [9] to enhance the quality and strength of diamond composites. During the first stage, diamonds are sintered to the melting point of silicon, which increases the contact area between diamond particles and strengthens the diamond-diamond bond. During the second stage, silicon is melted to impregnate the diamond framework and bind free carbon formed in the pores of the material into silicon carbide. This approach improves the physical and mechanical properties of the diamond composite heat-resistant material, resulting in a compressive strength approximately 25% higher than that of the material obtained through one-stage sintering.

Thus, summarizing the above, we can conclude that, in accordance with the tasks set, the sintering process-activating additive should:

- to act as grain growth inhibitors, i.e. to help preserve the fine-grained component of the composite;
- moisten the diamond, helping to reduce inter-particle friction;
- under the thermobaric parameters of sintering, dissolve graphite formed during sintering or present in the diamond powder as an impurity.

Meeting these requirements will help to create favourable conditions for achieving a dense and finely dispersed material structure, resulting in a composite with improved performance characteristics.

When sintering diamond powders to obtain polycrystalline composites with predetermined performance properties, it is recommended to control the structure and properties of polycrystals using the following means [10]: controlling the sintering process parameters such as pressure, temperature, and sintering time. Controlling the sintering parameters allows to produce polycrystals with varying inclusion contents (such as Co and Si), intense grain fusion, and controlled fracture patterns (either transcrySTALLINE or intercrySTALLINE), resulting in increased wear resistance.

Other important factors include selecting the appropriate diamond particle size, ensuring proper grain surface condition (including thermochemical cleaning), adding sintering process-activating additives, and choosing the appropriate schemes for equipping the reaction volume.

The hardening of the material can be achieved by introducing finely dispersed impurities that prevent the movement of dislocations and cracks. Additionally, the introduction of extra crystallization centers, such as nanodiamonds when impregnating diamond powders with silicon, can also be effective.

Conclusion. The scientific and technological foundations for creating diamond polycrystals with activating additives of various physical and chemical natures under high pressures and temperatures have been developed. The physical, mechanical, and operational properties of the diamond composite are influenced by the composition, properties, and structure of its components. This provides a scientific basis for obtaining new superhard diamond materials for various functional purposes under high pressure and temperature.



References:

1. Bundy F. P. Direct Conversion of Graphite to Diamond in Static Pressure Apparatus. *J. Chem. Phys.* 1963. 38, N 3. P. 631–643.
2. Синтетические сверхтвердые материалы: в 3 т. Т. 3. Применение синтетических сверхтвердых материалов / Редкол. Н. В. Новиков (отв. ред.) и др. Киев: Наук. думка, 1986. 280 с.
3. А. с. № 339134 СССР МПК С 01 В 31/06. Способ наращивания граней алмаза // Б.В. Дерягин, Б.В. Спицын. – Заявл. 10.06.57. Оpubл. 05.05.80, Бюл. 17.
4. Поликристаллические материалы на основе алмаза / А. А. Шульженко, В. Г. Гаргин, В. А. Шишкин и др.; Отв. ред. Новиков Н.В.; АН СССР. Ин-т сверхтвердых материалов. Киев: Наук. думка, 1989. 192 с.
5. Майстренко А. Л., Дуб С. Н. Прогнозирование износостойкости хрупких материалов по твердости и трещиностойкости. *Заводская лаборатория.* 1991. 57. № 2. С. 52–54.
6. Деклараційний патент на корисну модель № 12204 Україна, С22С 26/00. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі нанопорошків алмазу / О. О. Шульженко, О. М. Соколов, В. Г. Гаргін – Оpubл. 16.01.06, Бюл. № 1.
7. Шульженко А.А., Соколов А.Н., Лошак М.Г., Александрова Л. И., Заика Н. И. Свойства и структура алмазных композитов инструментального назначения, полученных из порошков различной дисперсности. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения.* Сб. науч. тр. Вып. 10. К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. С. 169–175.
8. Шульженко А. А, Гаргин В. Г., Бочечка А. А и др. Применение алмазных нанопорошков для увеличения прочности композита на основе алмаза и карбида кремния. *Сверхтвердые материалы.* 2000. № 3. С. 3–15.
9. Патент № 21897 Україна. С01В 31/06. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / Шульженко О. О., Гаргін В. Г., Русінова Н. О. – Оpubл. 10.04.05, Бюл. № 4.
10. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. Киев: ИСМ НАНУ, 2001. – 528 с.

Анотація. Розглянуто способи одержання алмазних полікристалічних матеріалів, фактори, що сприяють підвищенню міцності зв'язку алмаз–алмаз, умови формування щільної, мілкодисперсної структури матеріалу і, як наслідок, одержання композиту з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: алмаз, композит, високий тиск, спікання, активуюча добавка

The article has been sent: 15.01.2024.

© Sokolov O.M., Harhin V.H.



УДК 621.3

ANALYSIS OF VOLTAGE CHANGES IN LOCAL LOW-VOLTAGE GRIDS WITH CONNECTED PHOTOELECTRIC PLANTS AND ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF FORECASTING THESE CHANGES**АНАЛІЗ ЗМІН НАПРУГИ У ЛОКАЛЬНИХ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ ПІДКЛЮЧЕНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЯХ ТА ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦИХ ЗМІН****Batsala Y.V. / Бацала Я.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4964-407X

Fedoriv M./ Федорів М.Й.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8917-4159

Zhuvchyn P. P. / Живчин П. П.*student/ студент**Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019*

Анотація. У статті запропоновано використати моделі прогнозування вихідної потужності та продуктивності фотоелектричної станції для аналізу їх впливу на зміну напруги в мережі. При моделюванні роботи енергосистеми з фотоелектричними станціями необхідно враховувати перспективи зростання виробництва енергії, які можуть впливати на режими роботи енергосистеми, а також врахувати періодичність і невизначеність вхідних параметрів. Кількість енергії, яка може бути отримана від фотоелектричної станції залежить від двох ключових випадкових змінних, а саме освітленості та температури. Розуміння стохастичності генерації дозволяє компаніям та операторам електростанцій краще управляти ризиками, пов'язаними з виробництвом коливань, наприклад, плануванням резервних джерел енергії чи оптимізацією потужності сонячних електростанцій.

Ключові слова: фотоелектрична установка, прогнозування кількості згенерованої електроенергії, напруга, перетоки електроенергії.

Вступ.

Фотоелектричні станції (ФЕС) є джерелами відновлювальної енергії, які стають все більш важливими в світовій енергетиці. Проте, вхідні параметри, що впливають на їхні характеристики, такі як змінна інтенсивність інсоляції, температурні коливання та інші фактори призводять до змін в електропостачанні, що може бути проблематичним для стабільності енергосистем.

Оператори на енергетичних ринках вже зараз активно використовують прогнози для ефективного управління ресурсами та підтримки стійкості енергосистем. Такі прогнози враховують часові залежності та змінність виробництва відновлювальної енергії, дозволяючи оптимізувати використання ресурсів та забезпечувати надійність постачання електроенергії.

Основний текст.

Оскільки необмежена інтеграція фотоелектричної енергії в електромережу впливає на зміни в перетоках електроенергії розподільної мережі, відхилення



напруги, коливання напруги тощо, системні оператори зосереджуються на тому, як визначити та покращити інтеграційну здатність ФЕС.

Фотоелектрична енергія генерується залежно від інтенсивності світла, що може змінюватися в реальному часі через погодні умови та інші фактори. Це робить детермінований метод розрахунку потужності менш ефективним, оскільки не може повністю врахувати варіації виробництва електроенергії від фотоелектричних панелей.

Прогнозування продуктивності ФЕС виконують за допомогою простих та складних математичних моделей, нейронних мереж, штучного інтелекту, з використанням моделей авторегресії, гармонічних функцій, а також враховуючи погодні кореляційні коефіцієнти [1-4].

Для оптимального управління та максимізації використання фотоелектричної енергії часто використовують алгоритми та системи, які враховують низку факторів. Наприклад, системи прогнозування погоди можуть використовуватися для передбачення інтенсивності світла вперед на кілька годин або навіть днів.

Підключення фотоелектричної станції до мережі головним чином впливає на розподіл потоку електроенергії в мережі, якість електроенергії та динамічні характеристики. Проте вихідна потужність фотоелектричної енергії – це випадкова величина, яка визначається з залежності від сонячної інсоляції в реальному часі. Детермінований метод розрахунку перетоку потужності не може повністю відобразити та оцінити чинники та масштаби впливу.

У традиційному односпрямованому розподільному фідері величина напруги на кінці фідера менша за напругу джерела. Ці величини напруги необхідно підтримувати в певних межах. Регулювання напруги може бути досягнуто двома способами: належним проектуванням системи (наприклад, вибором провідника, налаштуваннями напруги на підстанції за допомогою розподільного трансформатора або пристроїв компенсації), а також пристроями керування, такими як регулювання напруги під навантаженням на трансформаторі (РПН). Часто напруга вузла при генерації ФЕС енергії може зрости, особливо в умовах низького споживання електроенергії.

Коли мережа працює в режимі мінімального навантаження, загальна напруга шин після трансформатора часто не регулюється відповідним чином, тому напруга всієї мережі також зростає. Найважчим станом є варіант з перенапругою більше 10 %. Рівень генерування електростанції залежить від часу (місяця, дня року) та погодних метеофакторів. На рис. 1 показано відмінності між максимальним та мінімальним генеруванням фотоелектричної електростанції потужністю 1 МВт червні та листопаді.

Як видно з графіків на рис.1 в літні місяці збільшується час генерування (тривалість світлового дня зростає) та мінімальна потужність.

Проведемо апроксимацію кривої генерації ФЕС для літнього місяця – липня 2022 (рис. 1). Знайдемо залежність потужності від часу. Використаємо метод підставлення для 5 точок. Використаємо апроксимовану криву для визначення «рівня генерування», який залежно від погоди будемо задавати 25 %, 50%, 75 %, 100 %, дані зведемо в табл.1.

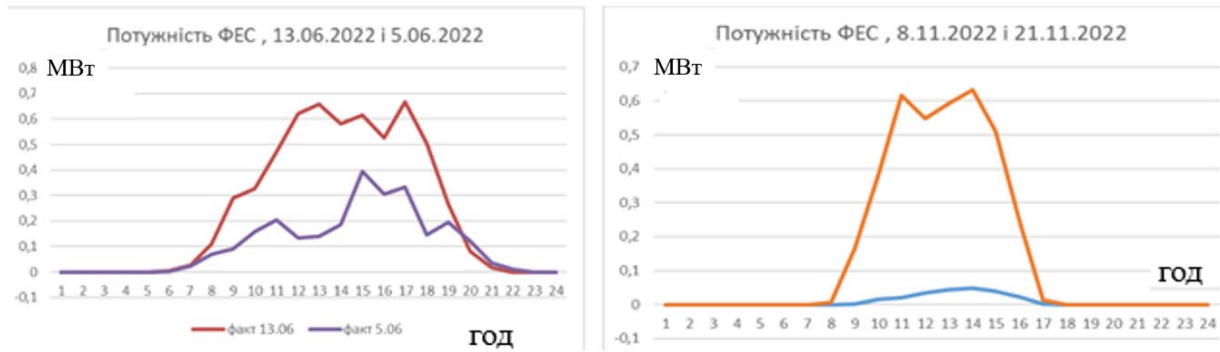


Рисунок 1 – Зміни потужностей фотоелектричної станції протягом дня в червні та листопаді 2022 року

Джерело: Авторська розробка

Таблиця 1 – «Рівень проникнення ФЕС» згідно апроксимації

час, година	Потужність, МВт	Рапрокс	25%	50%	75%	100%
7	0,05	0,05	0,0125	0,025	0,0375	0,05
10	0,3	0,42	0,105	0,21	0,315	0,42
13	0,65	0,51	0,1275	0,255	0,3825	0,51
16	0,55	0,52	0,13	0,26	0,39	0,52
19	0,3	0,39	0,0975	0,195	0,2925	0,39
22	0,05	0,02	0,005	0,01	0,015	0,02

На рис. 2 показано зміну потужності ФЕС залежно від рівня сонячної інсоляції або («рівня сонячності»). Цей графік враховує зменшене значення сонячної інсоляції протягом дня.

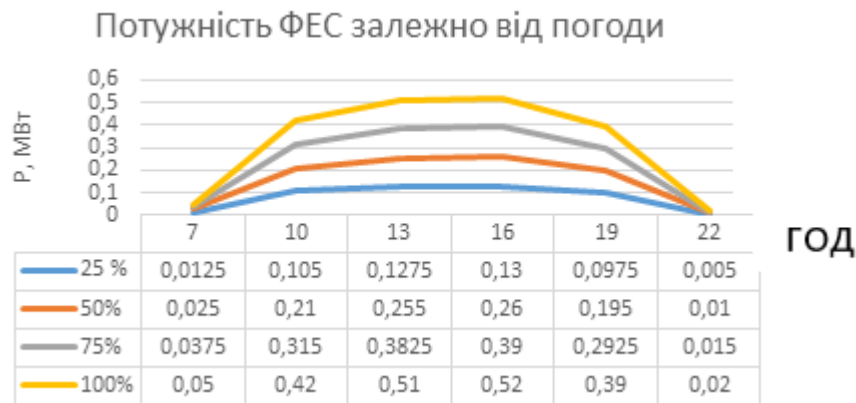


Рисунок 2 – Крива зміни потужності ФЕС у відсотках

Джерело: Авторська розробка

Важливо також отримати криві зміни продуктивності ФЕС (Y(X)) для різних місяців року (рис.3)

$$Y(X) = 22,85 \cdot X - 0,215 \cdot X^3 + 0,00042 \cdot X^5 + 13, \tag{1}$$

де X – порядковий номер року, тобто X=1 (січень).

Розрахуємо кілька варіантів зміни напруги на приєднаннях електромережі з підключенням ФЕС. Задаємося умовами, що до низьковольтної локальної



мережі підключено споживачі (житлові будинки) за допомогою СПу перерізом 35 мм^2 . Змоделюємо підключення приєднань споживачів на різних відстанях один від одного (від 10 до 200 м) та від знижувального трансформатора. Напругу на виході трансформатора приймаємо 235 вольт, але вона може коливатися залежно від первинної напруги і регулюється РПН. Споживання змінюється динамічно залежно від місяця року та часу доби.

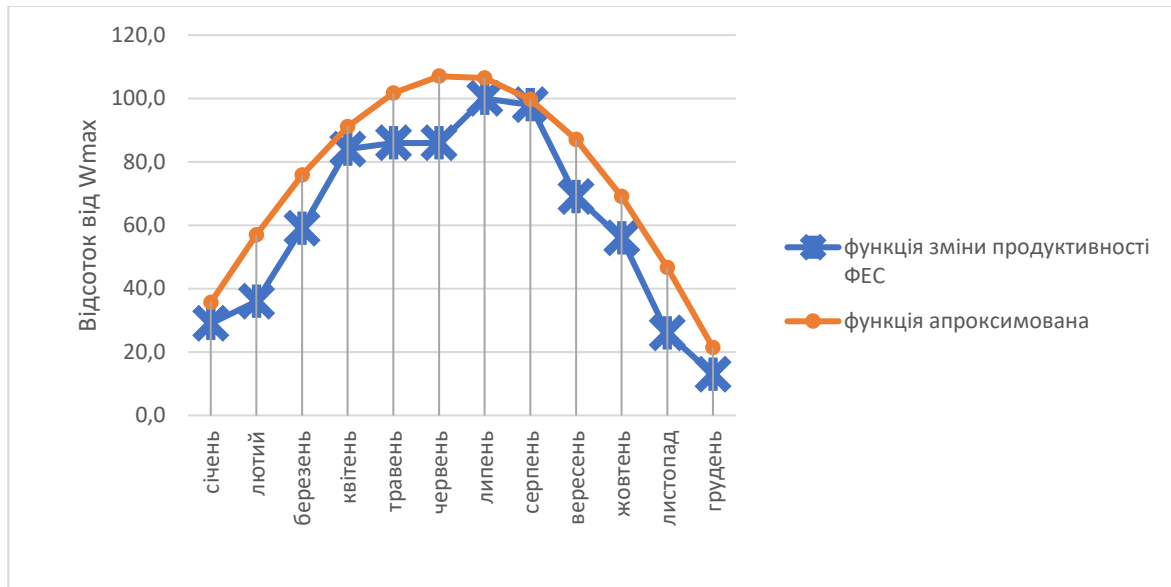


Рисунок 3 – Ілюстрація відповідності річної кривої генерування продуктивності ФЕС у відсотках

Джерело: Авторська розробка

Коли будинки вмикають електрообладнання (освітлення, електрочайники, холодильники і т.д.), вони починають споживати електричний струм. Моделюємо варіант навантаження в всіх будинках рівний 5 кВт. На початку лінії РПН підніме напругу трансформатора.

Критичними варіантами для відповідності напруги нормам може бути варіант приєднання кількох джерел генерування (ФЕС) в кінці або середині лінії (потужність нових ФЕС приймаємо 30 кВт). Власники нових ФЕС в договорах на приєднання оплачують збільшення дозволеної потужності до 30 кВт, відповідно підрядні організації зобов'язуються провести заміну проводу на провід СП $4 \times 70 \text{ мм}$. На рис. 4 показано варіант зміни напруги в точках приєднання. Зниження напруги на початку лінії відбулося через менші втрати напруги в проводі з більшим січенням.

Для того щоб передати 60-120 кВт (більше ніж споживання) потужності будинків, інвертору необхідно підняти напругу вище 262 В. Ще «важчим для системи» є ситуація, коли споживання мінімальне. В такому режимі роботи мережі, напруга може зрости до 277 В, а це означає, що інвертор, який за налаштуваннями за замовчуванням відмикається при напрузі 264 В, буде багато часу простоювати без генерації і власник станції буде недотримувати значні кошти. Напруга також підвищується на інших приєднаннях, які не мають фотоелектричного генерування.

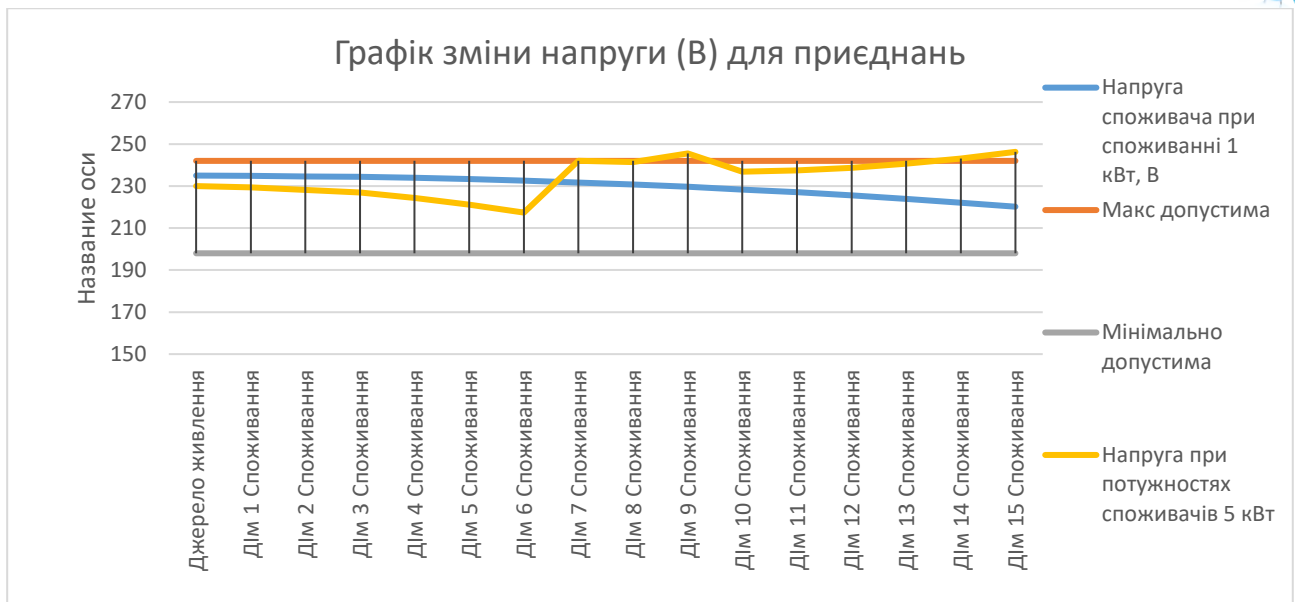


Рисунок 4 – Зміна напруги в магістральній лінії з навантаженням після генерування електроенергії ФЕС в кінці лінії та в середині лінії

Джерело: Авторська розробка

Важливо також розробляти технології для зберігання енергії, оскільки вони дозволяють зберігати надлишкову електроенергію, що генерується в періоди високої продукції, і використовувати її в періоди низької продукції. Це може сприяти забезпеченню стабільності в енергетичних системах та зменшенню залежності від традиційних джерел енергії.

Висновки.

1. Проаналізовано, як впливає величина потужності, а також точка доступу фотоелектричної станції при підключенні до мережі на зміни параметрів мережі та перевищення межі дозволених норм якості електроенергії.
2. Висвітлено можливості застосування механізму узгодження прогнозування генерування енергії фотоелектричною станцією та споживання в мережі залежно від режимів та змін напруги.

Література:

1. Batsala, Y., Hlad, I. (2023). Power Quality Issues of Photovoltaic Stations in Electric Grids and Control of Main Parameters Electromagnetic Compatibility. In: Pawelczyk, M., Bismor, D., Ogonowski, S., Kacprzyk, J. (eds) Advanced, Contemporary Control. PCC 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 708. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35170-9_25
2. Irina Meghea. Comparison of Statistical Production Models for a Solar and a Wind Power Plant, Mathematics, MDPI, 2023. vol. 11(5), pages 1-16, February.
3. Yaroslav Batsala, Ivan Hlad, Iryna Yaremak. Forecasting day-ahead of power generation from photovoltaic stations and use weather apps. „Journal of New Technologies in Environmental Science”. №4. 2021. Pp.143-149. Doi: 10.53412/jntes-2021-4-3
4. Leva, S. & Dolara, Alberto & Grimaccia, F. & Mussetta, Marco & Ogliari, Emanuele. (2015). Analysis and validation of 24 hours ahead neural network



forecasting of photovoltaic output power. Mathematics and Computers in Simulation. 131. 10.1016/j.matcom.2015.05.010.

5. Ya.V.Batsala, I.V.Hlad, I.I.Yaremak, O.I.Kiianiuk Mathematical model for forecasting the process of electric power generation by photoelectric stations Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021, (1): 111 - 116.

6. Alsafasfeh, Qais, Omar A. Saraereh, Imran Khan, and Sunghwan Kim. 2019. "Solar ΦEC Grid Power Flow Analysis" Sustainability 11, no. 6: 1744. <https://doi.org/10.3390/su11061744>

7. Yang G, Marra F, Juamperez M (2015) Voltage rise mitigation for solar PV integration at LV grids. J Mod Power Syst Clean Energy 3(3):411–421.

Abstract. *The article proposes to use models for forecasting the output power and productivity of a photovoltaic plant to analyze their impact on the change in voltage in the network. When modeling the operation of the power system with photovoltaic plants, it is necessary to take into account the prospects for the growth of energy production, which can affect the modes of operation of the power system, as well as take into account the periodicity and uncertainty of the input parameters. The amount of energy that can be obtained from a PV plant depends on two key random variables, namely illumination and temperature. Understanding the stochasticity of generation allows companies and power plant operators to better manage the risks associated with fluctuating production, for example planning backup energy sources or optimizing the capacity of solar power plants.*

Key words: *photovoltaic installation, forecasting the amount of generated electricity, voltage, electricity flows.*

Стаття відправлена: 16.01.2024 р



УДК 621.22+621.67+62.001.57

STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF CENTRAL PUMPING MAIN UNITS**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСНИХ МАГІСТРАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ****Nahirnyi P.I / Нагірний П.І.***master***Nykolyn P.M. / Николин П.М.**<https://orcid.org/0000-0003-1453-8445>**Nykolyn U.M. / Николин У.М.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц*<https://orcid.org/0000-0001-9111-1280>*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG),**Ivano-Frankivsk Karpatska 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019*

Анотація. Уточнено математичну модель відцентрового насоса магістральних нафтопроводів стосовно відображення механічних втрат, визначено енергетичні показники за його комплексними параметрами, побудовано векторну діаграму потужностей насосного агрегата, отримано характеристики ефективності енергоперетворення для магістрального відцентрового агрегата НМ-7000-210.

Ключові слова: енергетична ефективність, механічний опір, потужність, відцентровий агрегат.

Вступ. Однією із найважливіших характеристик всіх перетворювачів енергії є коефіцієнт корисної дії (ККД). Електроприводні насосні агрегати (НА) відносяться до найбільш розповсюджених електромеханічних комплексів на промислових підприємствах і споживають більшу частину всієї виробленої електроенергії. Відомо, що вартість роботи НА за весь період експлуатації в 10 раз перевищує його закупівельну ціну [1], а тому проблема енергетичної ефективності є ключовим питанням для виробничого комплексу. Основними причинами зменшення ККД НА є: неправильний підбір електрогідравлічної пари "двигун-насос", неузгодження продуктивності агрегата із його навантаженням, зношеність і робота в кавітаційних режимах тощо. Вся промисловість України є однією із найбільш енергоємних у світі [2]. Встановлено, що більше 60 % всіх затрат, пов'язаних із монтажем та експлуатацією НА йде на оплату за електроенергію, яка в процесі роботи перетворюється в гідравлічну енергію рухомої рідини [3]. Нераціональне використання цієї енергії в першу чергу пов'язане з відсутністю інформації про фактичний стан ефективності роботи НА. А тому основна увага приділяється забезпеченню необхідної витрати та напору на виході агрегату, за допомогою обрізки коліс або регулюванню запірною арматурою. В свою чергу ці операції теж понижують ККД установки. Такий стан речей вимагає створення адекватної математичної моделі, яка відобразить фізичну суть енергетичних перетворень в НА і окреслить основні напрямки підвищення ефективності його функціонування. Очевидно, що найбільший енергетичний ефект можна



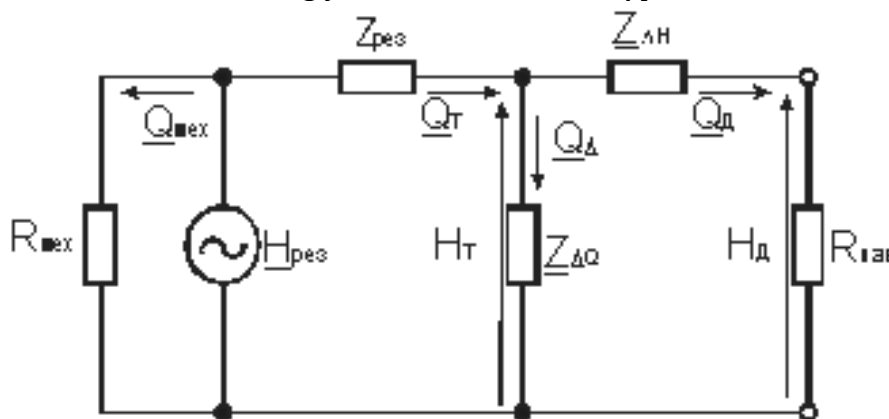
отримати на агрегатах надвеликої потужності із тривалим режимом роботи, зокрема встановлених на магістральних нафтових перекачувальних станцій (НПС).

Для вирішення цієї енергетичної проблеми можна використати принцип аналогій [4,5], для визначення потоків енергії в гідромеханічному перетворювачі та побудови енергетичних залежностей на основі створеної математичної моделі ВН. Застосування такого підходу дало змогу отримати ефективні математичні моделі електричних машин. Запорукою успіху такого підходу є ефективне застосування електроенергетичних законів для об'єктів різної фізичної природи.

На основі електрогідравлічної аналогії та теорії кіл Кірхгофа [6] була створена ефективна математична модель ВН, що оперує із зосередженими комплексними параметрами [4], де було допущено, що в номінальному режимі роботи втратами потужності в сальниках, підшипниках можна знехтувати (при постійній швидкості обертання робочого колеса), а сумарні механічні втрати - прийняти постійними на всьому інтервалі зміни витрати насоса. Цей факт спричинив неточності в подальшому моделюванні енергетичних характеристик, особливо тоді, коли НА працює в недовантаженому режимі. Тому уточнення моделі ВН уможливить детальніше відобразити розподіл потужностей та енергоефективність агрегата.

Задачі досліджень. Метою роботи є уточнення створеної математичної моделі ВН магістральних нафтопроводів, типу НМ за рахунок введення змінної величини механічного опору, який враховує динаміку зміни механічних втрат потужності, а також побудувати векторну діаграму потужностей та виконати розрахунок енергетичних залежностей, які відображають ефективність енергоперетворення у магістральних насосах.

Основна частина. Використовуючи повну комплексну схему заміщення ВН [3] можна отримати модель насоса у вигляді чотирьохполюсника, де змодельовані механічні втрати у підшипниках, сальниках та дискового тертя, у формі змінного активного опору $R_{\text{мех}}$, величина є функцією від витрати $Q_{\text{д}}$.



$H_{\text{т}}, H_{\text{д}}, H_{\text{рез}}$ - теоретичний, дійсний та результуючий гідравлічні напори ВН;

$Q_{\text{т}}, Q_{\text{д}}, Q_{\Delta}$ - теоретична, дійсна та об'ємна гідравлічні витрати ВН;

$Z_{\Delta\text{H}}, Z_{\text{рез}}, Z_{\Delta\text{Q}}, R_{\text{мех}}$ - напірний, результуючий, об'ємний та механічний опір ВН.

Рисунок 1 – Схема заміщення ВН у вигляді чотирьохполюсника із врахуванням механічних втрат



Тут опори ВН змодельовані у вигляді комплексних чисел, що містять активну та інерційну складові і зображаються у вигляді вектора. Розрахунок всіх величин проводиться у відносних номінальних одиницях.

$$Z_{mex} = r_{mex} + jx_{mex}, \quad (1)$$

де r_{mex}, x_{mex} – активний (дисипативний) та інерційний опори для моделювання механічних втрат ВН, активну складову якого визначають із співвідношення:

$$r_{mex} = \frac{Z_{mex}}{\sqrt{1 + Re_{mex}^2}}, \quad (2)$$

де Re_{mex} – відцентрова форма числа Рейнольдса для вітки механічних втрат.

Оскільки значення числа Рейнольдса є великим (для ВН типу НМ-7000-210, $Re_{mex}=359$), то активним опором r_{mex} можна знехтувати по відношенню до x_{mex} . Таке співвідношення між опорами не відображає фізичного характеру енергетичних перетворень щодо вітки механічних втрат НА, які зазвичай носять чітко виражений дисипативний характер. Також, моделювання вітки опору механічних втрат, як постійної та незалежної від режиму роботи величини справедливе тільки для номінального режиму роботи ВН. Для будь-якого іншого режиму Z_{mex} буде змінюватись у відповідності до витрати рідини. Це пояснюється тим фактом, що при збільшенні витрати Q_d зростають дискові та сальникові тертя і осьові навантаження на підшипники.

Проведені на ЕОМ дослідження дали змогу запропонувати наступний вираз для розрахунку залежності механічного опору R_{mex} від витрати Q_d

$$R_{mex} = (R_{mex}^{ном})^{Q_d} \quad (3)$$

де $R_{mex}^{ном}$ – значення механічного опору в номінальному режимі ВН.

Характер зміни R_{mex} можна представити у вигляді графічної залежності для ВН типу НМ-7000-210

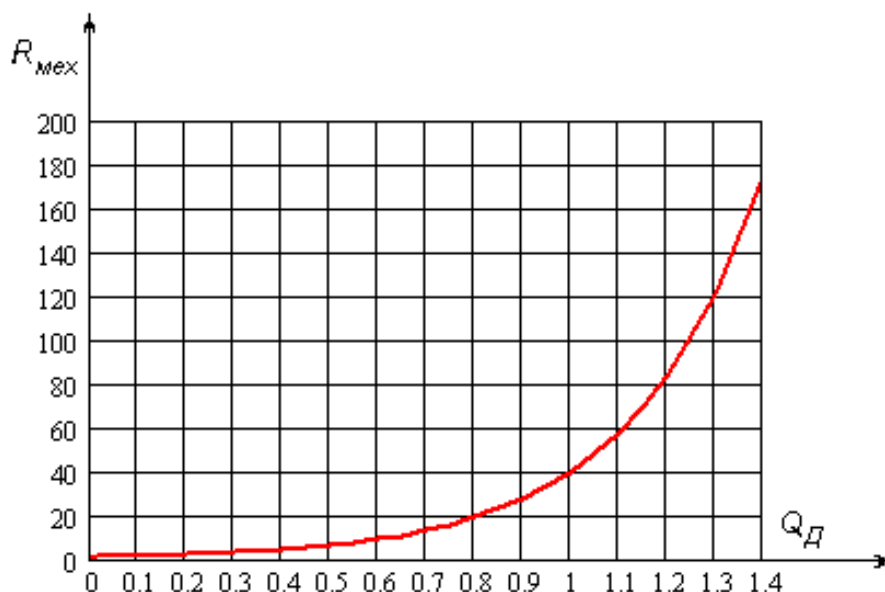


Рисунок 2 – Зміна величини механічного опору для НМ-7000-210 від витрати



Використовуючи схему заміщення на рисунку 1 можна визначити розподіл потужностей, які протікають у ВН. З цією метою спочатку визначаємо значення дійсного напору на виході насоса за виразом [7]

$$H_D = \sqrt{\left(\frac{H_{\text{рез}}}{A}\right)^2 - \left(\frac{B}{A} Q_D \sin(\beta - \alpha)\right)^2} - \frac{B Q_D \cos(\beta - \alpha)}{A}, \quad (4)$$

де B, A – модулі термодинамічних коефіцієнтів чотиріполюсника;
 α, β – аргументи термодинамічних коефіцієнтів чотиріполюсника.

Визначення корисної потужності на виході насоса

$$S_{\text{кор}} = H_D Q_D. \quad (5)$$

Втрати потужності у спіральному відводі ВН

$$S_{\text{CB}} = Q_D^2 Z_{\Delta H}. \quad (6)$$

Втрати потужності зумовлені витоками рідини через ущільнення

$$S_{\Delta Q} = (H_D + Q_D Z_{\Delta H})(Q_T - Q_D). \quad (7)$$

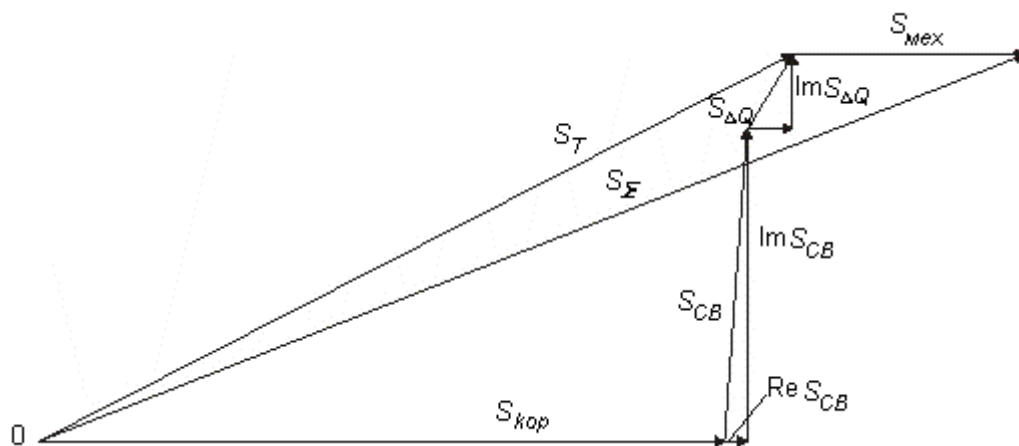
Внутрішні втрати потужності насоса

$$S_T = (H_D + Q_D Z_{\Delta H}) Q_T. \quad (8)$$

Визначення потужності механічних втрат

$$S_{\text{мех}} = \frac{H_{\text{рез}}^2}{R_{\text{мех}}}. \quad (9)$$

Провівши математичні розрахунки в математичному середовищі MathCAD отримано всі необхідні дані для побудови векторної діаграми потужностей ВН яку зображено на рисунку 3.



S_{Σ} - відповідно результуюча потужність створена напором $H_{\text{рез}}$

Рисунок 3 – Векторна діаграма потужностей для НМ-7000-210

Векторна діаграма дає змогу графічно відобразити вплив механічного опору на перетоки потужностей в середині гідромеханічного перетворювача. На цій основі визначено результуючий ККД ВН η_{Σ} із урахуванням характеру зміни уточненого механічного ККД за виразом

$$\eta_{\Sigma} = \eta_o \eta_e \eta_{\text{мех}}, \quad (10)$$

де $\eta_o, \eta_e, \eta_{\text{мех}}$ – відповідно об'ємний, гідравлічний та механічний ККД, які визначаються за наступними формулами



$$\eta_o = \frac{S_{kop}}{S_T}, \quad (11)$$

$$\eta_z = \frac{H_D}{H_T}, \quad (12)$$

$$\eta_{mex} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{S_{kop}}{S_{mex}}}, \quad (13)$$

Результати розрахунків зображено на рисунку 4

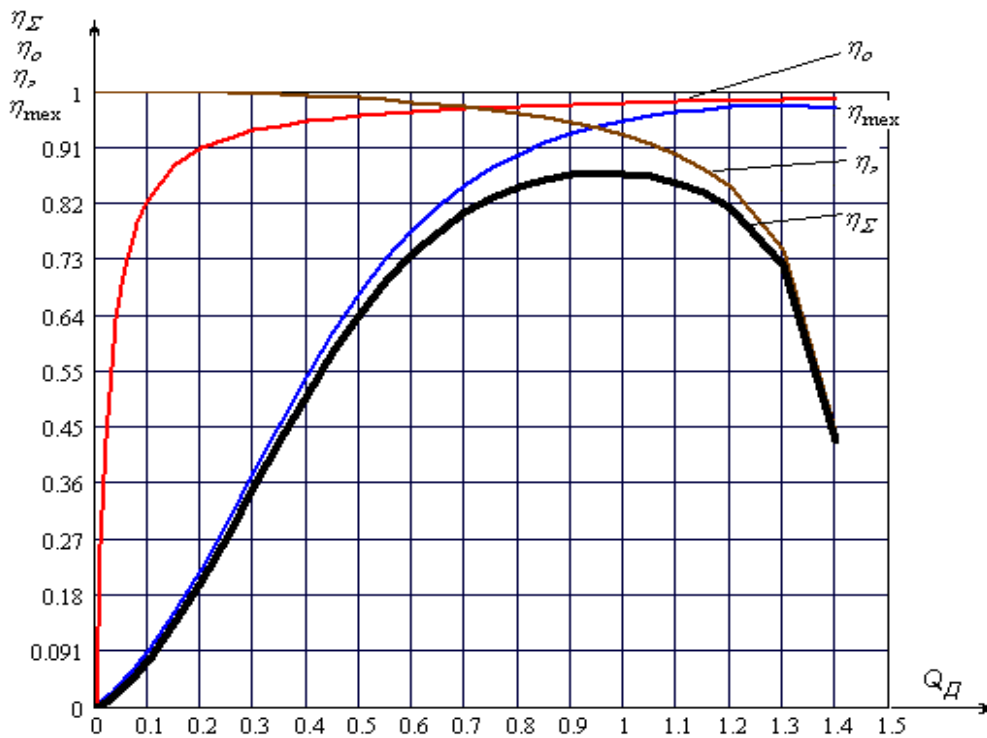


Рисунок 4 – Енергетичні залежності для НМ-7000-210

Адекватність отриманих результатів підтверджується збіжністю розрахованих за допомогою уточненої математичної моделі та отриманої експериментально енергетичної характеристики ВН магістральних нафтопроводів [8].

Висновки

1. Запропонована уточнена математична модель механічних втрат у ВН, яка дає змогу проводити дослідження енергетичних характеристик та підвищувати ефективність роботи.

2. Розраховано і побудовано векторну діаграму потужностей та результуючого ККД для насоса типу НМ-7000-210 із урахуванням характеру зміни механічного ККД.

Список літератури

1. Экономия электрической энергии на промышленных предприятиях [Электронный ресурс]/ http://www.ccssu.crimea.ua/crimea/ac/6/3_0.html.

2. Державний комітет України з енергозбереження. Розвиток механізмів



енергозбереження в регіонах, <http://www.is.svitonline.com/sukhodolya/index.htm>.

3. Не стоит перекачивать прибыль из Вашего завода. Оставьте ее себе [Електронний ресурс] / <http://www.fluidbusiness.ru/usefull/articles/save>

4. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії [Текст] / В.С.Костишин. – Івано-Франківськ : Факел, 2000. – 163с. – ISBN 966 – 7327 – 05 – 1.

5. Коган И.Ш., "Физические аналогии"- не аналогии, а закон природы [Електронний ресурс] / И.Ш.Коган. - 2004, <http://www.scitecliorary.ru/rus/catalog/pages/7438.htm..>

6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники [Текст]/ Л.А.Бессонов. – М.: "Высшая школа", 1973. – 752с.

7. Представлення відцентрового насоса у вигляді чотириполюсника [Текст] / В.С.Костишин, П.М. Николин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищах. – 2006. - №3. – С.76–80.

8. Якимів Й.В. Типові технологічні розрахунки трубопровідного транспорту нафти і нафтопродуктів [Текст]: навч. посібник./Й.В.Якимів. – Івано-Франківськ:Факел,2006.–С.366. – ISBN 966 – 694 – 060 – 4.

Abstract. *The mathematical model of the centrifugal pump of main oil pipelines in relation to the display of mechanical losses was refined, energy indicators were determined according to its complex parameters, a vector diagram of the power of the pump unit was constructed, and the characteristics of the energy conversion efficiency for the main centrifugal unit NM-7000-210 were obtained.*

Key words: *energy efficiency, mechanical resistance, power, centrifugal unit.*

Стаття відправлена: 16.01.2024 р.

© Николин П.М.



УДК 621.791.052

INCREASING THE RESISTANCE OF WELDING JOINTS IN MEDIUM CARBON STEEL PRIOR TO STACK FORMATION

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОГО МЕТАЛУ ДО УТВОРЕННЯ ТРІЩИН

Klochko O.Yu. / Клочко О.Ю.*D.Sc. (Technology), prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-3623-6587

Deryabkina E.S. / Дерябкіна Є.С.*Cand. Sc. (Technology), as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-5531-0124

*State Biotechnological University, Kharkiv, Alchevskih, 44, 61002**Державний біотехнологічний університет, Харків, Алчевських, 44, 61002*

Анотація. Досліджено вплив величини погонної енергії зварювання на стійкість проти кристалізаційних тріщин зварних з'єднань, поява яких обумовлена часткою участі основного середньовуглецевого матеріалу у металі шва. Встановлені діапазони погонної енергії зварювання першого і другого шарів, допустимий вміст вуглецю і швидкість охолодження зварного з'єднання, що виключають утворення кристалізаційних тріщин в металі шва і гартівних структур в зоні термічного впливу зварного з'єднання. Визначено залежності і розраховані режими багат шарового зварювання у вуглекислому газі без попереднього підігріву сталі 45Л товщиною 8-16 мм.

Ключові слова: зварне з'єднання, погонна енергія, кристалізаційні тріщини, гартівні структури, попередній підігрів, вміст вуглецю, швидкість охолодження.

Вступ.

При виготовленні зварнолитих конструкцій широке застосування знаходять виливки із середньовуглецевих сталей 35Л і 45Л підвищеної міцності, які мають хороші ливарні та механічні властивості, але мають обмежену зварюваність [1]. Зварні сполуки цих сталей схильні до утворення гартівних структур у зоні термічного впливу та кристалізаційних тріщин у металі шва [1,2], утворення яких зумовлено часткою участі середньовуглецевого основного металу у шві, величина якої залежить від величини погонної енергії зварювання [3]. Умовою попередження утворення гартівних структур є забезпечення швидкості охолодження зони термічного впливу нижче за критичну [4].

Ефективним засобом підвищення стійкості металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин та загартованих структур є попередній підігрів [1,4], проведення якого ускладнює технологічний процес, збільшує трудомісткість, різко погіршує умови праці зварювальників. Це робить підігрів дуже небажаним, а здебільшого і взагалі неприйнятним [5].

Тому актуальним є дослідження та розробка технології зварювання, при якій забезпечується отримання зварних з'єднань достатньої пластичності без кристалізаційних тріщин та гартових структур при виключенні попереднього підігріву сталі 45Л завтовшки 8 – 16 мм.

Основний текст.

Дослідження здійснювалися на циліндричних порожнистих зразках



діаметром 80 – 150 мм та пластинах розміром 450×100 мм завтовшки 8 – 16 мм із сталі 45Л. Зварні з'єднання виконували без підігріву вручну електродами УОНІ-13/45 Ø5 мм та напівавтоматичним зварюванням вуглекислому газі зварювальним дротом Св-08Г2С діаметром 1,2, 1,6 та 2 мм.

Зі зварних зразків виготовлялися мікро- і макрошліфи для визначення частки участі основного металу, наявності тріщин, проведення металографічних досліджень та виміру твердості. З середньої частини шва бралася стружка для проведення хімічного аналізу. Вивчався вплив погонної енергії зварювання на частку участі основного металу у шві та перехід вуглецю в шов при одно- та двошаровому зварювання у вуглекислому газі. Термічні цикли зварювання записувалися за допомогою хромель - алюмелевих термопар та електродного потенціометра ПРС-1. Фіксувалася швидкість охолодження зони термічного впливу зразків, зварених з різною погонною енергією.

Дослідження впливу погонної енергії зварювання, вмісту вуглецю в металі шва і швидкості охолодження ЗТВ на властивості зварних з'єднань показали, що при зварюванні у вуглекислому газі без попереднього підігріву, у металі шва тріщини відсутні при погонній енергії до 6000 Дж/см і вмісту вуглецю до 0,2%. Однак при цьому в ЗТВ утворюються загартовані структури, виключити які дозволяє зменшення швидкості охолодження до 18-19⁰С/с, але при цьому у шві спостерігаються кристалізаційні тріщини.

При металографічних дослідженнях зварних з'єднань, виконаних як вручну електродами УОНІ 13/45 Ø5 мм, так і у вуглекислому газі зварювальним дротом Св-08Г2С Ø 1,2, 1,6 та 2мм, виявлено, що в обох випадках в ЗТВ спостерігаються гартівні структури - мартенсит і голчастий троостит [6], а в металі шва є кристалізаційні тріщини. Пластичні структури (ферит і перліт) з твердістю Нv₃₀=200-220 у ЗТВ можна отримати при погонній енергії q/v =2400 кал/см, але при цьому в зварному шві утворюються тріщини кристалізації, так як C_{шва}>0,2%[5]. Область на графіку (рисунок1), що лежить між зазначеними значеннями погонної енергії при одношаровому зварюванні без підігріву, характеризується наявністю кристалізаційних тріщин і загартованих структур одночасно. Таким чином, одношарове зварювання досліджуваних сполук без підігріву неприйнятне.

У зв'язку з тим, що зі збільшенням погонної енергії частка участі основного металу збільшується і призводить до утворення кристалізаційних тріщин, а швидкість охолодження зони термічного впливу зменшується і створюються умови для утворення менш напружених структур, і навпаки, проведено спільне дослідження цих залежностей. Це дозволило припустити, що існує область режимів, в якій можливе отримання зварних сполук зі швидкістю охолодження зони термічного впливу і вмістом вуглецю в металі шва нижче критичних, при яких можуть бути отримані зварні з'єднання без кристалізаційних тріщин у шві та загартованих структур у зоні термічного впливу. Для визначення цієї області були побудовані суміщені графіки (рисунок1) залежностей вмісту вуглецю в металі шва (1 шар, 2 шар) та швидкості охолодження ЗТВ (1,2,3,4,5 та 1',2',3',4',5') від погонної енергії при одно - та двошаровому зварюванні. Перший шар, виконаний на погонній енергії 4000-5200 Дж/см, є маловуглецевою підкладкою



($C_{скв.} \sim 0,16\%$) і забезпечує підігрів зони термічного впливу ($T = 200-250^\circ C$). Точка перетину з $C_{кр}$ отримана при $q/v = 10000$ кал/см.

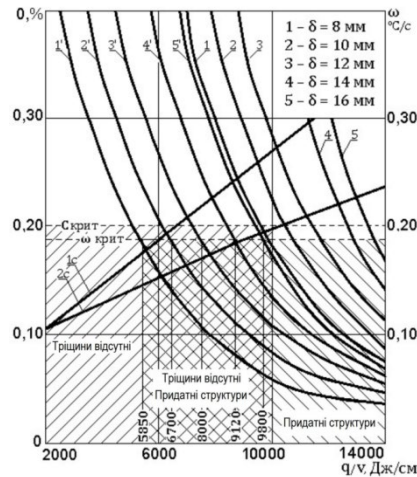


Рисунок 1 - Поєднані графіки залежностей вмісту вуглецю в металі шва (1шар, 2шар) та швидкості охолодження зони термічного впливу (1, 2, 3, 4, 5 і 1', 2', 3', 4', 5') при одно - та двошаровому зварюванні.

Авторська розробка

Зміщення кривих швидкостей охолодження вліво при накладенні другого шару забезпечило отримання критичної швидкості охолодження вліво, при накладенні другого шару забезпечило отримання критичної швидкості охолодження ЗТВ, при погонних енергіях $q/v = 6000 - 10000$ кал/см, шва 0,15-0,20% і швидкістю охолодження зони термічного впливу $6 \dots 19^\circ C/c$, тобто без кристалізаційних тріщин та гартівних структур. В результаті математичної обробки експериментальних даних отримано залежності для визначення напруги та сили струму при двошаровому зварюванні для першого шару(1,2):

$$U_{d_1} = (0,35 - 0,45)\sqrt{(q/V)V_{зв}} \quad (1)$$

$$I_{зв_1} = (3,20 - 3,70)\sqrt{(q/V)V_{зв}} \quad (2)$$

для другого шару(3,4):

$$U_{d_2} = (0,35 - 0,45)\sqrt{(q/V)V_{зв}} \quad (3)$$

$$I_{зв_2} = (3,40 - 4,0)\sqrt{(q/V)V_{зв}} \quad (4)$$

де U_d - напруга дуги, В;

$I_{зв}$ - зварювальний струм, А;

q/V - погонна енергія зварювання, Дж/см;

$V_{зв}$ - швидкість зварювання, см/с.

Встановлено лінійну залежність оптимальної погонної енергії від товщини металу при виконанні другого шару(5):

$$q/V = 1300\delta + 360, \quad (5)$$

де δ - товщина металу, см.

Тому величини напруги і струму при виконанні другого шару так само можуть бути визначені за формулами (6,7):



$$U_{\delta_2} = (3,4 - 4,0) \sqrt{(13\delta + 3,6) V_{36}} \quad (6)$$

$$I_{36_1} = (34 - 40) \sqrt{(13\delta + 3,6) V_{36}} \quad (7)$$

Авторська розробка

Залежності використані для розрахунку режимів зварювання 1-ого та 2-го шарів, які забезпечують отримання зварних з'єднань зі сталі 45Л завтовшки 8-16 мм без кристалізаційних тріщин та гартівних структур (таблиця 1). з'єднання

Таблиця 1 - Режими двошарового зварювання сталі 45Л

Товщина металу, мм	Тип з'єднання	$I_{зв, А}$	$U_{д, В}$	Швидкість зварювання м/г
1-й шар				
8-10	Стикове, зі скосом однієї кромки	190-210	22-23	26-32
11-13	Стикове, зі скосом кромок, кутове	210-250	23-24	24-30
14-16	Стикове, зі скосом кромок, кутове	250-300	24-26	24-30
2-й шар				
8-10	Стикове, зі скосом однієї кромки	270-300	27-28	26-32
11-13	Стикове, зі скосом кромок, кутове	290-320	28-30	24-30
14-16	Стикове, зі скосом кромок, кутове	320-300	30-32	24-30

Авторська розробка

Висновки.

Таким чином, на підставі проведених досліджень встановлено, що при зварюванні сталі 45Л попередити кристалізаційні тріщини та гартівні структури в ЗТВ можливо при двошаровому зварюванні у вуглекислому газі першого шару на погонній енергії 6000-10000 Дж/см, а другого шару на погонній енергії до 10000 Дж/см та швидкості охолодження не більше 18-19⁰С/с. Критичний вміст вуглецю в металі шва має перевищувати 0,2%. Визначено залежності та розраховано режими двошарового зварювання без підігріву сталі 45Л завтовшки 8-16мм, що забезпечують отримання зварних з'єднань без кристалізаційних тріщин у металі шва та ЗТВ з феритно-перлітною структурою.

Результати досліджень рекомендуються до впровадження при зварюванні у вуглекислому газі шестерень, зірочок, валів та інших деталей, що виготовляються із середньовуглецевих сталей марок 35,45, 35Л,40Л,45Л.

Література:

1. М.Г. Єфіменко, Н.О. Радзівілова. Матеріалознавство і термічна обробка зварних з'єднань. - Харків, УПА, 2003.- 488с.
2. Патон, Б. Е. Современные направления повышения прочности и ресурса сварных конструкций // Автоматическая сварка, 2000, № 9/10, С. 3 – 9.
3. А. Т. Назарчук, В. В. Снисарь, Э. Л. Демченко. Получение равнопрочных сварных соединений закаливающихся сталей без подогрева и термической обработки // Автоматическая сварка. 2003, № 5, С. 41 – 50.



4. G. Brozda, M. Zeman Weldability evaluation of a modern TMCR steel by using simulation techniques // Acta Metal-lurgicaSinica, 2000. – № 1. – P. 103 – 111.

5. Е.С. Дерябкина, М.Н. Жежер. Влияние термической обработки на склонность к МКК сварных соединений низколегированной коррозионностойкой стали с азотом // Машинобудування. 2012, Вип.9, С.78-86.

6. T. S. Skoblo, O. Yu. Klochko, E. L. Belkin, A. Sidashenko. New approaches in study of inhomogeneity of heterogeneous structures, metallofiz // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. 2018, Vol. 40, Issue 2, P. 255-280. DOI: 10.15407/mfint.40.02.255.

References:

1. M.G. Efimenko, N.O. Radzivilova. Materials science and heat treatment of welded joints. - Kharkiv, UIPA, 2003. - 488p.

2. Paton, B. E. Modern directions for increasing the strength and service life of welded structures // Automatic Welding, 2000, No. 9/10, pp. 3 – 9.

3. A. T. Nazarchuk, V. V. Snisar, E. L. Demchenko. Obtaining equal-strength welded joints of hardening steels without heating and heat treatment // Automatic welding. 2003, No. 5, pp. 41 – 50.

4. G. Brozda, M. Zeman Weldability evaluation of a modern TMCR steel by using simulation techniques // Acta Metal-lurgicaSinica, 2000. – № 1. – P. 103 – 111.

5. E.S. Deryabkina, M.N. Zhezher. The influence of heat treatment on the tendency to MCC of welded joints of low-alloy corrosion-resistant steel with nitrogen // Mashinobuduvannya. 2012, Vip.9, pp.78-86.

6. T. S. Skoblo, O. Yu. Klochko, E. L. Belkin, A. Sidashenko. New approaches in study of inhomogeneity of heterogeneous structures, metallofiz // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. 2018, Vol. 40, Issue 2, P. 255-280. DOI: 10.15407/mfint.40.02.255.

Abstract. Below, we study the effect of heat input on the resistance against crystallization cracks of weldments, that appears due to presence of the main medium-carbon material in the weld metal. The amount of heat input inside the first and second layers have been established, as well as the permissible carbon content and the cooling rate of the weldments. The latter excludes formation of crystallization cracks inside the weld metal and hardening structures in the zone of thermal influence of the weldments. The dependences are determined and the modes of multilayer welding in carbon dioxide without preheating of 45LI steel with a thickness of 8-16 mm are evaluated.

Key words: welding joints, heat input, crystallization cracks, quenching structures, preheating, carbon content, cooling rate.

Статья отправлена: 19.01.2023 г.

© Дерябкина Е.С.



УДК 621.315.1

**IMPLEMENTATION OF HIGH-SPEED MICROPROCESSOR BACKUP
POWER SOURCES AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE****ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКОДЮЧИХ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ РЕЗЕРВНИХ
ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ****Fedoriv M.Y. / Федорів М.Й.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8917-4159

Hlad I.V. / Гладь І.В.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8247-655X

Batsala Y.V. / Бацала Я.В.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4964-407X

*Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019*

Анотація. В роботі розглядається проблеми забезпечення надійності електропостачання. Запропоновано реалізацію мікропроцесорного швидкодіючого автоматичного введення резерву.

Ключові слова: електропостачання, електричні мережі, надійність електропостачання, пристрій автоматичного увімкнення резервного джерела живлення, мікропроцесорні резервні джерела живлення.

Вступ.

Одна з основних задач, що вирішуються при організації роботи енергетичної системи, є забезпечення якісного і безперебійного електропостачання споживачів. Провали, переривання та викиди напруги електричної мережі є найбільш розповсюдженими причинами збоїв у промисловій роботі підприємств і пошкоджень побутового обладнання, наносять істотний економічний збиток як споживачам, так і постачальникам електроенергії.

Основний текст. Короткочасні порушення електропостачання небезпечні, перш за все, для підприємств зі складними технологічними процесами, що широко використовують засоби автоматизації для вирішення своїх задач: нафтогазовидобувних і переробних, металургійних і хімічних, деревообробних, підприємств водопостачання, водовідведення та інших. На роботу високовольтних двигунів, низьковольтних двигунів приводів насосів, пристроїв управління елементами електротехнічних систем і технологічних процесів цих підприємств здійснюють вплив короткі за тривалістю провали живильної напруги.

Тимчасові порушення електропостачання відбуваються десятки разів на рік і призводять до значної економічної шкоди, навіть якщо їх тривалість складає десятки мілісекунд. В такій ситуації вирішення проблеми надійності електропостачання все частіше покладається на споживачів електроенергії.



Одним із принципів, на базі яких мають виконуватися схеми електропостачання підприємств, є глибоке резервування живлення для відповідних категорій споживачів. Таке резервування має передбачатися у самій схемі електропостачання від енергосистеми до електропостачання від енергосистеми до електроприймача. Для цього усі елементи схеми (лінії, трансформатори) повинні розраховуватися напевне навантаження у тривалому нормальному режимі роботи, а у після аварійному режимі, після виключення з роботи ушкодженої ланки схеми приймати на себе живлення усіх споживачів, що залишилися в роботі і не допускають перерву в електропостачанні, враховуючи при цьому допустимі перевантаження [1].

Традиційно в електричних мережах для боротьби з перервами в електропостачанні застосовуються пристрої автоматичного увімкнення резервного джерела живлення. У якості пускового органу в цих пристроях, як правило, використовується орган мінімальної напруги. Незважаючи на те, що споживачам потрібно якнайшвидше одержати електроживлення, необхідно сповільнити спрацювання пускового органу резервного джерела живлення для запобігання його зайвої дії при короткому замиканні на суміжних ділянках мережі і при дії пристроїв автоматичного повторного включення живильних ліній. У результаті, витримка часу на дію резервного джерела живлення може досягати декількох секунд.

Така витримка часу дії резервного джерела живлення неприпустима, якщо поставлено завдання зберегти безперервність складних технологічних процесів на промислових підприємствах, оскільки в результаті відбувається випадання з синхронізму синхронних двигунів, перекидання асинхронних двигунів, відключення контакторів і пускачів напругою 380 В, відключення частотно-регульованих приводів та установок електровідцентрових насосів, збої в роботі іншого відповідального навантаження і систем управління.

Класифікація споживачів за способом збереження їх функціональних можливостей при короткочасних порушеннях електропостачання:

- високовольтні (напругою 6...10 кВ) електричні двигуни. Під час тимчасових порушень електропостачання електродвигуни гальмуються, а після відновлення нормального електропостачання можуть споживати з мережі струми (5...7) $I_{НОМ}$ в основному за рахунок реактивної складової. Збільшення споживання реактивної потужності з мережі призводить до зниження напруги в мережі та на двигунах після тимчасового порушення електропостачання, яке і може бути причиною порушення функціональних можливостей двигунів. Дослідження показують, що успішний самозапуск двигунів з традиційним резервним джерелом живлення можливий при сумарній потужності двигунів 0,2 ... 0,3 від потужності живильного трансформатора, а сумарна потужність електродвигуна має бути співрозмірна з потужністю трансформатора.

- низьковольтні (напругою 380 В) електричні двигуни. Значну частину таких двигунів складають асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, у яких особливих проблем із самозапуском немає. Однак ці двигуни підключаються до мережі магнітними пускачами, які утримуються у включеному стані електромагнітами, підключеними до силової мережі. При



провалах напруги (у період короточасних порушень електропостачання) відбувається масове відключення електричних двигунів, що може служити причиною порушень технологічних процесів виробництв.

- пристрої управління елементами електротехнічних систем (наприклад, частотними перетворювачами) і технологічних процесів виробництва. Такі пристрої основне живлення отримують від електричної мережі, а допустима тривалість перевир їх електропостачання складає $t_{\text{доп}} < 0,1$ с. Тому будь-який провал напруги викликає порушення функціонування систем управління, які призводять, в кінцевому результаті, до порушення технологічних процесів виробництв.

Ефективно вирішує проблеми тимчасових порушень електропостачання застосування систем швидкодіючого автоматичного введення резерву, що дозволяють здійснити майже миттєвий перехід на резервне джерело живлення [2]. Основні елементи швидкодіючого автоматичного введення резерву, що визначають його ефективність і швидкодію, - це пусковий пристрій та комутаційні апарати, що виконують перемикання.

Пропонується наступна реалізація мікропроцесорного швидкодіючого автоматичного введення резерву, показана на рисунку 1, для схеми, що складається з двох паралельно працюючих трансформаторів на секційовану систему шин, від якої живляться асинхронні двигуни.

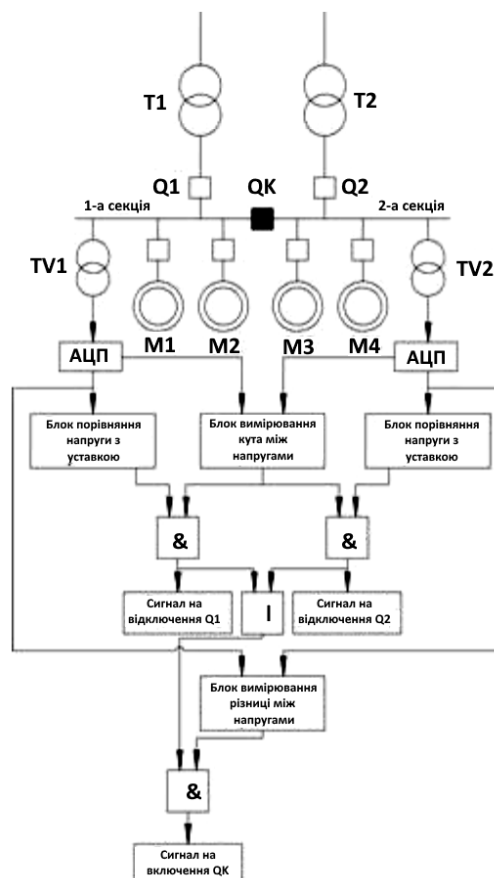


Рисунок 1 – Структурна схема реалізації мікропроцесорного пристрою швидкодіючого автоматичного введення резерву



У схему, представлену на рисунку 1, входять:

- аналого-цифрові перетворювачі;
- блоки порівняння напруг з вставками;
- блок вимірювання кута між векторами напруг першої і другої секцій;
- блок вимірювання різниці між напругами першої і другої секцій;
- логічні блоки «І» та «АБО».

Робота аналого-цифрових перетворювачів у цій схемі заснована на представленні синусоїди у вигляді ступінчастого сигналу. Робота блоку вимірювання кута між напругами полягає у вимірі різниці між ступінчастими сигналами першої та другої секцій та за тривалістю сигналу різниці визначення величини кута між напругами обох секцій. Якщо величина кута між секціями стає рівною 90° , то на виході з'являється сигнал «1», якщо величина кута менше 90° , то сигнал на виході буде «0». Д

У нормальному режимі секції живляться від своїх трансформаторів Т1 і Т2 і пристрій швидкодіючого автоматичного введення резерву не вводиться в дію через сигнал «0» від блоків порівняння напруги із заданою уставкою.

Робота пристрою заснована на такому алгоритмі. При втраті живлення на першій секції система векторів електрорушійних сил двигунів, що вибігають, почне обертатися щодо системи векторів напруги другої секції і напруга на першій секції почне знижуватися. При досягненні куту між векторами напруг двох секцій значення, рівного 90° , і при зниженні напруги першої секції нижче заданого рівня на виході блоків порівняння напруги із уставкою та вимірювання кута між напругами з'являються сигнали «1». Ці сигнали подаються на вхід логічного блоку «І», який дає сигнал на відключення вимикача першої секції Q1, якщо сигнал на його виході дорівнює «1». Одночасно з цим здійснюється контроль різниці напруги між двома секціями та при досягненні різниці менше $1,4 U_{ном}$ на виході блоку вимірювання різниці напруги з'явиться сигнал «1». Для правильної роботи пристрою передбачений логічний блок «АБО», який виключає хибне включення секційного вимикача QK при різниці між напругами більше $1,4 U_{ном}$. Сигнали від блоку вимірювання різниці напруги і від логічного блоку «АБО» подаються на логічний блок «І», який дає сигнал на включення секційного вимикача QK при наявності сигналу «1» на його виході.

У разі виникнення трифазних або однофазних коротких замикань на відхідних лініях кут між векторами напруг першої та другої секцій буде менше 90° та на виході блоку вимірювання кута між напругою буде сигнал «0», який не призводить до неправильної роботи пристрою. При виникненні двофазних коротких замикань на відхідних приєднаннях напруга на секції не знизиться нижче уставки і на виході блоку порівняння напруги із уставкою буде сигнал рівний «0».

Таким чином, контроль рівня напруги на секціях і величини кута між векторами напруг обох секцій дозволяє виключити неправильну роботу пристрою при різних видах коротких замикань на відхідних приєднаннях [3]. За зазначеними вище причинами пристрій не буде спрацьовувати і при виникненні коротких замикань на живлячих приєднаннях, які повинні відключатися швидкодіючими захистами.



Таким чином, призначення розглянутого пристрою швидкодіючого автоматичного введення резерву полягає в забезпеченні невідключень будь-яких споживачів електричної енергії промислового підприємства шляхом їх перемикання на резервне джерело живлення за час не більше 40 мс при короткочасних порушеннях електропостачання на електричних підстанціях, розподільчих пристроях, головних низьких підстанціях з вакуумними вимикачами. Область застосування - розподільчі пристрої (підстанції) з незалежними джерелами електроживлення, що мають навантаження, високочутливе до короткочасних порушень електропостачання:

- напругою 0,38 кВ,
- напругою 6 і 10 кВ.

Впровадження швидкодіючих мікропроцесорних резервних джерел живлення дозволяє досягти наступних цілей:

- ✓ забезпечити надійне і безперервне електропостачання споживачів за рахунок швидкодіючого вводу (не більше 40 мс) резервного живлення в випадку аварійних і ненормальних режимів в живлячих електричних мережах;
- ✓ підвищити залишкові напруги на шинах ТП 6(10)/0,4 кВ та істотно зменшити відпадання магнітних пускачів, контакторів в ланцюзі живлення низьковольтних електродвигунів, збоїв комп'ютерних систем управління, відключень перетворювачів частоти і напруги;
- ✓ забезпечити успішний самозапуск усіх електродвигунів після відновлення електропостачання споживачів;
- ✓ виконати осцилографування параметрів режиму (заданий період до порушення електропостачання, весь процес тимчасового порушення електропостачання та період після перемикання на резервне джерело) в енергонезалежній пам'яті з загальною тривалістю запису до кількох десятків годин (залежить від обсягу встановленої flash-пам'яті).

Висновки.

Впровадження комплексу швидкодіючого автоматичного введення резерву дозволить:

- 1) забезпечити надійне і безперервне електропостачання споживачів у випадку аварійних та ненормальних режимів у живлячих та розподільчих електричних мережах;
- 2) підвищити залишкові напруги на шинах ТП 6(10)/0,4 кВ (на рівні вище $0,9 U_{ном}$), мінімізувати відпадання магнітних пускачів і контакторів у ланцюзі живлення низьковольтних електродвигунів, попередити збої комп'ютерних систем управління;
- 3) забезпечити успішний самозапуск усіх електродвигунів після відновлення електропостачання;
- 4) запобігти дороговартісним перервам в роботі технологічного обладнання;
- 5) підвищити ресурс електродвигунів, насосів, трансформаторів з огляду зниження струмів самозапуску в 2...3 рази та відсутності необхідності повторних пусків агрегатів;



б) знизити ризики екологічних катастроф при порушеннях електропостачання в енергосистемі;

7) підвищити рівень автоматизації виробництва, збільшити продуктивність.

Слід також зазначити, що за статистикою комплекс швидкодіючого автоматичного введення резерву окуповується в середньому за рік, що робить це рішення вкрай привабливим.

Література:

1. Електричні мережі та системи: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. П. Шевчук, О. В. Мейта. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.– 167 с.

2. Грищук Ю.С. Мікропроцесорні пристрої: навч. посіб. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 280 с.

3. Електричні системи і мережі. Частина 1 : навч. посіб. / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський; за ред. П. Д. Лежнюка. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 200 с.

Abstract. *The paper considers the problems of ensuring the reliability of electricity supply. The implementation of microprocessor-based high-speed automatic reserve input is proposed.*

Key words: *electricity supply, electrical networks, reliability of electricity supply, automatically turning on a backup power source device, microprocessor backup power sources.*



УДК 62-626.44

THERMOCHEMICAL CONVERSION OF FINE FRACTION SOLID FUEL INTO COMBUSTIBLE GAS**ТЕРМОХІМІЧНА КОНВЕРСІЯ ДРІБНОФРАКЦІЙНОГО ТВЕРДОГО ПАЛИВА В ГОРЮЧИЙ ГАЗ**

Sklyarenko E.V. / Скляренко Є.В.

Ph.d. / к.т.н.

ORCID : 0000-0003-3952-6520

Vorobiov L.Y. / Воробйов Л.Й

d.t.s., s.r. / д.т.н., с.н.с.

ORCID : 0000-0001-7958-6996

SPIN: 6154-2069

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, M. Kapnist Str., Kyiv
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, вул. М. Капніст, 2а, Київ*

Анотація. В роботі розглянуто спосіб і пристрій для конверсії дрібнофракційного твердого палива в горючий газ в гравітаційно затиснутому шарі з поперечним продуванням.

Для аналітичного дослідження процесу на прикладі фрезерного торфу була розроблена математична модель і програма розрахунків матеріального і теплового балансів пристрою, теплообміну частинок вихідного палива з високотемпературним газовим теплоносієм, розподілення газових потоків і їх аеродинаміки. Модель застосовується для визначення і оптимізації основних технологічних характеристик процесу, а також отримання вихідних даних для конструкторської розробки пристрою.

Ключові слова: фрезерний торф, термохімічна конверсія, математична модель.

Вступ. Дана робота спрямована на більш широке і ефективне використання в теплоенергетиці дрібнофракційних і низькосортних (1500 – 2500 ккал/кг) видів твердих палив, наприклад, фрезерного торфу.

Проблема використання фрезерного палива в теплоенергетичних установках, в першу чергу, пов'язана з його високою вологістю (в природному стані сирий торф містить 85-90% води) та зольністю (10% і вище). Тому для енергетичного використання його піддають сушці до вологості 35 - 40%.

Іншою особливістю і проблемою, що стримує його використання, є його дрібнофракційність та широкий фракційний склад. Проведений ситовий аналіз показує, що його гранулометричний склад включає: 70 – 75 % часток до 1мм, 15-17% до 1- 2 мм, 8 -10% до 2-3 мм, 3 – 4% більше 3мм.

Використання такого палива, в існуючих теплоенергетичних установках, здебільш пристосованих до спалювання природного газу, без впровадження спеціальних технологій і техніки є технічно неможливим.

Дієвий шлях вирішення даної проблеми, бачиться у впровадженні технологій, які передбачають попередню термохімічну конверсію вихідного палива. Такі технології представляють собою сукупність високотемпературних тепло-технологічних процесів фізико-хімічного перетворення органіки палива в нові газоподібні, рідкі та тверді енергетичні продукти.

Перевагою процесів термохімічної конверсії є:

- можливість піддавати конверсії будь – яке паливо, незалежно від його хімічного складу, вологості, складу золи, домішок сірки, фракційності та ін.;



- можливість отримання нового палива, яке можна використовувати в існуючих енергетичних установках без їх суттєвої реконструкції;
- можливість масштабування і забезпечення горючим газом, як великих підприємств чи населених пунктів, так і невеликих автономних енергетичних і хімічних об'єктів.

Основний матеріал. Розроблений в Інституті технічної теплофізики НАН України двоступеневий спосіб спалювання твердого палива [1] був вихідною базою для розробки процесу термохімічної конверсії дрібнофракційного твердого палива в горючий газ, у пристрої з паливом в гравітаційно затиснутому шарі з поперечним продуванням

Принципова схема такого пристрою приведена на рисунку 1 де: 1 – нижня частина (камера газифікації); 2 – шар палива; 3 – повітряний патрубок; 4 – пористий циліндр (високотемпературна кераміка); 5 – перфорована центральна труба; 6 – зольник; 7 – верхня частина (камера піролізу); 8 – шнековий живильник; 9 – вихідний патрубок.

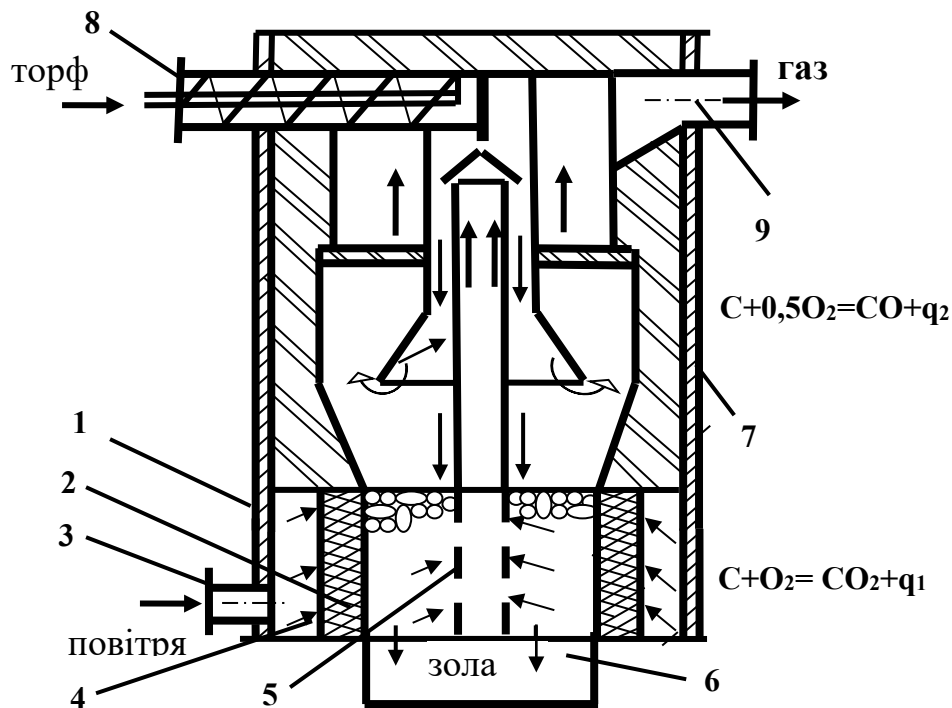


Рисунок 1 - Принципова схема пристрою для термохімічної конверсії дрібнофракційного твердого палива в горючий газ

В нижній частині пристрою 1, крупні частинки палива, які не можуть транспортуватися газовим потоком, утворюють щільний шар 2, де відбувається його повітряна газифікація (виділення летких та повне окислення коксового залишку). Дуття (повітря) подається через патрубок 3 і пористий циліндр 4, в стехіометричному співвідношенні, щоб газ, які утворюються в шарі, містили лише діоксид вуглецю, азот, водяну пару і метан, а твердий вуглець коксового взаємодіяв з киснем згідно реакції (1) до CO_2 .



де q_1 – тепловий ефект реакції.



Утворені високотемпературні гази, через перфоровану трубу 5, розміщену по осі пристрою, надходять у верхню його частину 7, де повертають до периферії пристрою, а потім рухаються догори, до вихідного патрубку 9. Газовий потік, відразу після виходу з труби, змішується з вільно падаючими частинками вихідного палива, що подається шнековим живильником 8. Тобто, суміш летких і інших продуктів газифікації коксового залишку, використовується як високотемпературний газовий теплоносіє і транспортуєчий агент.

При цьому, відбувається розігрів палива до температури піролізу, з виділенням летких і коксового залишку, окислення якого відбувається по реакції (2), за рахунок зв'язаного кисню, який міститься у вихідному паливі.



де q_2 – тепловий ефект реакції.

Для спрощення подальших розрахунків приймається, що леткі повністю складаються з метану. Крім того, в метан переходить і весь водень вихідного палива, а в залежності від елементарного складу вихідного палива, надлишковим реагентом може бути як кисень, так і вуглець. Наприклад, для типового середнього складу горючої маси торфу (57% C^r , 6,0% H^r , 34,5% O^r , 2% N^u , 0,5% $S^r_{л}$ [2]) дефіцитним компонентом є кисень. Внаслідок цього, продуктами часткового окислення твердого вуглецю коксового залишку, будуть: діоксид і оксид вуглецю, азот, водяна пара, метан, а також, або кисень, або дрібні розігріті частинки вуглецю.

Крім розігріву палива, відбувається його сепарація, коли великі і розігріті частинки (більше 1мм), які не можуть транспортуватися газовим потоком, випадають на поверхню щільного шару, в нижню частину пристрою. Дрібні ж частинки (менше 1мм), які пройшли і які не пройшли стадію термічної деструкції, разом з іншими продуктами газифікації, через вихідний патрубок 9, транспортується в топку існуючої теплоенергетичної установки, для спалювання. Враховуючи високу реакційну спроможність розжарених коксових частинок, швидкість їх спалювання майже не відрізняється від швидкості спалювання проектного палива.

Сепарація потоку палива, також дозволяє вирішити важливу особливість самого процесу конверсії твердого палива, яка полягає в різній швидкості переходу складових його горючої маси в газ. Так наприклад, в роботі[3] зазначається, що при конверсії фрезерного торфу, на стадію виходу летких (їх в торфі 70%) витрачається біля 10%, від всього часу процесу. Решта ж часу, припадає на другу стадію - газифікацію коксового залишку до золи, яка виноситься газовим потоком у верхню частину пристрою, При цьому, відбувається очищення поверхні частинок коксу від золи, що призводить до підвищення його реакційної спроможності та інтенсифікації процесу.

Метою роботи є розробка математичної моделі і програми інженерних розрахунків робочого процесу термохімічної конверсії дрібнофракційного твердого палива в горючий газ в запропонованому пристрої для аналітичного визначення і оптимізації основних його технологічних параметрів. що дозволить отримати вихідні дані для подальших розрахунків і конструкторської



розробки таких пристроїв.

Основні положення математичної моделі робочого процесу термохімічної конверсії дрібнофракційного твердого палива, в запропонованому пристрої, розглянуто в роботі [4].

На прикладі фрезерного торфу, в моделі були закладені наступні передумови:

1. При нагріванні частинок торфу відбувається сушка і видалення летких продуктів, що в часі складає біля 10%, а решту часу займає вигорання коксового залишку.

2. Термохімічна конверсія фрезерного торфу здійснюється в потоці високотемпературного газового теплоносія - суміші летких і продуктів газифікації коксового залишку.

3. В пристрої відбувається сепарація частинок торфу, коли частинки які не можуть транспортуватися газовим потоком, випадають на поверхню щільного шару, через який продувається окиснювач (повітря), а дрібні розігріті частинки виносяться газовим потоком до вихідного патрубку.

4. Час перебування дрібних частинок у високотемпературному газовому потоці, в межах пристрою, достатній для швидкого їх нагрівання до температури деструкції і виділення вологи та летких продуктів.

Для перевірки цих передумов, з використанням відомого рівняння нагріву частинок [5], нами були проведені розрахунки теплообміну частинок торфу в потоці високотемпературного газу:

$$\frac{dT_p}{d\tau} = \Theta(T_g - T_p); \quad \Theta = \frac{6Nu\lambda_g}{\delta^2 c_p \rho_p u_p} \quad (3)$$

де T – температура; τ – час перебування; c , ρ , u – питома теплоємність, густина і швидкість; λ – коефіцієнт теплопровідності; δ – діаметр частинки; Nu – число Нуссельта ($Nu = 2 + 0,6Re^{0,5}$); Re – число Рейнольдса; g , p – індекси, що відносяться відповідно до газу і частинок.

Для спрощення розрахунків, приймаємо $T_g = \text{const}$ і $\Theta = \text{const}$, тоді рішення рівняння (3) приймає вигляд:

$$(T) = T_g - (T_g - T_{p0}) \exp(-\Theta\tau) \quad (4)$$

де T_{p0} - початкова температура частинки.

Деякі результати проведених розрахунків приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати розрахунку прогріву частинок торфу

τ, c	0,5		1		2		3		5	
$T, ^\circ C$ δ, mm	600	800	600	800	600	800	600	800	600	800
1	429	572	552	735	596	795				
2	242	322	386	545	524	699	573	764		
3	165	211	283	377	433	578	512	672	575	767

Результати розрахунків показують, що нагрів дрібних частинок відбувається достатньо швидко, що і підтверджує правомірність припущень.



Визначення аеродинаміки газового потоку ($V_g = 0,191 \text{ м}^3/\text{с}$, при температурі T_g) зводилось до оцінки його транспортуючої здатності, в різних перерізах пристрою. Перш за все, приймаючи питому густину коксового залишку $\rho_p = 800 \text{ кг/м}^3$, по формулам рекомендованим в [6], були визначені швидкості витання частинок різного розміру, з врахуванням їх температури T_g і без зменшення розмірів частинок в потоці. Розраховані значення швидкості витання частинок розміром від 1мм до 5мм приведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Розрахункові дані швидкості витання частинок торфу

δ , мм	1	2	3	5
V , м/с	4,05	8,1	12,2	19,5
Re	36,5	146	328	883

Результати розрахунків показують, що для того щоб, наприклад, частинки $\delta = 2\text{мм}$ і менше могли транспортуватися газовим потоком, його швидкість, в самому вузькому перерізі верхньої частини пристрою, повинна становити $V_2 = 8\text{м/с}$, а для частинок $\delta = 1\text{мм}$ - $V_3 = 4\text{м/с}$, при площі цього перерізу, відповідно, повинна становити:

$$F_2 = V_g^o / V_2 = 0,024 \text{ м}^2, F_3 = V_g^o / V_3 = 0,048 \text{ м}^2 \quad (5)$$

Тоді швидкість газу, в перфорованій центральній трубі, буде становити біля 3м/с. А враховуючи, що в потік газу можуть потрапити лише дрібні частинки золи, то можна зробити висновок про достатню його транспортуючу здатність, при умові дотримання визначених перерізів основних конструктивних елементів пристрою.

Особлива увага була приділена розподіленню газових потоків, що утворюються в нижній частині пристрою. Важливою особливістю пристрою є те, що дугтя (повітря), в шар палива, подається від периферії до центру (поперечний спосіб газифікації), через пористий циліндр 4, а продукти газифікації, виводяться з шару через центральну перфоровану трубу 5. При цьому, припускається, що фільтрація газу до поверхні є мінімальною.

Нижче приведений приклад перевірки цього припущення, при умові випадання 5% вихідного палива, в нижню частину пристрою. В цьому випадку, при витратах повітря $G_a = 0,00863 \text{ кг/с}$, продукти повного окислення твердого вуглецю коксового залишку, будуть містити двооксид вуглецю – ($G_{CO_2} = 0,00273 \text{ кг/с}$) і азот ($G_{N_2} = 0,00664 \text{ кг/с}$), а загальні витрати високотемпературного газу, що виходить з нижньої частини пристрою, складуть:

$$G_g = G_{N_2} + G_{CO_2} = 0,00937 \text{ кг/с} \quad (6)$$

Припустимо, що доля газу, що фільтрується через шар палива до поверхні, становить $\gamma = 0,2$, тобто, $G_f = G_g \gamma = 0,00187 \text{ кг/с}$. При поперечному перерізі затиснутого шару палива:

$$F = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) = \frac{3,14}{4} (0,35^2 - 0,1^2) = 0,0885 \text{ м}^2 \quad (7)$$

швидкість його фільтрації (\bar{V}) складе:



$$\bar{V} = \frac{G_f}{F\rho_g} = 0,067 \text{ м/с} \quad (8)$$

З врахуванням температури газу ($T_g = 549^\circ\text{C}$), розрахованій по формулі (3) при: діаметрі частинок $\delta = 2\text{мм}$, питомій густині $\rho_g = 0,317\text{кг/м}^3$, в'язкості $\eta_g = 3,5 \cdot 10^{-5}\text{Па}\cdot\text{с}$ і порозності шару $\varepsilon = 0,5$, по формулі Ергуна [7,8] знаходимо втрати тиску по висоті шару палива:

$$\frac{\Delta p}{H} = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2 \eta_g}{\varepsilon^3 \delta^2} + 1,75 \frac{1-\varepsilon \rho_g v^2}{\varepsilon^3 \delta} = 181 \text{ Па/м} \quad (9)$$

Як видно, при висоті шару (від місця введення основної кількості повітря до верхньої границі шару) $H = 0,77\text{м}$, його опір буде становити: $\Delta p = 140 \text{ Па}$.

З іншого боку, при витратах газу ($G_g(1-\gamma) = 0,0075 \text{ кг/с}$), через центральну трубу (діаметром $D_3 = 0,09\text{м}$ і довжиною $L = 0,97 \text{ м}$), його швидкість буде $v = 2,27\text{м/с}$. При числі Рейнольдса $Re_1 = V_1 D_3 \rho_g / \eta_g = 1820$ і при коефіцієнті опору $\lambda = 64/Re_1 = 0,035$, втрати тиску будуть становити :

$$\Delta p_1 = \frac{L \lambda \rho_g v_1^2}{D_3 2} \approx 0,3 \text{ Па} \quad (10)$$

З розрахунків видно, що навіть з урахуванням всіх місцевих опорів, величина (Δp) на два порядки перевищує (Δp_1). Тобто кількістю газу, що може фільтруватися через шар до поверхні, цілком можна знехтувати.

Таким чином, проведені розрахунки вказують на правомірність наших припущень і працездатність вибраної схеми пристрою, а також дозволили визначити ряд вихідних даних, необхідних для подальших аналітичних досліджень самого термохімічного процесу.

Нижче приведено послідовність розрахункового процесу і приклад його реалізації.

Для вибраної схеми термохімічної конверсії фрезерного торфу, рівняння теплового балансу пристрою має вигляд

$$Q_{in} = Q_{pc} + Q_{pa} + Q_{x1} + Q_{x2} = Q_{vc} + Q_{va} + Q_{ev} + Q_{en} = Q_{out} \quad (11)$$

де: Q_{pc} , Q_{pa} – фізичне тепло торфу і дуття на вході в пристрій; Q_{x1} , Q_{x2} – тепло хімічних реакцій (1) і (2); Q_{vc} , Q_{va} – фізичне тепло торфу і дуття на виході з пристрою; Q_{ev} – витрати тепла на випаровування води; Q_{en} – втрати теплоти в навколишнє середовище; Q_{in} , Q_{out} – загальний прихід і витрати тепла.

Величина Q_{en} розраховується як

$$Q_{en} = \beta Q_{in} \quad (12)$$

де β - коефіцієнт втрат тепла в навколишнє середовище.

Розрахунки правої частини (11) виконані для семи значень температури T_g на виході пристрою і п'яти значень коефіцієнту β . Крім того, для кожного значення β знаходиться значення температури (T_e), при якому забезпечується виконання балансового рівняння (11).

Вихідні дані які задаються:

а) дійсні теплоємності O_2 , CO_2 , CO , N_2 , H_2O , CH_4 і повітря (c_i), при декількох значень температури T_a ;

б) дійсні теплоємності золи і коксу, без їх залежності від температури; ;



- в) склад робочої маси палива (волога, зола, Н, О, N, С) і його витрати;
- г) склад дуття (окиснювача) і його витрати;
- д) розрахункові значення T_g і β (втрати тепла в довкілля);
- е) теплопровідність і динамічна в'язкість повітря для декількох значень температури;
- ж) початкові температури торфу T_{co} і дуття;
- з) масова доля великих частинок торфу (α) яка випадає з потоку і формує щільний шар палива, а також інші необхідні допоміжні величини;
- і) розміри пристрою (діаметр і висота реакційної зони).

Послідовність розрахунків

Спочатку розраховуються значення Q_{pc} і Q_{pa} в (11), необхідні витрати кисню для реакції (1), витрати дуття G_a і тепло реакції (1). Потім визначається який з реагентів в (2) є дефіцитним, і виконуються розрахунки матеріального балансу (тобто, витрат компонентів на виході з пристрою).

Далі визначаються витрати тепла на випаровування вологи, тепло реакції (2), для кожної температури T_g – статті Q_{vc} , і Q_{va} , а для кожного β - Q_{en} згідно (12). При розрахунку фізичного тепла речовин необхідні ентальпії знаходяться числовим інтегруванням функції $c_i(T_a)$.

Заключним етапом розрахунків є визначення T_e для кожного β при допомозі лінійної інтерполяції та інтегральних характеристик процесу.

Друк результатів розрахунків

Спочатку передбачений вихід на друк частини вихідної інформації G_c в кг/с, T_{co} в °С, α і склад робочої маси торфу в масових долях, а також розрахованих витрат дуття G_a в кг/с. Далі друкуються приходні статті теплового балансу і значення $Q_{in,v}$ в кДж/с.

Потім на друк виводиться таблиця, яка складається з трьох рядків і семи колонок (1- й рядок - T_g в °С, 2-й і 3-й рядки - Q_{vc} , і Q_{va} , що відповідають цим температурам, таблиця $Q_{en}(\beta)$ (два рядки) і значення Q_{ev} (усі Q_j в кДж/с).

Наступний блок отриманої інформації представляє собою таблицю з дев'яти рядків і шести колонок. В рядках 2 – 8 і колонках 2 – 6 приводяться значення Q_{out} (кДж/с), що відповідають семи значенням температури T_g (вони приведені в 1 – й колонці) і п'яти значень коефіцієнту β (приведених в 1- му рядку); в останньому рядку друкуються значення T_e для різних β .

Після цього друкуються параметри матеріального балансу процесу – витрат газових компонентів і твердого вуглецю в кг/с на виході з пристрою.

Заключний блок містить інформацію про вихід газу (в $\text{нм}^3/\text{год}$) і енергії, яка міститься в продуктах газифікації на виході з пристрою. Тут друкуються 10 рядків, по два для кожного значення β . В непарних рядках приводяться значення фізичного тепла газу, твердого вуглецю і золи, хімічної енергії газу і вуглецю, та суми цих величин в кДж/год. В парних рядках – приводяться ті ж параметри, але віднесені до 1нм^3 газу. Всі величини які виводяться на друк мають відповідний напис.

Результати досліджень. Аналітичні дослідження процесу проводились в широкому діапазоні параметрів:

- температура процесу, 400 – 1100 °С;



- вологість торфу, 20 – 50 %;
- кількість вуглецю, яка випадає в нижню частину пристрою, 5 -20%;
- доля втрат тепла в навколишнє середовище 2 – 10%.

Приклад результатів розрахунків пристрою, з продуктивністю 35 кг/год фрезерного торфу, при $W^p = 30\%$, $A^p = 12.6\%$, $C = 33,4\%$, $H = 3,5\%$, $O = 19,1\%$, представлено в таблиці 3.

Результати розрахунків пристрою при збільшенні його продуктивності до 234 кг/год, приведені нижче. Так, на рисунку 2 приведена залежність кількості теплоти, необхідної для термохімічної конверсії фрезерного торфу, від його вологості і температури процесу.

Розрахунки показують, що для ведення процесу піролізу торфу (верхня частина пристрою) необхідна температура на рівні 450...500°C, а для його повної газифікації (нижня частина пристрою) в межах 900...1100°C. Гранична температура газифікації обмежується природою торфу (верховий, перехідний, низинний) і температурою плавкості його золи (1165...1250°C).

Необхідна кількість тепла, для ведення процесу, отримується за рахунок тепла, яке виділяється з коксового залишку, в нижній частині пристрою, при його повному окисленні вільним (повітря), чи зв'язаним (CO_2 , H_2O) киснем. Ця кількість тепла отримується за рівноважної температури процесу, що досягається шляхом подачі стехіометричної кількості дуття (рисунок 3), необхідної для повної газифікації твердого вуглецю до золи.

Таблиця 3 – Розрахункові дані процесу термохімічної конверсії фрезерного торфу, в пристрої з шаром палива, який затиснутий гравітаційно і продувається поперечно

Найменування	Масова доля палива яка випадає в нижню частину пристрою			
	5 %	10 %	15 %	20 %
Фізичне тепло вуглецю, кДж /с	0,274	0,274	0,274	0,274
Фізичне тепло повітря, кДж /с	0,032	0,064	0,096	0,128
Тепло реакції (1) Q_{x1} , кДж /с	3,671	7,343	11,016	14,687
Тепло реакції (2) Q_{x2} , кДж /с	12,893	12,893	12,893	12,893
Загальна кількість тепла, кДж /с	16,872	20,576	24,280	27,984
Витрати торфу, кг/год	35	35	35	35
Витрати повітря, кг/год	4,65	9,3	13,95	18,6
Температура при якій задовольняється баланс, при втратах тепла β , %				
2	574,93	708,04	819,27	914,50
3	566,17	698,7	809,27	903,94
5	548,86	670,54	789,01	882,4
7	531,15	660,38	768,49	860,76
10	504,88	631,63	737,72	828,31
Витрати газових компонентів, 10^{-4} кг/с				
CO_2	4,1	8,2	12,2	16,3
CO	32,5	32,5	32,5	32,5
N_2	11,3	21,3	31,2	41,1
H_2O	29,2	29,2	29,2	29,2
CH_4	13,6	13,6	13,6	13,6
C	7,2	6,1	5	3,8

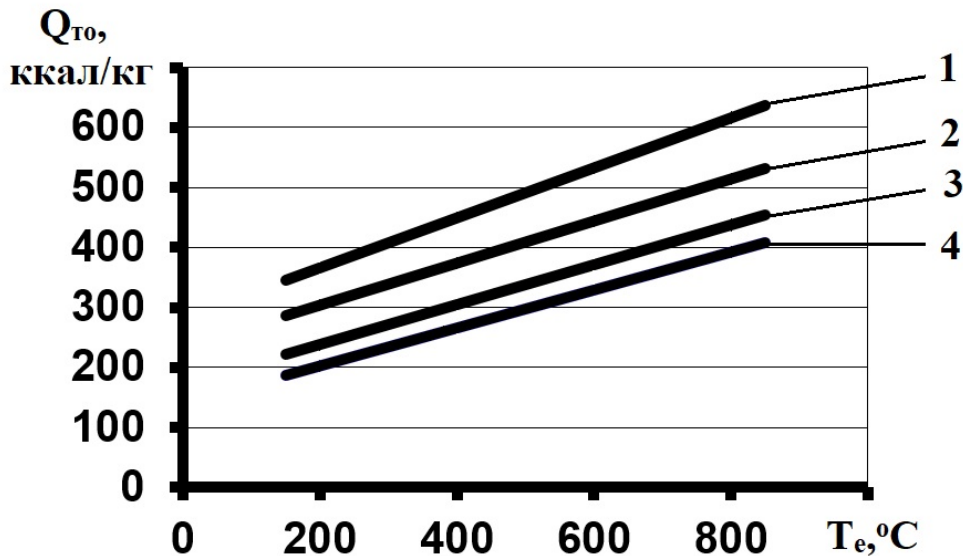


Рисунок 2 - Кількість теплоти яка необхідна для термохімічної конверсії фрезерного торфу різної вологості W^p , % :
 1 – 50; 2 – 40; 3 – 30; 4 – 20.

Характер зміни рівноважної температури процесу в залежності від кількості вуглецю, що випадає в нижню частину пристрою і вологості торфу, ілюструється графіками на рисунку 4. Розрахунки зроблені з врахуванням втрат теплоти в навколишнє середовище на рівні 5%.

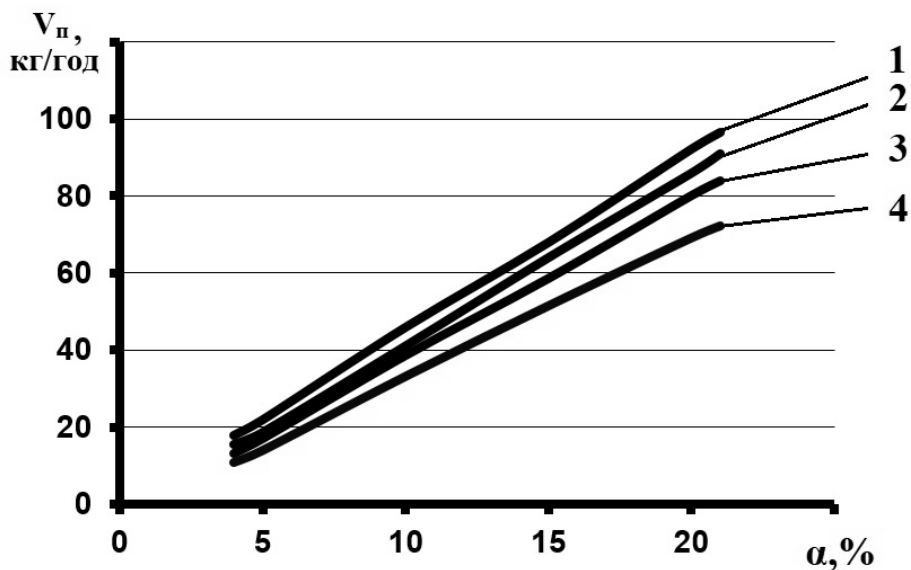


Рисунок 3 - Стехіометрична кількість дуття для досягнення рівноважної температури процесу, при різній вологості торфу W^p , % :
 1 – 50; 2 – 40; 3 – 30; 4 – 20.

Рівень рівноважної температури процесу, в значній мірі впливає на характеристики отриманого газу в пристрої (таблиця 4). Як видно, кількість тепла, яке виділяється в нижній частині пристрою (при $\alpha = 20\%$), цілком достатня для термохімічної конверсії фрезерного торфу з вологістю 40%.

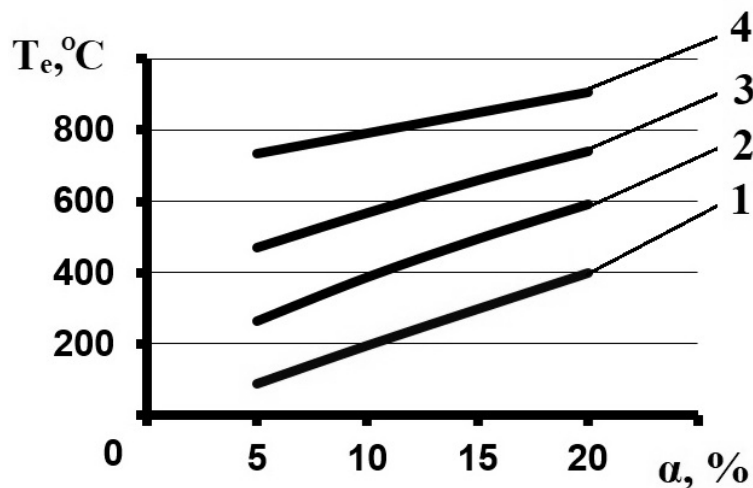


Рисунок 4 - Рівноважна температура процесу в залежності від вологості торфу W^p , %: : 1 – 50; 2 – 40; 3 – 30; 4 – 20

Таблиця 4 - Характеристика газу термохімічної конверсії фрезерного торфу, в пристрої продуктивністю 234 кг/год (при втратах тепла 5%)

T_e , °C	CO ₂ , кг/год	CO, кг/год	N ₂ , кг/год	H ₂ O, кг/год	CH ₄ , кг/год	C, кг/год	V _г , нм ³ /год	Q ^p _н , МДж/нм ³	α, %	W ^p , %
735,2	4,525	89,68	14,76	46,8	36,5	22,34	200,43	18,766	5	20
792,5	10,392	89,68	29,05	46,8	36,5	20,74	215,23	17,466	10	
907,5	22,124	89,68	57,61	46,8	36,5	17,57	244,83	15,336	20	
470,7	5,27	78,21	16,11	70,2	32,76	18,63	217,03	14,949	5	30
568,4	11,885	78,21	32,21	70,2	32,76	16,82	233,71	13,872	10	
742,5	25,11	78,21	64,41	70,2	32,76	13,22	267,08	12,120	20	
265	5,958	67,57	17,32	93,6	27,14	15,98	231,5	11,570	5	40
388,4	13,26	67,57	35,1	93,6	27,14	13,99	249,87	10,713	10	
592,8	27,85	67,57	70,6	93,6	27,14	10,00	286,70	9,317	20	
87,0	6,7	56,1	18,66	117	23,4	12,27	248,1	8,718	5	50
195,2	13,98	56,1	36,4	117	23,4	10,28	266,4	8,107	10	
401,3	27,97	56,1	70,44	117	23,4	6,47	301,7	7,142	20	

Загальна картина характеристик газу отриманого при термохімічній конверсії фрезерного торфу різної вологості, в пристрої з шаром палива, який затиснутий гравітаційно і продувається поперечно, ілюструється графіками приведеними на рисунку 5.

Результати розрахунків показують, що при термохімічній конверсії добре висушеного торфу, може бути отриманий горючий газ, в кількості до 300 нм³/год і з теплотою згоряння від 15 до 18 МДж/нм³, що дозволяє його використовувати з високою ефективністю в існуючих теплоенергетичних установках, працюючих на природному газі.

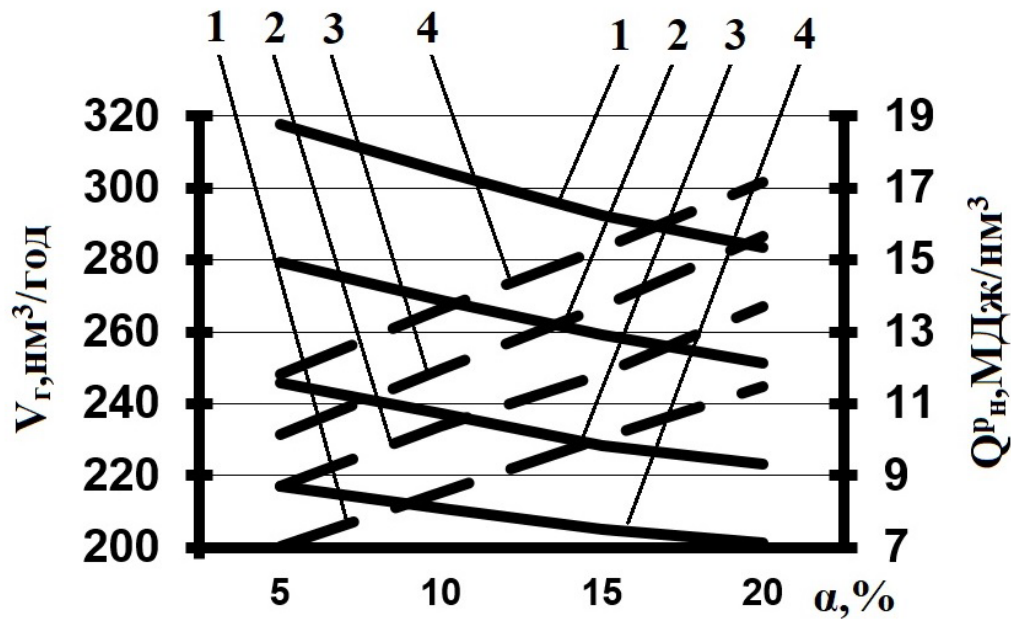


Рисунок 5 - Характеристики газу термохімічної конверсії фрезерного торфу різної вологості W^p , %: 1- 20; 2 – 30; 3 – 40; 4 - 50

де: ----- - тепло згоряння газу; - - - - вихід газу.

Висновки

Була розглянута необхідність і проблеми використання низькосортних твердих палив в паливному балансі енергетичного комплексу країни.

Була розроблена математична модель процесу термохімічної конверсії дрібнофракційного палива і програма його розрахунку для пристрою з шаром палива, який затиснутий гравітаційно і продувається поперечно, що дозволило визначити і оптимізувати його основні технологічні та конструктивні параметри.

Так, були отримані вихідні дані основних технологічних параметрів процесу термохімічної конверсії фрезерного торфу, в пристрої продуктивністю до $300 \text{ nm}^3/\text{год}$ горючого газу, з теплою згоряння від 15 до $18 \text{ MДж}/\text{nm}^3$.

Проведені дослідження вказують на перспективність розробленої технології, що обумовлено високою продуктивністю процесу. Крім того, можливо переробляти будь-які види палива без обмежень по температурі шлакування і здатності до спікання, вологості та зольності вихідного палива. Важливим також є те, що отриманий горючий газ можливо використовувати в існуючих енергетичних установках, пристосованих для спалювання природного газу, без їх суттєвої реконструкції.

Крім того, поряд з економією традиційних палив, впровадження розробленого пристрою в теплоенергетику, дозволить також зменшити теплові і шкідливі викиди в навколишнє середовище.

Література

1. Патент UA Україна, МПК F23B1/14. Спосіб двоступеневого спалювання твердого палива [Текст] / Носач В.Г., Скляренко Є.В., Родіонов В.І.;- №2002042875; заявл.: 03.04.2002; публ.: 16.12.2002, Бюл.№12.



2. Толубинский В.И., Кочережко А.Н. Механизация сжигания твердых топлив в промышленных котельных установках. Киев. Изд. Академии Наук Украинской ССР. 1961. -111с.

3. Померанцев В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. и др. Основы практической теории горения. Л.: Энергоатомиздат. 1986. – 312с.

4. V.G.Nosach, A.A. Shraiber, E.V. Sklyarenko. Mathematical modeling of heat and mass transfer in a concentrated disperse system with chemical reactions. 10 - th workshop on two – phase flow predictions. Merseburg, April 9 – 12, 2002.

5. Шрайбер А.А., Глянченко В.Д. Термическая обработка полидисперсных материалов в двухфазном потоке. – Киев: Наук.Думка, 1976. -165 с.

6. Бабуха Г.Л., Рабинович М.И. Механика и теплообмен потоков полидисперсной газозвеси. – Киев: Наук. Думка, 1969. – 218 с.

7. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1976. – 888с.

8. Гольдштик М.А. Процессы переноса в зернистом слое. – Новосибирск, 1984. – 163с.

Abstract. *In the context of a shortage of energy resources and a constant increase in their prices, increasing the efficiency of their use and comprehensive savings, in particular through the use of low-grade fuels, is a priority area for the functioning of the country's fuel and energy complex.*

The main problems of using such fuels, for example, milled peat, are low heat of combustion, high humidity and ash content, as well as its wide and small-fraction composition.

This article proposes a schematic diagram of a device for the thermochemical conversion of fine-fraction solid fuel into combustible gas, which allows it to be used in existing power units adapted to burn natural gas.

Preliminary analytical studies of this process were carried out with the help of a developed mathematical model and a program for calculating its main characteristics. The sequence of obtaining the calculation results of this process is given on the example of milled peat.

The results of calculations of the main technological parameters of the process of thermochemical conversion of milled peat for a device with a capacity of up to 300 nm³/h of combustible gas with a heat of combustion from 15 to 18 MJ/nm³ have been obtained.

Key words: *milling peat, thermochemical conversion, mathematical model.*

*Стаття підготовлена в рамках наукової роботи №: 1.7.1.896
"Розвиток методів та засобів підвищення екологоенергетичної
ефективності в газотурбобудуванні та теплоенергетиці"*

Стаття відправлена: 19.01.2024 р.



УДК 330.488:640

DEVELOPMENT OF A SAFETY MANAGEMENT SYSTEM FOR DIET PRODUCTION ON THE BASIS OF HACCP PRINCIPLES IN RESTAURANT ESTABLISHMENTS

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕЧНІСТЮ ВИРОБНИЦТВА ДІЄТИЧНОГО ХАРЧУВАННЯ ЗГІДНО ПРИНЦИПІВ НАССР У ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

Koretska Iryna / Корецька І.Л.<https://orcid.org/0000-0001-5680-5789>*PhD in Technical Sciences***Maslikov Maksym / Масліков М.М**<https://orcid.org/0000-0002-4528-1155>*PhD in Technical Sciences***Kocherha Yroslav / Кочерга Я.В.***magistrant/ graduate student***Bondarenko Oleksandra / Бондаренко О.В.***magistrant/ graduate student**Національний університет харчових технологій, Київ, Володимирська, 68, 01601**National University of Food Technologies, 68, Volodymyrska, Kyiv, 01601*

Анотація. В роботі представлено розгляд значення системи НАССР та її принципів щодо організації виробництва дієтичного харчування. Проведено аналіз небезпек і поетапного контролю за усіма етапами приготування дієтичних страв і продуктів харчування, починаючи від прийому продуктів на склад і до моменту подачі готової страви. Запропоновано схему моніторингу основних етапів та визначено контрольні критичні точки для контролю технологічних параметрів на основних етапах приготування дієтичної продукції. Проведено аналіз етапів та небезпечних чинників, запропоновано коригувальні дії. Це спосіб, який дає можливість впевнитись, що небезпечні фактори, які можуть вплинути на харчову безпеку, постійно та належно контролюються.

Ключові слова: дієтичне харчування, збалансоване харчування, добовий раціон, енергетична цінність.

Вступ.

Головна мета організації дієтичного харчування, це вторинна профілактика можливих рецидивів і прогресування хронічних захворювань.

Окрім впровадження системи НАССР, суб'єкт господарювання, який надає послуги дієтичного харчування, має бути внесений до Державного реєстру потужностей операторів ринку (або, у разі необхідності, отримати експлуатаційний дозвіл). Оператор ринку повинен мати можливість встановити інших операторів ринку, які постачають йому харчові продукти, тобто забезпечити простежуваність.

Контроль роботи закладу ресторанного господарства за допомогою системи аналізу ризиків та контролю у критичних точках «Hazard Analysis Critical Control Points» (НАССР) – важливий інструмент для контролю безпеки харчування. Адміністрація закладів ресторанного господарства зобов'язана впровадити та постійно підтримувати функціонування принципів системи НАССР на харчоблоках [1, 3, 6, 15].



Мета дослідження

Проаналізувати стан, можливості та перспективи впровадження системи НАССР на підприємствах ресторанного господарства України, що спеціалізуються на приготування дієтичних страв і продуктів харчування, починаючи від прийому продуктів на склад і до моменту подачі готової страви.

Матеріали і досліджень

В роботі було використано теоретичний аналіз джерел з даної тематики. Визначення критичних контрольних точок та подальше розроблення коригувальних дій виконувалось за принципом «Дерева рішень» НАССР, та циклу Шухарта-Демінга (модель безперервного поліпшення процесів) PDCA (Plan-Do-Check-Act) [6-7] та ризик-орієнтованого мислення [4, 11, 17].

Результати та обговорення

Принципи використання дієтичного ефекту нових страв розроблені на основі концепції збалансованого харчування, закономірностей здорової асиміляції нутрієнтів та у разі хвороби [1, 10, 8, 14].

Ці принципи базуються на адаптації хімічного складу та енергетичної цінності дієти, технології виробництва страв та режиму харчування до порушених хворобою ферментних систем [9].

Головною при цьому є фізіологічна потреба людини у харчових речовинах та енергії, яка відповідає статі, віку, вазі тіла, рівню енерговитрат, клімато-географічним умовам проживання, а також особистим звичкам та національним особливостям харчування.

Таким чином, у дієтично-лікувальних дієтах необхідно вносити корективи стосовно збалансованості харчових речовин, рекомендовані для здорових людей. У деяких дієтах має місце обмеження білка, але воно має певні межі, бо раціон повинен забезпечити мінімальну потребу у незамінних амінокислотах, щоб не виникла білкова недостатність. Крім того, раціон має задовольняти потребу хворого в енергії за рахунок вуглеводів і жирів, а також у вітамінах, мінеральних речовинах, незамінних жирних кислотах та харчових волокнах [8, 15].

У разі розвитку деяких захворювань необхідно компенсувати харчові речовини, які втрачаються організмом. У цих випадках вміст деяких нутрієнтів у раціоні має бути вищим за фізіологічні норми.

Спосіб кулінарного оброблення продуктів і режим харчування дієти мають відповідати стану процесів травлення і всмоктування продуктів. Ступінь їхнього змінення неоднаковий при різних захворюваннях. Особливості захворювання є основою для індивідуалізації дієтичної терапії та скерованого збагачення дієти незамінними чинниками харчування (вітаміни, мікроелементи, поліненасичені жирні кислоти, незамінні амінокислоти та ін.).

Крім того, до складу більшості дієтичних раціонів включають біологічно активні добавки тваринного та рослинного походження, наприклад, харчові волокна, а також антидоти, які зв'язують та виводять із організму токсичні речовини, радіонукліди, продукти обміну речовин.

Приготування дієтичних страв сприяє втратам вітамінів, потреба в яких у хворих людей підвищена. Тому у пунктах приготування їжі у лікарнях,



санаторіях і профілакторіях обов'язкова додаткова вітамінізація готової їжі аскорбіновою кислотою – 80 мг на добу для дорослих – її рекомендують до перших або третіх страв обіду. Проте в організмі виявляють звичайно дефіцит не лише вітаміну С, а й інших вітамінів. Тому обґрунтовано рекомендації по необхідності заміни вибіркової С-вітамінізації їжі на щоденний прийом препаратів полівітамінів у фізіологічних дозах. За медичними показаннями можливо збільшити прийом полівітамінів, а окремі вітаміни призначати у фармакологічних дозах [17].

У дієтичному харчуванні слід враховувати місцевий і загальний вплив їжі на організм людини. У технології дієтичних страв слід додержуватися трьох видів щадіння: механічного, хімічного та термічного. Їжа повинна мати привабливий вигляд. Під час місцевої дії їжа впливає на органи чуття (зір, нюх, смак) і безпосередньо на травний канал.

Привабливий вигляд дієтичних страв, поліпшення їхнього смаку та аромату за допомогою дозволених пряних овочів, зелені, приправ, прянощів набувають особливого значення у дієтах з обмеженням набору продуктів, кухонної солі, переважанням відварених страв. Значні зсуви функцій органів травлення спричиняють зміну хімічних, механічних і температурних впливів їжі.

Чинним законодавством України передбачено, що у закладах для приготування дієтичних страв обов'язково має бути впроваджена система НАССР. Слід зазначити, що вона не гарантує безпечність харчування для хворих на целиакію [12].

Членами груп НАССР у закладах ресторанного господарства можуть бути: заступники директорів, шеф-кухарі та су-шеф кухарі, медичні сестри з дієтичного харчування чи інші фахові працівники закладів.

НАССР дає змогу організувати виробничі процеси так, щоб обладнання працювало правильно, а приміщення не становило загрози безпечності харчових продуктів. Недостатньо лише розробити документацію, потрібно налагодити процеси у такий спосіб, щоб їх описати та надати докази того, що ці процеси дозволяють випускати безпечну продукцію. Розроблення документів без підкріплення лабораторними дослідженнями чи контрольними заходами, спрямованими на процес, не забезпечує впровадження системи НАССР. Основні етапи технологічного контролю наведено на рис.1.

Важливо, щоб ця система дійсно працювала та була ефективною, а не була тільки на папері. Наявність на підприємстві активної системи управління безпечністю харчових продуктів НАССР – це надійне підтвердження того, що виробник забезпечує всі умови, які гарантують стабільний випуск якісної і безпечної продукції [11].

Сподіватися на те, що придбавши «сертифікат про впровадження НАССР», можна працювати без проблем, не варто. Наявність лише сертифіката не є панацеєю, тому що система має ефективно працювати на кожному етапі вироблення харчових продуктів. Ефективність впровадження такої системи постійно контролюється і перевіряється аудиторами Держпродспоживслужби України.

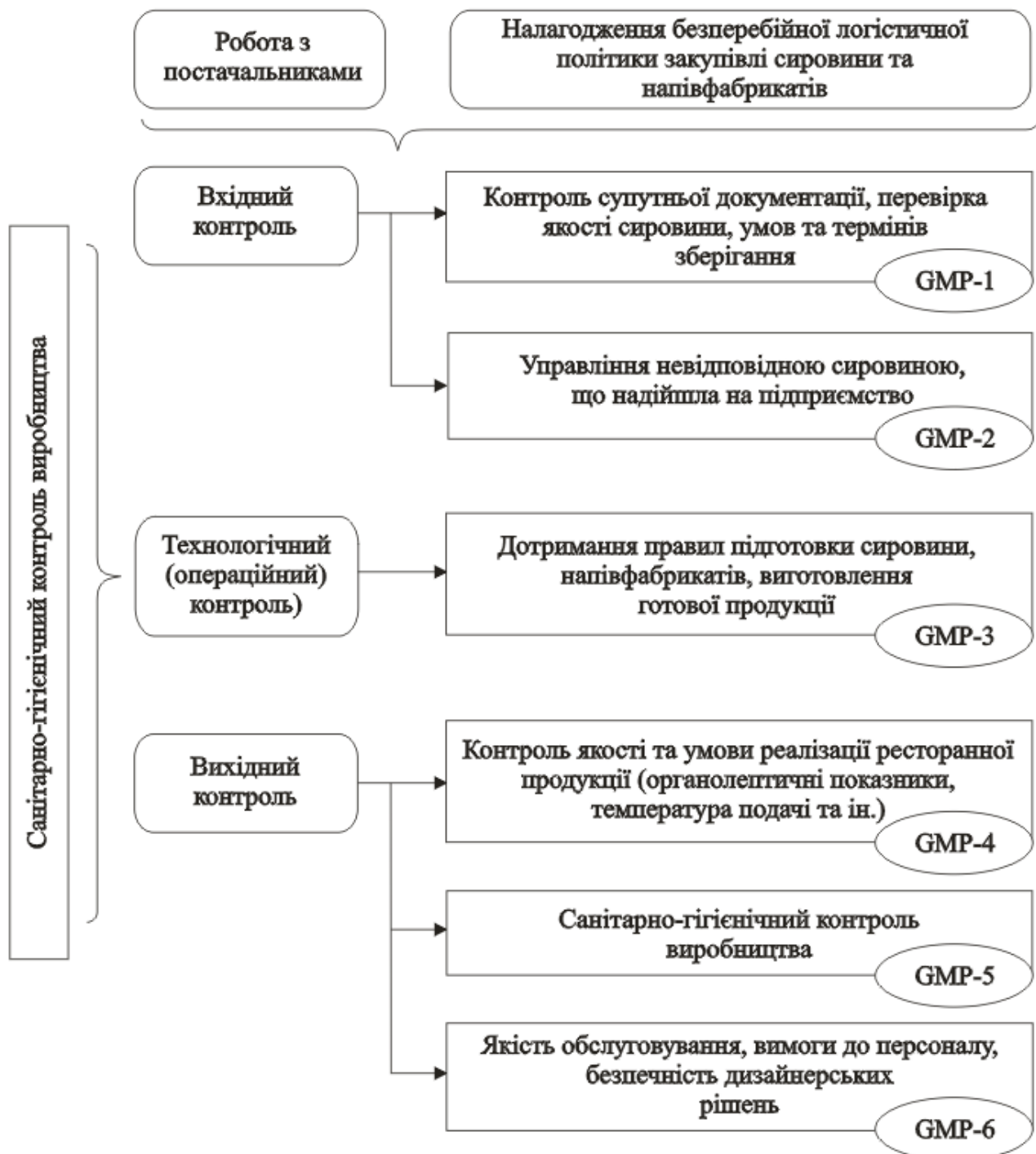


Рисунок 1 – Основні етапи контролю якості та безпеки продукції

Джерело – авторська розробка

Впровадження системи НАССР потрібно розпочинати з аналізу виробничих і допоміжних потоків. Їх необхідно організувати так, аби уникнути перехресного забруднення (забруднення харчових продуктів хімічними, біологічними чи фізичними небезпечними факторами через повітря, воду, людей, інші харчові продукти, допоміжні матеріали для переробки, предмети та матеріали, що контактують з харчовими продуктами). Послідовність виробничих процесів організують так, щоб забезпечити їхнє фізичне розділення або розділення в часі. Фізичне розділення виробничих процесів вимагає належної інфраструктури. Розділення виробничих процесів у часі



вимагає опис технологічних процесів та дотримання дисципліни персоналом [5].

Програми-передумови GMP (Good manufacturing practice) використовують для забезпечення контролю якості та безпечності ресторанної продукції. В них прописують мету, завдання, етапи контролю, коригувальні дії, необхідну документацію. Необхідно чітко визначити всі терміни, способи та небезпечні фактори в ресторані, а також мати кваліфікованих фахівців для оформлення даної документації. З цією метою в закладі ресторанного господарства створюють робочу групу НАССР, що має завчасно розробити коригувальні заходи для кожної критичної контрольної точки (ККТ), які негайно застосовують у випадку, коли моніторинг вказує на відхилення від критичних меж.

Підприємство, відповідно до вимог НАССР, повинно створити належні умови для зберігання: сировини, напівфабрикатів, готових харчових продуктів, допоміжних матеріалів для переробки харчових продуктів, предметів та матеріалів, що контактують з харчовими продуктами.

Термін зберігання – це період часу, протягом якого продукт зберігає свої якості і характеристики, встановлені і описані у відповідних нормативних актах (ДСТУ, ТУ України).

Також важливо дотримуватись умов зберігання та періодично проводити моніторинг проміжного зберігання сировини (табл. 1).

Таблиця 1 - Моніторинг виконання програми GMP.

Виконавець	Періодичність	Об'єкт контролю	Контрольовані параметри	Методи контролю
Завідувач виробництва, комірник	Кожне приймання на склад	Сировина і матеріали	Якісні показники та показники безпеки	Контроль вхідної документації, візуальний контроль
Завідувач виробництва	Кожна виробнича зміна	Проміжна продукція / контроль в процесі виробництва	Якісні показники, контроль технологічного процесу	Візуально, документування
Завідувач виробництва, кухар	Лабораторні дослідження, відслідковування скарг - постійно	Готова продукція	Якісні показники та показники безпеки	Візуальний контроль, скарги споживачів

Джерело – авторська розробка

Заборонено зберігати поруч:

- продукти, що мають різкий запах (наприклад, копчені вироби, прянощі) з продуктами, що легко поглинають запах (молоко та кисломолочна продукція, хліб, борошно);



- вологі продукти з сухими гігроскопічними (цукор, сіль, сухе молоко);
- сировину і готову продукцію.

Якісна продукція відповідно до визначених обсягів сировинних і продуктових запасів, необхідних для налагодженого виробничого процесу, надходить у виробничі цехи для подальшої обробки з метою приготування дієтичної продукції.

Важливим етапом розробки системи моніторингу виробництва харчової продукції є контроль технологічного процесу виготовлення харчової продукції (рис. 2).



Рисунок 2 - Основні елементи моніторингу виробництва харчової продукції

Джерело: [5].

В системі моніторингу вироблення харчової продукції слід враховувати вхідні та вихідні фактори. До керуючих факторів відносять послідовність технологічних операцій, обладнання, умови технологічного процесу.

Ризики за визначенням НАССР мають відношення до безпеки продукції. Також ризики, які входять до аналізу ризиків, повинні мати достатню ймовірність виникнення в процесі, що оцінюється, бути пов'язаними з продукцією, яка виготовляється та оцінюється для кожного її виду й виробничого процесу на підприємстві (табл. 2).



Таблиця 2 - Характеристика ризиків

Біологічні	Хімічні	Фізичні
Патогенні бактерії, віруси або паразити/протозоа (прості): кишкова паличка (<i>Escherichia coli</i>), лістерія моноцитогенна (<i>Listeria monocytogenes</i>), види сальмонели (<i>Salmonella</i>), золотистий стафілокок (<i>Staphylococcus aureus</i>).	Природні токсини (гострі: охратоксин, тріхотецин, зеараленон, афлатоксин - хронічні: афлатоксин, стеригматоцистин, патулін). Метали (мідь, кадмій, ртуть свинець). Залишкові домішки очищувальних/дезінфікуючих засобів. Залишкові домішки пестицидів. Алергени (яйця, молочні продукти). Довільні або токсичні хімікати (хімічні речовини для очищення обладнання, мастильні речовини, домішки для обробки води тощо).	Уламки скла, дерева, пластмаси, металу. Особисті речі (ювелірні вироби, ручки тощо).

Джерело: [7, 9].

Група розробки НАССР підтверджує, що:

- процедури вироблення харчових продуктів відповідають вимогам чинної законодавчо-нормативної бази;
- у процедурах НАССР враховані специфічні особливості потужності;
- процедури НАССР можуть виконуватися на практиці.

Всі наведені вище фактори мають бути підтвердженими документально.

Аналіз ризику полягає в оцінюванні ймовірності його виникнення й ваги його наслідків. Ризики, які розглядають під час аналізу ризиків, – це ті, які з високою ймовірністю можуть виникати в закладі ресторанного господарства. Усі інгредієнти, кожен етап процесу, а також зберігання готової продукції слід ретельно розглядати.

Робоча група з НАССР проводить аналіз ризиків і визначає належні заходи контролю з використанням двох окремих, але пов'язаних один з одним кроків, які називаються «визначення та оцінка ризиків». Визначення та оцінка ризику виконують три цілі:

- ризики визначаються на кожному етапі процесу та для кожного складника й матеріалу, що використовуються;
- ризики оцінюються з метою визначення їхньої значущості та ймовірності виникнення;
- аналіз служить підґрунтям для визначення заходів контролю (ККТ).

Критична контрольна точка (ККТ) – це технологічний етап виробництва харчових продуктів, на якому можна впровадити контроль і який є критичним для попередження виникнення небезпечних факторів або їх зменшення до прийняттого рівня. Іншими словами, якщо на певному етапі не застосувати контроль, з'явиться високий ризик виготовлення небезпечного продукту.



Таблиця 3 - Підсумкова таблиця плану НАССР

Найменування продукту								
Етап	Небезпечний чинник	Запропоновані регулювальні дії	№ ККТ	Критична гранична величина	Процедура моніторингу ККТ	Коригувальні дії	Документування (протоколи НАССР)	Відповідальна особа
Отримання та зберігання сировини	Біологічний	Перевірка сертифікатів якості на сировину. Виконання вимог персоналом, контроль процесу	ККТ 1	Не повинно бути патогенних мікроорганізмів	Протоколи перевірок, виробничі журнали (журнал коригувальних дій)	Вхідний контроль сировини Налагодження обладнання	Протоколи перевірок, виробничі журнали (журнал коригувальних дій)	Зав. виробництвом Комірник
Охолодження перед реалізацією страви	Біологічний	Постійний техогляд обладнання, перевірка температурних режимів. Дотримання температурного та часового режимів зберігання	ККТ 2	Не повинно бути патогенних мікроорганізмів	Протокол перевірок, журнал температур, журнал коригувальних дій	Ремонт та налагодження обладнання. Відбракування неякісних страв з перевищеним терміном зберігання	Протокол перевірок, журнал температур, журнал коригувальних дій	Зав. виробництвом

Джерело: розробка авторів



ККТ має три ознаки:

- є етапом технологічного процесу, а не програмою-передумовою;
- на цьому етапі мають бути заходи контролю небезпечного фактору;
- при порушенні на цьому етапі встановлених вимог чи технології

виробництва продукт буде небезпечним.

Для визначення ККТ застосовують етапи технологічного процесу, які становлять високий ризик відповідно до результатів застосування першого принципу НАССР «Аналіз небезпечних факторів». Для цього використовують професійне обґрунтування або «дерево рішень» [4, 16].

Контроль дієвості розробленої системи розглядають, аналізуючи підсумкову таблицю плану НАССР з ідентифікацією ККТ, складену за формою табл. 3. Виділено дві основні ККТ: на етапі отримання та зберігання сировини (ККТ 1) та на етапі охолодження готової продукції, де потрібно враховувати температурний режим та тривалість зберігання (ККТ 2).

Основними заходами щодо розроблення та впровадження системи НАССР у закладах ресторанного господарства є: визначення та затвердження місії, політики, мети й завдань, які необхідно вирішити в процесі підвищення безпечності продукції; доведення концепції «нової політики з якості та безпечності» до всіх працівників з метою роз'яснення її актуальності та проведення підтримки її реалізації на всіх етапах ланцюга технологічного процесу за допомогою мотивації персоналу.

Висновки

Розглянуто механізм впровадження системи НАССР у закладах ресторанного господарства. Як бачимо, система НАССР є досить складною і містить багато вимог різного характеру, що стосуються окремих категорій ринку харчових продуктів. До закладів дієтичного харчування, що контролюються системою НАССР, висувають досить конкретні вимоги щодо забезпечення гігієни виробництва, зберігання і транспортування всієї продукції. Дотримання цих вимог передбачає моніторинг небезпечних факторів, контроль виробничих потужностей і процесів виробництва дієтичної продукції, а також оперативне реагування на потенційну небезпеку, що може виникнути у закладах ресторанного господарства.

Література:

1. Ivanov V., Shevchenko O., Marynin A., Stabnikov V., Gubenia O., Stabnikova O., Shevchenko A., Gavva O., Saliuk A. (2021), Trends and expected benefits of the breaking edge food technologies in 2021–2030, *Ukraine Ukrainian Food Journal*, 10(1), pp. 7-36, <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-1-3>

2. Niemirich O., Koretska I., Stukalska N., Vlasiuk R. Modern innovative solutions in restaurant establishments. The 15th International scientific and practical conference “Distance education as the main problem of young people” (December 26 - 29, 2023) Madrid, Spain. International Science Group. 2023. 345 p. Pp. 267-270. DOI – 10.46299/ISG.2023.2.15

3. Впровадження системи НАССР для операторів ринку харчових продуктів : практичний посібник / А. С. Ткаченко, Ю. О. Басова, О. О. Горячова та ін. ; за



загальною редакцією А. С. Ткаченко. – Полтава : ПУЕТ, 2020. – 137 с.

4. Дерево прийняття рішень. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://yu.mk.ua/news/show/derzhprodspozhivsluzhba>. Дата звернення 26.02.2023

5. Димань Т. М. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів: підручник /Т.М. Димань, Т.Г. Мазур. – Київ : Академія, 2011. – 520 с.

6. ДСТУ ISO/TS 22002-2:2019 Програми-передумови безпечності харчових продуктів. Частина 2. Громадське харчування (ISO/TS 22002–2:2013, IDT), чинний від 01.12.2019 р. Київ : Держстандарт України, 2019. – 51 с. – (Національний стандарт України). Дата звернення 26.02.2023

7. ДСТУ ISO 22000:2019 Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі (ISO 22000:2018, IDT), чинний від 01.12.2019 р. Київ : Держстандарт України, 2019. – 81 с. – (Національний стандарт України).

8. Корецька І.Л. Сучасні напрями технології дієтичних напоїв у закладах ресторанного господарства. Мат. шостої міжнародної науково-практичної конференції «Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії». ЧДТУ— Черкаси, 2022. Том 1.— 254 с. С 183-188. <https://kht.chdtu.edu.ua/conferences/>

9. Кочерга Я., Корецька І. Впровадження системи моніторингу безпеки та якості виробництва холодних супів у закладах ресторанного господарства. В кн.: Матеріали 89 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 3-7 квітня 2023 р. – К.: НУХТ, 2023 р. – Ч.3. – 517 с. С. 291. URL : <http://surl.li/pmkqc>

10. Лука А. Харчові добавки та їх вплив на організм людини / А. Лука, Н. Фролова // Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі : матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, присвяченої 135-річчю Національного університету харчових технологій, 19-20 березня 2019 р. – Київ : НУХТ, 2019. – С. 114.

11. Матеріали сайту Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. URL: <https://dpss.gov.ua/publicnainformaciya>

12. Матеріали сайту Міністерства охорони здоров'я України URL : <https://moz.gov.ua/nakazi-moz>

13. Мельник О. Фальсифікація меду і методи її виявлення / О. Мельник, О. Шевченко, А. Маринін, С. Літвинчук // Наукові праці НУХТ. – 2022.–Том 28, №5. – С. 54–62. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/38701>

14. Мельник О. AGILE – сучасний і зручний формат управління / О. Мельник // Тренди Lean-виробництва та пакування харчових продуктів : XI Міжнародна спеціалізована науково-практична конференція, 25 жовтня 2022 р., м. Київ. – Київ : НУХТ, 2022. – С. 35.

15. Мідлер Г., Мамченко Л. Основні принципи при розробці системи НАССР для виробництва біфштексу із яловичини Матеріали 89 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 3-7



квітня 2023 р. – К.: НУХТ, 2023 р. – Ч.3. – 517 с. С.317. URL : [https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2023/Part 3.pdf](https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2023/Part%203.pdf)

16. Пономарьов П. Х. Безпека харчових продуктів та продовольчої сировини: Навч. посіб. / П. Х. Пономарьов, І. В. Сирохман.— К. : Лібра, 1999.— 272 с.

17. Шевченко О. Ю. Оздоровче харчування в контексті продовольчої безпеки в Україні / О. Ю. Шевченко, Г. О. Сімахіна, А. О. Шевченко // Наукові праці НУХТ. – 2020. – Том 26, № 6 – С. 36–43. URI : <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/33480>

References

1. Ivanov V., Shevchenko O., Marynin A., Stabnikov V., Gubenia O., Stabnikova O., Shevchenko A., Gavva O., Saliuk A. (2021), Trends and expected benefits of the breaking edge food technologies in 2021–2030, *Ukrainia Ukrainian Food Journal*, 10(1), pp. 7-36, <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-1-3>

2. Niemirich O., Koretska I., Stukalska N., Vlasiuk R. Modern innovative solutions in restaurant establishments. The 15th International scientific and practical conference “Distance education as the main problem of young people” (December 26 - 29, 2023) Madrid, Spain. International Science Group. 2023. 345 p. Pp. 267-270. DOI – 10.46299/ISG.2023.2.15

3. Vprovadzhennia systemy HACCP dlia operatoriv rynku kharchovykh produktiv : praktychnyi posibnyk / A. S. Tkachenko, Yu. O. Basova, O. O. Horiachova ta in. ; za zahalnoi redaktsiieiu A. S. Tkachenko. – Poltava : PUET, 2020. – 137 s.

4. Derevo pryiniattia rishen. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: URL : <http://yu.mk.ua/news/show/derzhprodspozhivsluzhba>. Data zvernennia 26.02.2023 p.

5. Dyman T. M. Bezpeka prodovolchoi syrovyny i kharchovykh produktiv: pidruchnyk /T.M.Dyman, T.H.Mazur. – Kyiv : Akademiia, 2011. – 520s.

6. DSTU ISO/TS 22002-2:2019 Prohramy-peredumovy bezpechnosti kharchovykh produktiv. Chastyna 2. Hromadske kharchuvannia (ISO/TS 22002–2:2013, IDT), chynnyi vid 01.12.2019 r. Kyiv : Derzhstandart Ukrainy, 2019. – 51 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy). Data zvernennia 26.02.2023 p.

7. DSTU 2 ISO 22000:2019 Systemy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv. Vymohy do bud-yakoi orhanizatsii v kharchovomu lantsiuzi (ISO 22000:2018, IDT), chynnyi vid 01.12.2019 r. Kyiv : Derzhstandart Ukrainy, 2019. – 81 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).

8. Koretska I.L. Suchasni napriamy tekhnologii diietychnykh napoiv u zakladakh restorannoho hospodarstva. Mat. shostoї mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Intehratsiini ta innovatsiini napriamy rozvytku kharchovoi industrii». ChDTU — Cherkasy, 2022. Tom 1.— 254 s. S 183-188. URL : <https://kht.chdtu.edu.ua/conferences/>

9. Kocherha Ya., Koretska I. Vprovadzhennia systemy monitorynhu bezpeky ta yakosti vyrobnytstva kholodnykh supiv u zakladakh restorannoho hospodarstva. V kn.: Materialy 89 Mizhnarodnoi naukovoї konferentsii molodykh uchenykh, aspirantiv i studentiv "Naukovi zdobutky molodi – vyrishenniu problem kharchuvannia liudstva u XXI stolitti", 3-7 kvitnia 2023 r. – K.: NUKhT, 2023 r. – Ch.3. – 517 s. S. 291. URL : <http://surl.li/pmkqc>

10. Luka A. Kharchovi dobavky ta yikh vplyv na orhanizm liudyny / A. Luka, N. Frolova // Innovatsiini tekhnologii v hotelno-restorannomu biznesi : materialy VIII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoї 135-richchiiu Natsionalnogo universytetu kharchovykh tekhnologii, 19-20 bereznia 2019 r. – Kyiv : NUKhT, 2019. – S. 114.

11. Materialy сайту Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z pytan bezpechnosti kharchovykh produktiv ta zakhystu spozhyvachiv. URL : <https://dpss.gov.ua/publicnainformaciya>

12. Materialy сайту Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy URL : <https://moz.gov.ua/nakazi-moz>

13. Melnyk O. Falsyfikatsiia medu i metody yii vyivlennia / O. Melnyk, O. Shevchenko, A.



Marynin, S. Litvynchuk // Naukovi pratsi NUKhT. – 2022. – Tom 28, №5. – S. 54–62. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/38701>

14. Melnyk O. AGILE – suchasnyi i zruchnyi format upravlinnia / O. Melnyk // Trendy Lean-vyrobnytstva ta pakuvannia kharchovykh produktiv : XI Mizhnarodna spetsializovana naukovopraktychna konferentsiia, 25 zhovtnia 2022 r., m. Kyiv. – Kyiv : NUKhT, 2022. – S. 35.

15. Midler H., Mamchenko L. Osnovni pryntsypy pry rozrobtsi systemy HACCP dlia vyrobnytstva bifshteksu iz yalovychny Materialy 89 Mizhnarodnoi naukovo konferentsii molodykh uchenykh, aspirantiv i studentiv "Naukovi zdobutky molodi – vyrishenniu problem kharchuvannia liudstva u XXI stolitti", 3-7 kvitnia 2023 r. – K.: NUKhT, 2023 r. – Ch.3. – 517 s. S.317. URL: https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2023/Part_3.pdf

16. Ponomarov P. Kh. Bezpeka kharchovykh produktiv ta prodovolchoi syrovyny: Navch. posib. / P. Kh. Ponomarov, I. V. Syrokhman.— K. : Libra, 1999.— 272 s.

17. Shevchenko O. Yu. Ozdorovche kharchuvannia v konteksti prodovolchoi bezpeky v Ukraini / O. Yu. Shevchenko, H. O. Simakhina, A. O. Shevchenko // Naukovi pratsi NUKhT. – 2020. – Tom 26, № 6 – S. 36–43. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/33480>

Abstract. *The work presents a consideration of the importance of the HACCP system and its principles in relation to the organization of dietary food production. An analysis of hazards and step-by-step control of all stages of the preparation of dietary dishes and food products, starting from the reception of products in the warehouse and the moment of serving the finished dish, was carried out. A scheme for monitoring the main stages is proposed and critical control points are defined for monitoring technological parameters at the main stages of the preparation of dietary products. Analysis of stages and dangerous factors was carried out, corrective actions were proposed. This is a way to make sure that hazardous factors that can affect food safety are constantly and properly controlled.*

Key words: *dietary nutrition, balanced nutrition, daily ration, energy value.*

Стаття підготовлена в рамках кафедральної держбюджетної науково-дослідної роботи «Розроблення ресурсозберігаючих технологій ресторанної, дієтичної та аюрведичної харчової продукції» (ДРН 0123U102921)

Стаття відправлена: 19.01.2024 г.

© Корецька І.Л., Масліков М.М., Кочерга Я.В., Бондаренко О.В.



УДК 664.66

STUDY OF THE INFLUENCE OF ORGANIC PUMPKIN PURE ON THE QUALITY OF BREAD WITH OAT FLOUR**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОРГАНІЧНОГО ГАРБУЗОВОГО ПЮРЕ НА ЯКІСТЬ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ З ВІВСЯНИМ БОРОШНОМ****Hryshchenko A.M. / Грищенко А.М.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-0617-6918

Hanzyna B.O. / Ганзина Б.О.*stud. / студент***Kosmyk A.R. / Космик А.Р.***stud. / студент**National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrska, 68, 01601**Національний університет харчових технологій, Київ, Володимирська, 68, 01601*

Анотація. Виробництво органічної продукції набуває популярності у всьому світі, оскільки органічні продукти не містять шкідливих для організму людини шкідливих речовин, що використовуються в конвенційній агротехнології. Споживання такої продукції, зокрема хліба з органічної сировини, стане запорукою формування здорового харчування серед населення, особливо дітей. В роботі наведено результати досліджень з метою розроблення рецептури хліба з органічної сировини. Запропоновано поєднувати в рецептурі борошно круп'яних культур та продукти переробки овочів. Досліджено вплив пюре термообробленої м'якоти гарбуза сорту «Баттернат» на показники якості хліба з додаванням вівсяного борошна в кількості 10 %. Встановлено, що технологічно обґрунтовано додавати 25 % гарбузового пюре до маси борошна, а за більшого дозування погіршується пористість хліба, з'являється надто виражений гарбузовий запах та смак. В результаті досліджень встановлено, що гарбузове пюре сприяє покращанню структурно-механічних властивостей тіста, про що свідчать результати дослідження розливання кульки тіста та питомого об'єму тіста в циліндрі. Дослідження газотворення тіста свідчить про незначну інтенсифікацію процесів бродіння в тісті з гарбузовим пюре.

Ключові слова: гарбузове пюре, вівсяне борошно, органічний хліб, якість хліба, круп'яні культури.

Вступ.

З точки зору харчової цінності хлібобулочні вироби не є ідеальними продуктами [1, 9, 10, 11], а їх хімічний склад може бути поліпшений завдяки використанню нетрадиційної сировини (продуктів переробки крупів, бобових та олійних культур, овочів, фруктів, молока, зелені, тощо) [4, 8, 14]. Слід зазначити, що продукти, вирощені конвенційним способом, можуть містити шкідливі речовини, що пов'язано з технологіями вирощування та переробки сировини рослинного та тваринного походження. Органічна сировина з точки зору безпечності хімічного складу має ряд переваг. Виробництво органічної хлібобулочної продукції в Україні поки що не налагоджено, тому ця проблема є актуальною для дослідження [16].

В літературних джерелах є результати досліджень використання різної нетрадиційної сировини, проте, як показали результати літературного пошуку в основному в рецептуру виробу додають лише один вид сировини, наприклад продукт переробки круп'яних культур або овочевих.



Використання овочів та продуктів їх переробки в технології хлібобулочних виробів обумовлено багатьма причинами. Зокрема, овочі багаті не лише на харчові волокна, які не подразнюють шлунково-кишковий тракт, але й містять значну кількість мінеральних речовин, вітамінів [3, 5, 13]. Пропонують використовувати пюре, сушені порошки, соки, пасти. На нашу думку особливої уваги заслуговують продукти переробки свіжих гарбузів, адже така сировина піддається мінімальному технологічному впливу, внаслідок чого зберігаються усі цінні речовини. Одним з потужних напрямів є використання продуктів переробки круп'яних культур (борошна, висівок, зародків), багатих на харчові волокна та мінеральні речовини [2, 4, 6, 7, 12, 14].

Поєднання в одній рецептурі продуктів переробки овочевих та круп'яних культур, дасть можливість ще в більшій мірі збагатити хлібобулочні вироби харчовими волокнами, мінеральними речовинами та вітамінами. Зважаючи на те, що таке направлення ще не досліджено, було запропоновано використати в одній рецептурі вівсяне борошно та гарбузове пюре.

Результати досліджень.

З метою розроблення рецептури органічного хліба з додаванням декількох компонентів для збагачення його хімічного складу провели ряд досліджень. Було обрано сировину виробників органічної продукції в Україні, зокрема вівсяне борошно та органічні гарбузи.

Згідно проведених раніше досліджень встановлено, що максимально можливе дозування вівсяного борошна може бути до 10 % замість маси пшеничного борошна, що не викликає значного погіршення показника пористості, хоча призводить до затемнення м'якушки і появи специфічного запаху вівса. Було запропоновано додання в одній рецептурі вівсяного борошна та гарбузового пюре, що може покращити властивості виробів.

Проводили пробні лабораторні випікання з додаванням 10 % вівсяного борошна замість пшеничного та з додаванням гарбузового пюре в кількості 25 та 50 % до маси борошняних компонентів. Пюре готували в лабораторних умовах з провареної м'якоті органічного гарбуза сорту «Баттернат». Дозування пюре обрали опираючись на деякі попередні дослідження [15]. Тісто готували безопарним способом з додаванням 2 % цукру 4 % олії, замішували в двошвидкісній тістомісильній машині 12 хв, випікали формовий та подовий хліб при температурі пекарної камери 210°C (з парозволоженням) 23 хвилини. Результати досліджень наведено в таблиці 1 та на рисунку 1. Гарбузове пюре покращує органолептичні показники якості хліба органічного з додаванням вівсяного борошна, маскує специфічний запах та присмак вівса і надає м'якушці виробу жовтого забарвлення, яке буде краще сприйматися споживачами. Проте, у разі додавання 50 % пюре спостерігається надто виражений, на нашу думку, смак та аромат гарбуза. За такого дозування погіршується розпушеність м'якушки, знижується показник пористості, знижується об'єм виробів. У виробів з 50 % пюре дещо підвищується формостійкість, що на нашу думку обумовлено пектином у складі гарбузів та участю харчових волокон гарбуза у процесах структуроутворення. За невеликих дозувань пюре позитивно впливає на показник якості виробів, а при збільшенні дозування спричиняє погіршення



органолептичних показників. Встановлено, що у випадку вмісту в рецептурі хліба вівсяного борошна, гарбузове пюре доцільно додавати в тісто в кількості до 25 % до маси борошна.

Пюре гарбуза спричиняє незначну інтенсифікацію процесів бродіння, внаслідок чого на 2-3 хв знижується тривалість вистоювання тістових заготовок.

Таблиця 1 – Показники технологічного процесу та якості виробів з вівсяним борошном і гарбузовим пюре

Показники	Контроль	З додаванням гарбузового пюре, % до маси борошна	
		25	50
Тісто			
Масова частка вологи, %	42,1	42,2	42,2
Кислотність, град:			
-початкова	1,6	2,0	2,2
-кінцева	2,4	3,1	3,5
Тривалість бродіння, хв.	90		
Тривалість вистоювання, хв	42	39	38
Хліб			
Пористість, %	76	78	77
Питомий об'єм, г/см ³	0,32	0,34	0,30
N/D подового хліба	0,53	0,55	0,56
Кислотність хліба, град	2,1	2,7	3,1
Стан поверхні і забарвлення	Гладка, рівна, без підривів та тріщин, золотиста	Гладка, рівна, без підривів та тріщин, світло-жовта	Гладка, рівна, без підривів та тріщин, світло-коричнева з жовтим відтінком. На поверхні помітні маленькі шматочки волокон м'якоті гарбуза
Колір м'якушки	Кремовий з сірим відтінком	Світло-жовтий	Виражений жовтий
Структура пористості	Дрібна, рівномірна	Середня, рівномірна	Дрібна, рівномірна, трішки ущільнена
Смак і аромат	Відчувається присмак та запах вівсяного борошна	Відчувається смак та аромат гарбуза	Надто виражений гарбузовий запах, овочевий присмак

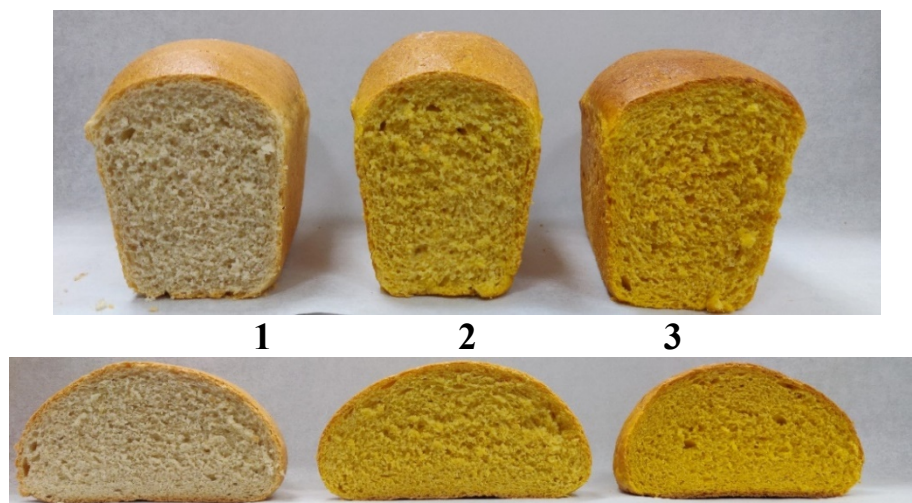


Рисунок 1. Органічний хліб з додаванням вівсяного борошна (10 %) та гарбузового пюре: 1 – контроль (без гарбузового пюре), 2 – з 25 % гарбузового пюре, 3 – з 50 % гарбузового пюре.

Досліджували вплив гарбузового пюре на структурно-механічні властивості тіста та газоутворення. Газоутримувальну здатність оцінювали за питомим об'ємом тіста в циліндрі, а формоутримувальну – за розпливанням кульки тіста, при додаванні гарбузового пюре в кількості 25 та 50% до маси борошна. Контрольним зразком було тісто з вмістом 10 % вівсяного борошна без додавання гарбузового пюре.

Для дослідження зміни в'язко-пластичних характеристик кулька тіста піддавалась ферментації протягом 2,5 годин у термостаті за температури 30°C. (рисунок 2).

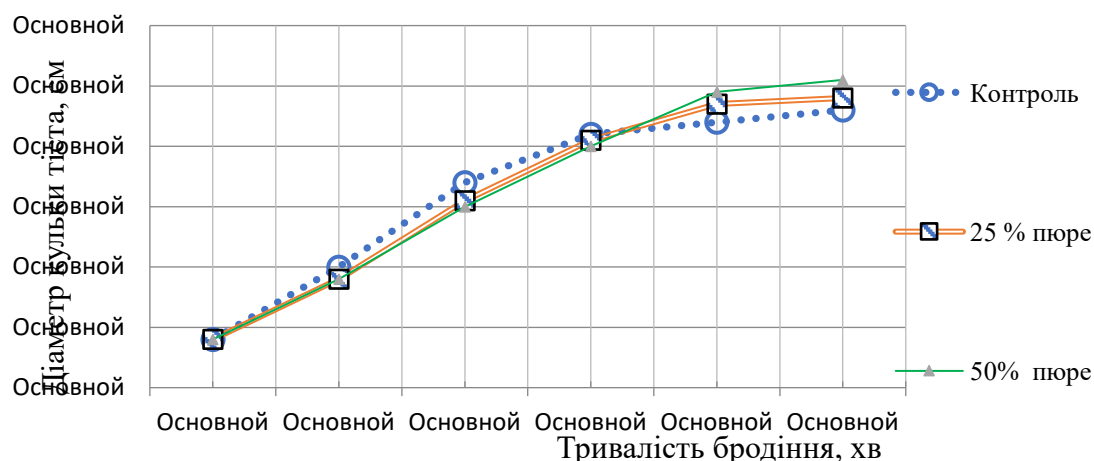


Рисунок 2. – Вплив гарбузового пюре на розпливання кульки тіста з додавання гарбузового пюре.

В роботах деяких авторів зазначено [1, 2], що вівсяне борошно може спричинити погіршення структурно-механічних властивостей тіста, внаслідок чого погіршується формостійкість виробів. Наші дослідження показали, що кульки тіста з додаванням гарбузового пюре розпливалися менше, що свідчить про позитивний вплив пюре на структурно-механічні властивості тіста, навіть не зважаючи на те, що воно містить вівсяне борошно. Як вже зазначалось, це може



бути обумовлене впливом пектину, харчових волокон м'якоті, та в певній мірі впливом органічних кислот гарбуза на клейковину борошна, що сприяє утворенню більш в'язкого тіста, що краще тримає форму.

Досліджували також зміну питомого об'єму тіста в циліндрі (за умов ферментації 30°C). Визначали питомий об'єм тіста через кожні 30 хв, що характеризує здатність тіста утримувати вуглекислий газ (рисунок 3).

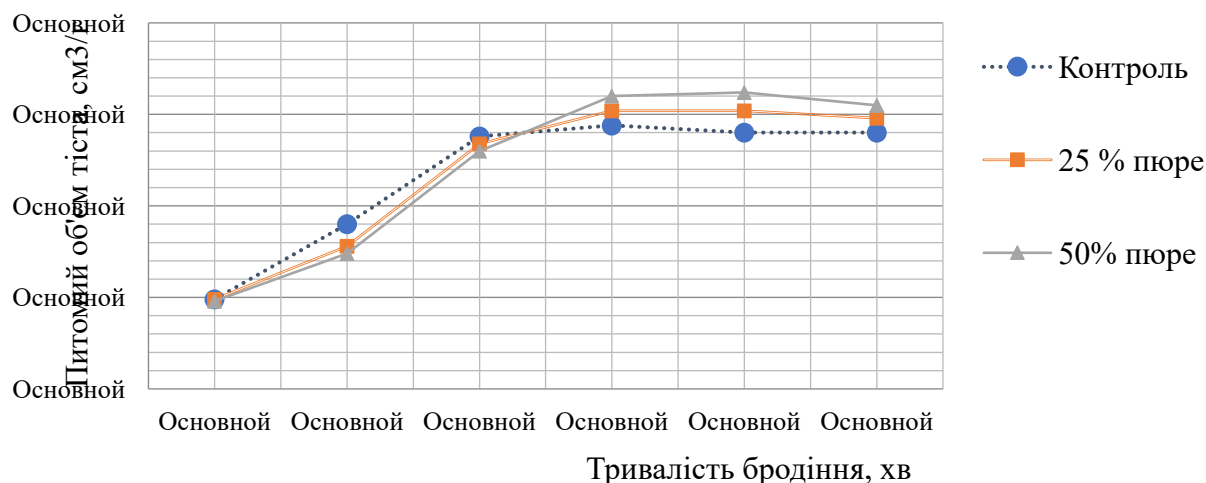


Рисунок 3. – Питомий об'єм тіста з гарбузовим пюре

Спостерігали, що протягом першої години бродіння питомий об'єм зразків тіста з додаванням гарбузового пюре був менший, порівняно з контролем, що скоріше за все обумовлено більшою в'язкістю тіста. Стійкість контрольного зразка (час до опадання тіста в циліндрі) менша. Тобто речовини, що містяться в пюре гарбуза в даній рецептурній композиції сприяють укріпленню клейковини, покращанню в'язкості тіста, що спричиняє більший його питомий об'єм і кращу стійкість.

Визначали вплив гарбузового пюре на газоутворення в тісті, оскільки в гарбузовому пюре містяться цукри, які можуть впливати на перебіг бродіння тіста. За даними наукової літератури залежно від сорту гарбуза в його складі може міститися від 4% до 8% цукрів [13]. В якості контрольного зразка – тісто без додавання пюре. Зважаючи на те, що в рецептурі тіста містилось 2 % цукру, додавання пюре практично не вплинуло на інтенсивність газоутворення.

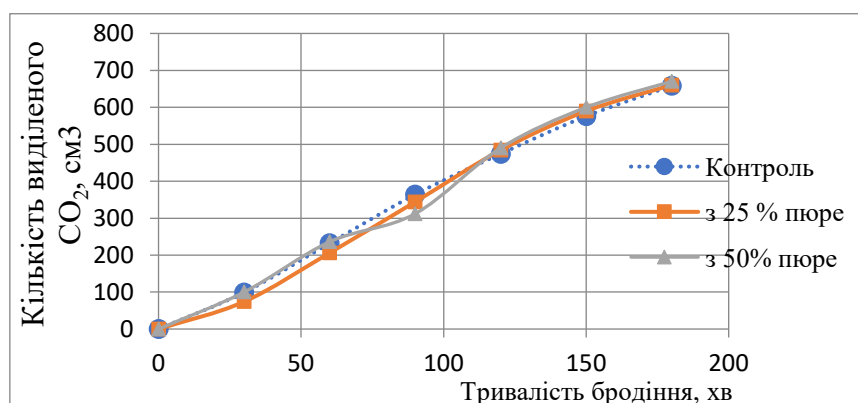


Рисунок 4. – Сумарне газоутворення в тісті з гарбузовим пюре.



Зважаючи на результати проведених досліджень можемо зробити висновки, що додавання гарбузового пюре не спричинить значних змін в технологічному процесі виробництва хлібобулочних виробів.

Висновки.

Результати досліджень впливу гарбузового пюре з органічного гарбуза сорту «Баттернат» показали доцільність його використання в технології пшеничного органічного хліба, що містить 10 % вівсяного борошна в рецептурі. Гарбузове пюре дає можливість поліпшити аромат виробів, покращити забарвлення м'якушки та скоринки, а запах вівсяного борошна стає невідчутним. Встановлено, що пюре доцільно додавати в кількості не більше 25 % до маси борошна, оскільки за більшого дозування погіршується структура пористості, зменшується питомий об'єм виробів, а запах смак гарбуза стає надто вираженим.

Література:

1. Barbara Krochmal-Marczak. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread / B. Krochmal-Marczak, R. Tobiasz-Salach, J. Kaszuba // *British Food Journal*. – 2020. – С. 2329–2339.
2. Peymanpour G. Changes in Rheology and Sensory Properties of Wheat Bread with the Addition of Oat Flour / Gh. Peymanpour. // *J. Agr. Sci. Tech.* – 2012. – №14. – С. 339–348.
3. Аспекти технології хліба з використанням сушеної рослинної сировини / О. В. Неміріч, О. О. Петруша, І. В. Бончак, В. В. Філіпенко / *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – № 2/12 (68), Ч. 2. – С. 95-101
4. Борошняні композитні суміші з підвищеною харчовою цінністю на основі вівсяного борошна. / О. Herasymchuk / *The III International Scientific and Practical Conference «Theories, methods and practices of the latest technologies»*, November 07–09, Tokyo, Japan. 387 p. p. 341-342.
5. Використання напівфабрикатів гарбуза для збагачення хліба пшеничного / Бараболя О.В., Калашник О.В, Мороз С.Є та ін. // *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. – 2018. – №4. – С. 76-80.
6. Вплив шроту зародків вівса на структурно-механічні властивості житньо-пшеничного тіста і якість хліба / О.В. Самохвалова, С.Г. Олійник, Н.В. Лапицька, Г.В. Степанькова, М.М.Бондаренко // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2019. Вип. 1(29). С. 158-171.
7. Гетьман І. А. Дослідження вуглеводно-амілазного комплексу борошна круп'яних культур і його сумішей з пшеничним / І. А. Гетьман, Л. А. Михонік, І. О. Кухаренко // *Харчова промисловість*. – 2020. – № 27. – С. 46–52. DOI: 10.24263/2225-2916-2020-27-7.
8. Горішна Г. Напрямки поліпшення хлібобулочних виробів / Г. Горішна // *Тернопіль ДВНЗ «Тернопільський коледж харчових технологій і торгівлі»*. – 2020. – С. 202–204.
9. Махинько В. М. Використання дикорослих харчових трав у хлібопеченні / В. М. Махинько, Л. О. Даньшина, Л. В. Махинько, О. В. Бабич // *Хранение и*



переработка зерна. - 2011. - № 1. - С. 55-57.

10. Патент 124832 UA МПК А21D 13/06 (2017.01). Хліб з підвищеною засвоюваністю білка / Махинько В. М., Черниш Л. М., Бережна О. П. ; заявник Національний університет харчових технологій. – № u201710757 ; заявл. 06.11.2017 ; опубл. 25.04.2018 ; Бюл. №8 2018.

11. Подкоритова А. С. Технологія виробництва пшеничного хліба зниженої калорійності з висівками та кунжутом / А. С. Подкоритова. // Луганський національний аграрний університет. – 2019. – С. 128–129.

12. Продукти переробки круп'яних культур в технології хлібобулочних виробів / І. Ковальчук, Т. Киричок, І. Гетьман, Л. Михонік // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : матеріали 88 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, квітень – травень 2022 р. – Київ : НУХТ, 2022. – Ч. 1. – С. 93

13. Суха Н. А. Вплив овочевих порошків на збереження виробами свіжості / Н. А. Суха, О. А. Білик, В. І. Дробот // Хранение и переработка зерна. - 2009. - № 8. - С. 53-55.

14. Технологія хліба пшеничного з продуктами переробки зародків вівса та кукурудзи: монографія / С.Г. Олійник, Г. В. Степанькова, О. В. Самохвалова, О. І. Кравченко. – Х. : ХДУХТ, 2017. – 123с.

15. Карпович Ю. Порівняння впливу різних видів гарбузового пюре на якість хліба / Карпович Ю. Грищенко А. // Наукові здобутки молоді - вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: матеріали Міжнар. наук. конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 2-3 квітня 2020 р. – К. : НУХТ. , Ч. 1. – С. 115

16. Фалендиш, Н. О. Особливості виробництва органічного хліба з використанням конопляного борошна / Н. О. Фалендиш, І. М. Зінченко, М. С. Блаженко // Харчова промисловість. – 2019. – № 25. – С. 7–13.

***Abstract.** The production of organic products is gaining popularity all over the world, because organic products don't contain substances harmful to the human body, which are used in conventional agricultural technology. Consumption of such products, in particular bread made from organic raw materials, will become a guarantee of healthy nutrition among the population, especially children. The work presents the results of research aimed at developing a recipe for bread from organic raw materials. It is proposed to combine cereal flour and vegetable processing products in the recipe. The effect of puree of heat-treated pumpkin pulp of the "Butternut" variety on the quality indicators of bread with the addition of oat flour in the amount of 10% was investigated. It was established that it is technologically justified to add 25% of pumpkin puree to the mass of flour, and with a larger dosage, the porosity of the bread deteriorates, and an overly pronounced pumpkin smell and taste appears. As a result of the research, it was established that pumpkin puree helps to improve the structural and mechanical properties of the dough, as evidenced by the results of the research on the blurring of the dough ball and the specific volume of the dough. The study of the gas formation of the dough indicates a slight intensification of fermentation processes in the dough with pumpkin puree.*

***Key words:** pumpkin puree, oatmeal flour, organic bread, bread quality, cereals.*

Статтю надіслано: 20.01.2024 р.

© Грищенко А.М.



УДК 342.0

METHODS OF INCREASE RELIABILITY IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ****Radchenko S.S. / Радченко С.С.***assistant / асистент*

ORCID: 0000-0003-2520-6120

*Kharkiv national university of radio electronics, Kharkiv, Nauky Ave. 14***Demchenko K.V. / Демченко К.В.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-3168-5351

Hrytsenko S.D. / Гриценко С.Д.

ORCID: 0009-0005-2204-6119

*assistant / асистент**State Biotechnological Universite, Kharkiv, Alchevsky,44*

Abstract. Today, in connection with the increase in the scale and complexity of automated control systems, the problem of ensuring their reliability is becoming increasingly acute. The article analyzes the main methods and means of increasing control reliability in automated control systems.

Key words: automated control systems, reliability of information, fail-safe control systems, increased reliability, redundancy, reconfiguration, structural redundancy.

Introduction.

The effectiveness and quality of functioning of automated control systems (ACS) significantly depend on the reliability of the source information and the values obtained because of processing. The necessary reliability of information in the ACS is ensured by the selection of effective control and error correction systems at all stages of data processing and storage, optimization of their storage structures. The development and operation of ACS, which provide the maximum or specified level of data probability in conditions of limited resources, is a complex problem that includes the following tasks: the development of methods for analyzing data processing systems from the point of view of probability, the development of methods for the synthesis of control systems that are optimal according to the selected performance criteria and error correction, development of optimal data processing technologies in the operation of ACS.

Requirements for the reliability of information are mandatory for any ACS. There is enough documents in various fields that regulate the main methods of probability control. Sensor readings, based on which system management decisions are made, should be as reliable as possible.

Main text.

The analysis of well-known publications in the field of reliability and validity of ASC work shows that mainly the diagnosis of ACS work is implemented using discrete methods of information processing [2]. This makes it possible to expand the possibilities of control and diagnostics due to the use of computing tools of programmable logic controllers (PLCs) and to increase the reliability characteristics.

Special measures must be taken to ensure and maintain the required system



reliability during operation. The main ones are:

1. simplification of structural of individual devices and the system as a whole.
2. use of highly reliable elements with guaranteed reliability.
3. reducing the load on the elements and stabilizing the operating conditions of the equipment.
4. application of structural redundancy of devices and elements.

Technological means of increasing reliability are based on the use of a wide range of methods of improving the quality of system components at the stage of their manufacture.

Structural and hardware implementations at the initial stages of development are reduced to the creation of the minimally necessary version of the system, that is, such a variant that contains the minimally necessary number of elements, the failure of each of which leads to the failure to perform one or more functions and provides for the processing of the minimally necessary amount of information in the minimally acceptable time of period.

The reliability characteristics of the minimum required version of the system do not always satisfy the proposed requirements, which forces us to look for ways to increase the reliability of the system being developed.

The issue of increasing reliability should be addressed, first and foremost, based on the development and implementation of highly reliable components used in the system.

Among the structural methods of ensuring system reliability, two groups of methods are distinguished: methods based on the redundancy of their components, and methods that involve reconfiguring the system in case of failure situations.

Methods of system reconfiguration involve altering the operational configuration of the system during its operation. This may result in changes to individual performance metrics, such as memory capacity, processing speed, or reliability parameters.

Redundancy is a method of ensuring the reliability of an object by utilizing additional resources and/or capabilities that exceed the minimum necessary for performing essential functions.

Methods of system redundancy assume the stability of the basic working configuration of the system during its operation. In the event of component failures within the system, a straightforward replacement of the failed blocks with functional backup blocks takes place. This replacement can occur either through operational equipment switching (in which case the system downtime is considered insignificant) or as part of the process of restoring the failed blocks (in this case, the analysis of system reliability considers the finite restoration time).

However, the possibilities of redundancy are limited. This is because a significant increase in the meantime between failures of a device, even in the extreme case, can only be achieved with a practically unrealizable total number of its elements. Moreover, the greater the redundancy factor, the lower its relative efficiency [3]. Single, double, triple, and tenfold hot redundancy of one element results in an increase in the meantime between failures compared to the non-redundant option by 1.5, 1.8, 2.1, and 3 times, respectively. Analyzing the potential of overall loaded redundancy is



not practical because such redundancy is less effective than element-wise redundancy. Replacement redundancy requires significant hardware complexity.

However, in ACS and any other hardware, failures can also occur, leading to disruptions in the correctness of system operation through the distortion of information. To eliminate the consequences of a failure, it is necessary to restore not the hardware, as is done in the case of a failure, but the information distorted by the failure.

Hardware of discrete action, as well as hardware used for transmitting information with discrete signals, is particularly susceptible to failures. In discrete devices, the failure intensity can reach $(0,2-2)10^{-4}$ 1/per hour failures per transistor. Experimental data indicate that in discrete hardware, failures have a significantly higher specific weight compared to faults.

The reliability of discrete devices can be enhanced by introducing structural redundancy, where the outputs of devices or systems in a reserved connection are combined by a recoverable logic element (majority element). Such redundancy can also be implemented at a lower level. To detect a failure in each of the channels, mere duplication is sufficient, and information recovery is possible with three or more channels working in parallel. Such redundancy is quite effective, especially in dealing with faults, but it requires significant overhead. Its effectiveness is significantly reduced in the event of a failure.

To enhance the reliability of system operation, information redundancy can also be employed. For example, redundant error-correcting codes or multiple repetitions of non-redundant code can be used in information transmission through communication channels. It is known that a significant information redundancy is required to correct multiple distortions. The use of error-detecting codes in data transmission systems, combined with feedback, is also associated with significant redundancy. This is also true for the repeated transmission of non-redundant codes.

It should be noted that information redundancy inevitably leads to structural redundancy, complicating the system and reducing its reliability. Information redundancy is effective only in mitigating the consequences of failures. As for reducing the impact of failures, its capabilities are quite limited.

The possibilities of ensuring the necessary operational efficiency of systems solely through the implementation of direct methods to enhance hardware reliability are limited. Alongside the application of these methods, the required efficiency can be achieved through the timely restoration of failed devices and the proper handling of the circulating information within them. To implement restoration, it is necessary to have information about the state of the system's hardware, as well as the quality of processing, transmission, and storage of information within it. This information can only be obtained through monitoring.

Monitoring provides the ability to timely detect, and address failures and adverse consequences caused by them. It can be concluded that achieving the necessary reliability and efficiency of systems is most reasonable through the implementation of direct methods to enhance hardware reliability, coupled with monitoring and subsequent resolution of failures and their consequences.

Types of control are classified based on: the purpose of implementation; the depth and completeness of performed checks; the degree of automation of control operations;



the timing and sequence of their implementation; the type of constructive implementation of control means and their location relative to the objects of verification; the hierarchy of management; the type of implemented decision-making rule; regarding the modes of operation of the system being checked.

Depending on the goal of control, it can be classified as operational control and diagnostic control [4].

In operational control, the goal of checks is to timely detect the absence or presence of malfunctions in the system under examination, as well as deviations in the form of failures in the output information.

In diagnostic control, checks are conducted with the aim of determining the location and cause of a malfunction or the nature of a failure. These types of control are based on various verification methods, which are technically implemented and used differently in different conditions.

In general, operational control is a component of diagnostic control. In principle, diagnostic control can almost always be carried out without knowing whether the system is operational or not. However, implementing diagnostic control typically requires more time. Therefore, as a rule, operational control is performed first as it is simpler and requires less time. Then, if necessary, a diagnostic check is conducted.

Hardware control is a form of control that operates continuously throughout the entire operation of the system, running in parallel with the execution of the primary tasks. It is implemented through the integration of control equipment into the system's structure.

According to the principles of practical implementation, hardware control can be divided into modular control, control using error-correcting codes, hardware-microprogram control, and majority control.

Because hardware control operates continuously throughout the entire functioning of the control object, it allows detecting both faults and failures at the moment of their occurrence or with a delay of one or two operations. Since the control operations are carried out in parallel with the main process of information processing and transmission, hardware control practically does not reduce the performance of the system's resources.

Thus, among the advantages of hardware control, its continuous operation, the ability to detect both faults (failures) and errors at the moment of their occurrence, automatic localization of faults with precision up to the functional node (more accurate localization is achieved through diagnostic tests), and the ability for self-checking can be mentioned.

A disadvantage of hardware control is the need for the introduction of additional control equipment, which itself may serve as a source of faults and failures in operation.

Conclusion.

The described methods and means provide practical implementation of hardware and information recovery, ensuring necessary reliability and durability of systems during their operation, as well as the required likelihood of information transmission and processing.

A properly organized control enhances the adaptability of the system being monitored to prevent, detect, and rectify failures, thus improving its maintainability.



Therefore, the quick restoration of control and the elimination of the consequences of failures and malfunctions is a powerful and, in many cases, the only method to maintain the required level of reliability during operation and ensure the necessary probability of information processing and transmission.

References:

1. Радченко С.С. Принципи побудови пристроя діагностики ПЛК / С.С. Радченко, І.О. Фурман // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 142. – С. 58 – 59.
2. Пронин А.Н. Достоверность измерительной информации в системах управления. Проблемы и решения / А.Н. Пронин, К.В. Сапожникова, Р.Е. Тайманов // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. Том. 9. – №3. – С. 32–37.
3. Радченко С.С. Аналіз основних методів і засобів підвищення надійності керування в АСКТП / С.С. Радченко, І.О. Фурман, С.О. Тимчук // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК, № 1 (4). – Харків, 2016. – С. 69-71.
4. Радченко С.С. Анализ методов и средств контроля и диагностики технического состояния ПЛК / С.С. Радченко, И.А. Фурман // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 130. – С. 96 – 97.
5. Радченко С.С. Проблеми підвищення надійності в автоматизованих системах керування / С.С. Радченко, К.В. Загуменна, Р.М. Староверов // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ. Вип. 196 – Харків, 2018. – С. 81 – 82.

Abstract. На сьогоднішній день у зв'язку з підвищенням масштабів і складності автоматизованих систем керування, усе більш гостро постає проблема забезпечення їх надійності. У статті проведено аналіз основних методів та засобів підвищення надійності керування в автоматизованих системах керування.

Key words: автоматизовані системи керування, вірогідність інформації, безвідмовність систем керування, підвищення надійності, резервування, реконфігурування, структурна надмірність.

Статья отправлена: 19.01.2024 г.

© Радченко С. С.



УДК 004.9

COMPARISON OF DATA CLUSTERING ALGORITHMS

ПОРІВНЯННЯ АЛГОРИТМІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДАНИХ

Doroshenko I.V. / Дорошенко І.В.*s. p.-m.s., as.prof. / к. ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8729-1768

Knihnitska T.V. / Книгніцька Т.В.*Doctor of Philosophy in Mathematics and Statistics /**доктор філософії у галузі математики та статистики*

ORCID: 0000-0003-4614-5945

Kreshtanovych M.A. / Крештанович М.А.*magistr / магістр**Chernivtsi National University, Chernivtsi, Kotsyubynskoho 2, 58012**Чернівецький національний університет, Чернівці, вул.Коцюбинського 2, 58012*

Анотація. У статті проведено порівняння алгоритмів кластеризації даних: K-Means, Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC), Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN), Expectation–Maximization clustering using Gaussian Mixture Models (GMM). Порівняння здійснюється завдяки наперед згенерованим наборам даних, які мають різний характер поведінки: концентричні кола (2 кластери), смужки (3), хмари (3), нероздільна множина (1), серпи (2). Для кожного з наборів даних застосовано перелічені методи і визначено найкращий алгоритм кластеризації для певного типу даних. Розглянуті алгоритми кластеризації даних додатково застосовано до трьох наборів реальних даних. Для візуалізації результатів порівняння створено інтерактивний веб-застосунок для інтерактивної кластеризації даних згаданими алгоритмами, який розгорнуто на хмарному сервері shinyapps.io.

Ключові слова: кластеризація даних, кластерний аналіз, метод K-середніх, ієрархічна агломеративна кластеризація, просторова кластеризація заснована на щільності, моделі суміші Гауса.

Вступ.

Проблема кластеризації даних широко вивчається в літературі для аналізу даних та машинного навчання у різних сферах життєдіяльності людини. Кластеризацію можна вважати короткою моделлю даних, яку можна інтерпретувати в сенсі підсумкової або генеративної моделі. Основну задачу кластеризації можна сформулювати так: маючи набір точок даних, розділити їх на набір груп, які максимально відрізняються. У той же час елементи, які відносяться до однієї групи, повинні бути максимально схожими. Міра подібності між вимірюваннями даних визначається за допомогою Евклідової відстані, відстані Махаланобіса тощо.

Важливо враховувати природу даних та їх властивості при виборі методу кластеризації, оскільки неправильний вибір алгоритму кластеризації може призвести до некоректних результатів. Крім того, конкретний тип даних також має значний вплив на визначення проблеми. Наприклад, для числових даних може бути ефективним метод k-середніх, тоді як для категоріальних або текстових даних використовуються інші методи, такі як ієрархічна кластеризація або методи, що базуються на векторних представленнях.



1. Набір даних для кластеризації

У роботі використано сім наборів даних, п'ять з яких є згенерованими з нормального розподілу, два – з рівномірного розподілу. За допомогою лінійної комбінації згенерованих даних отримано наступні хмари даних, які потрібно розділити на кластери чотирьома методами кластеризації. Нижче показано (рисунок 1) п'ять типів вхідних даних. Наша мета – здійснити кластеризацію цих наборів за допомогою кожного алгоритму кластеризації та встановити, який алгоритм працює найкраще. Кожен із п'яти наборів даних (рисунок 1) названий відповідним чином до розсіювання точок даних: Галактика (Galaxy), Серпи (Sickle), Смужки (Slash), Око (Eye), Рій (Swarm).

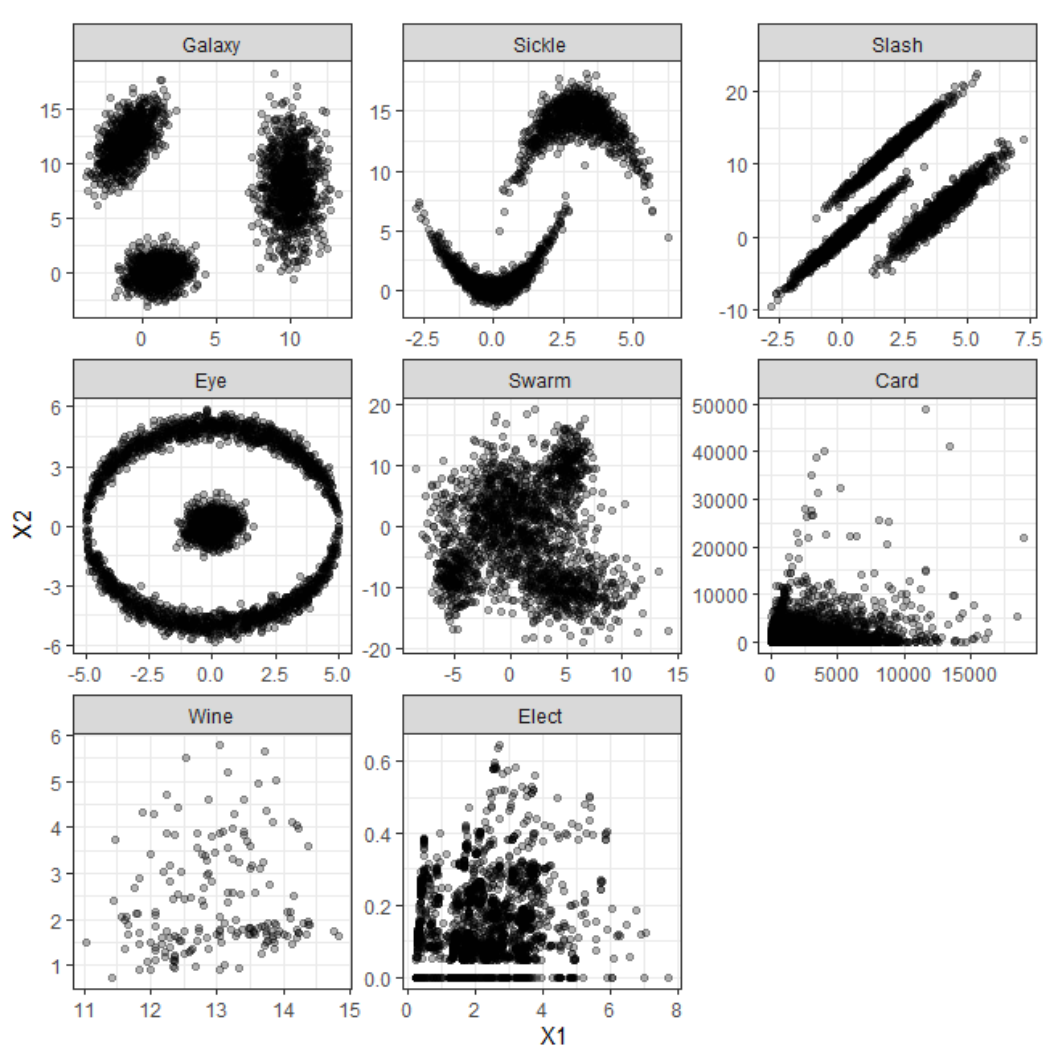


Рисунок 1 - Вхідні дані, які необхідно розділити на кластери

Для того, щоб побачити, як на практиці працює кластеризація даних розглянемо ще три набори даних, отримані з платформи Kaggle. Перший набір даних доступний за наступним посиланням <https://www.kaggle.com/datasets/arjunbhasin2013/ccdata?datasetId=14701&language=R>. Ці дані стосуються сегментації клієнтів для визначення маркетингової стратегії. Даний набір даних узагальнює поведінку використання приблизно 9000 активних власників кредитних карток протягом останніх 6 місяців. Для кожного клієнта файл містить 18 поведінкових змінних. Для здійснення



кластеризації використано два стовпці – BALANCE: сума балансу, що залишилася на рахунку клієнта для здійснення покупок та PURCHASES: загальна кількість покупок, здійснених з рахунку.

Другий набір даних <https://www.kaggle.com/datasets/harrywang/wine-dataset-for-clustering> є результатами хімічного аналізу вин, вирощених в одному регіоні Італії, але отриманих з трьох різних сортів винограду. Всього знайдено 13 типів складових у трьох типах вина. Для здійснення кластеризації даних використано такі складові: Alcohol та Malic_Acid.

Третій набір даних <https://www.kaggle.com/datasets/uciml/electric-power-consumption-data-set> містить вимірювання споживання електроенергії в одному домогосподарстві з однохвилинною частотою записів протягом майже 4 років. Використано такі змінні: Global_active_power та Global_reactive_power. Кожен із згаданих наборів даних названий відповідним чином – Card, Wine, Elect.

2. Результати кластеризації

У дослідженні згенеровано дані із нормального та рівномірного розподілів. Такого роду симуляції або симуляції за допомогою методу Монте-Карло [1] часто застосовують для перевірки роботи та порівняння алгоритмів. На додаток, використано реальні дані для здійснення кластеризації чотирьом методами.

Кожен із алгоритмів вимагає налаштування параметрів кластеризації для його якісної роботи. Кластеризація сильно залежить від конкретного набору даних і мети аналізу. Отже, розглянемо, як кожен алгоритм працює в кожному випадку. Кожен набір даних має дві функції $X1$ і $X2$, які генерують точки кластерів із наведених вище розподілів, і мітку набору даних (для цілей візуалізації даних).

Функція `calc_cluster` приймає набір даних і параметри для кожного алгоритму як аргументи, обчислює кластери та додає відповідні мітки до кожного кластера даних. Функція `plot_cluster` приймає назву набору даних як аргумент і будує графіки кластерів, обчислених кожним алгоритмом.

Для кожного набору даних параметри алгоритму змінюються, щоб уникнути помилкового враження про недостатню продуктивність. Важливо відзначити, що DBSCAN іноді виводить «нульовий» кластер даних, який вказує на аутлаєри, виявлені алгоритмом.

Отже, розглянемо результати кластеризації найпростішого випадку – Галактика (Galaxy). Як видно (рисунок 2) у цьому найпростішому випадку немає проблем (за винятком точки «зловмисника» у синьому кластері, заданих k-Means).

Зрозуміло (рисунок 3), що найкраще з кластеризацією Sickle впоралися алгоритми DBSCAN та HAC. K-Means та GMM містять зелені точки даних у нижньому серпі. Це пов'язано з тим, що центр зеленого кластера знаходиться ближче до крайніх точок з нижнього кластера. Оце і є величезним недоліком вказаних двох підходів. Червона крапка у методі DBSCAN позначає нульовий кластер, тобто аутлаєр (викид). Алгоритм DBSCAN вважає червоне вимірювання аутлаєром в даних.

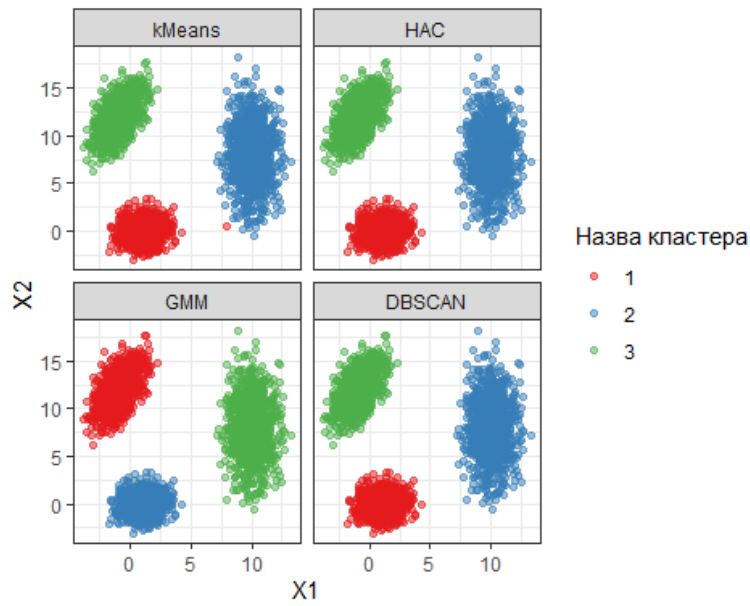


Рисунок 2 - Результати кластеризації набору даних Galaxy

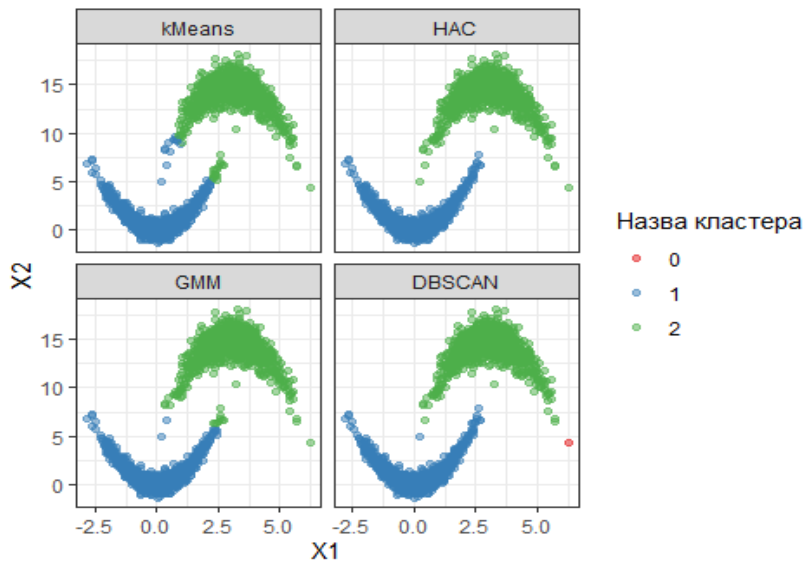


Рисунок 3 - Результати кластеризації набору даних Sickle

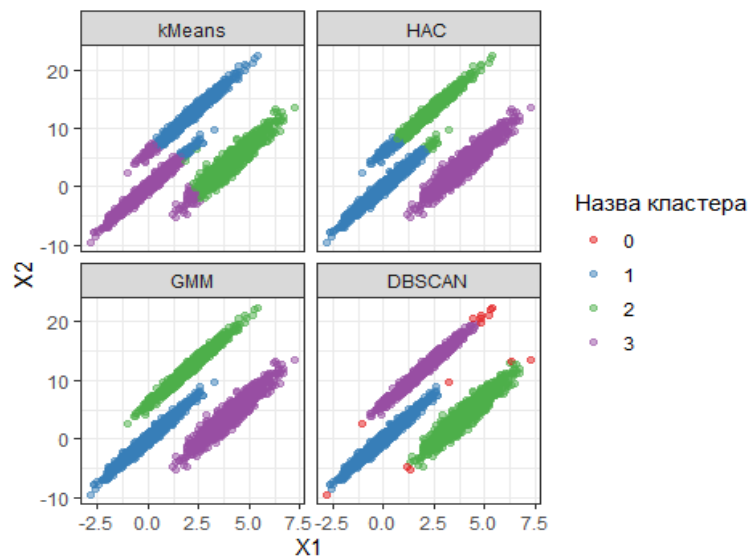


Рисунок 4 - Результати кластеризації набору даних Slash



Зрозуміло (рисунок 4), що лідерами у даному випадку є методи DBSCAN та GMM. У цьому випадку пальму першості віддаємо методу GMM, так як DBSCAN вказав на наявність аутлаєрів. К-Means та HAC (рисунок 4) не впоралися із кластеризацією у даному випадку.

Далі представлено результати (рисунок 5) кластеризації набору даних Eye чотирьох алгоритмами. Серед лідерів знову алгоритм DBSCAN та алгоритм HAC. К-Means та GMM здійснили неправильну кластеризацію.

Здається, що лідером є алгоритм DBSCAN. Подивимося на результати кластеризації. У даному випадку бачимо, що К-Means, GMM, HAC чудово впоралися із задачею класифікації, DBSCAN – не впорався.

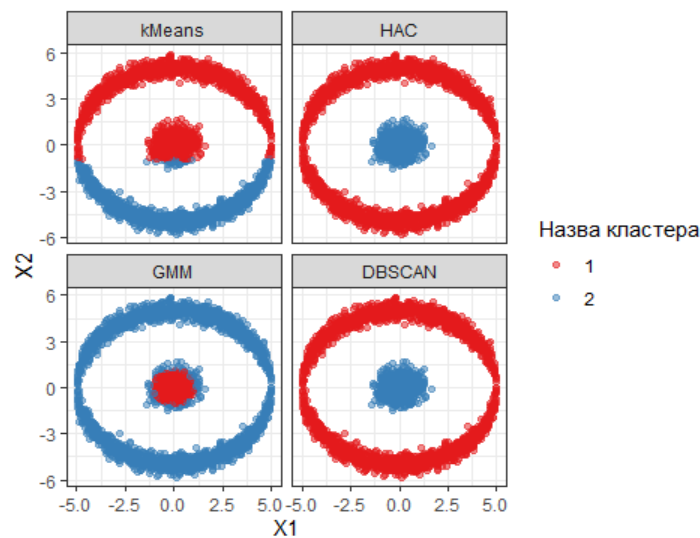


Рисунок 5 - Результати кластеризації набору даних Eye

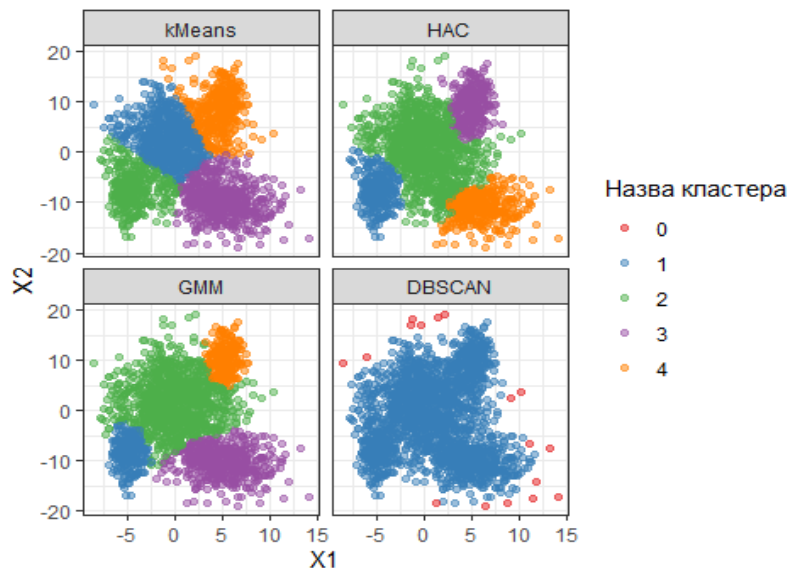


Рисунок 6 - Результати кластеризації набору даних Swarm

Для набору даних Swarm (рисунок 6) немає чітких меж між кластерами. Саме у цьому випадку важко використовувати DBSCAN, тому що просто неможливо вибрати параметри для розділення даних на певну кількість кластерів (у нашому випадку від 3 до 6). Наприклад, якщо значення ϵ зменшити, щоб



визначити менший окіл, отримаємо більше 15 кластерів.

Отже, розглянемо результати кластеризації. Маємо двох лідерів – DBSCAN (не впорався з набором Swarm) та HAC (не впорався з набором Slash), які правильно кластеризували 4 із 5 наборів даних. На другому місці – алгоритм GMM (не впорався з наборами Eye та Sickle), який правильно кластеризував 3 із 5 наборів даних. Алгоритм К-Means правильно кластеризував лише один набір даних. К-Means – це інтуїтивно зрозумілий швидкий алгоритм, але він не в змозі обробляти випадки, коли кластери погано розділені або перекриваються, оскільки центр кластера визначається середнім значенням його точок.

Розглянемо тепер результати кластеризації наборів даних Card, Wine, Elect. На рисунках 8-10 показано кластеризовані набори даних, відповідно. Здійснено кластеризацію даних Card (рисунок 8). Як бачимо, метод DBSCAN кластеризує дані на основі їх щільності. Дані є щільними біля точки початку координат. Тому цей алгоритм зобразив це скупчення одним кластером. Червоні крапочки вважаються аутлайєрами даних. Зелений кластер містить невелику кількість елементів. Інші три алгоритми кластеризації підсумовують, що дані Card варто розділити на 3 кластери. Проте метод поділу абсолютно відрізняються.

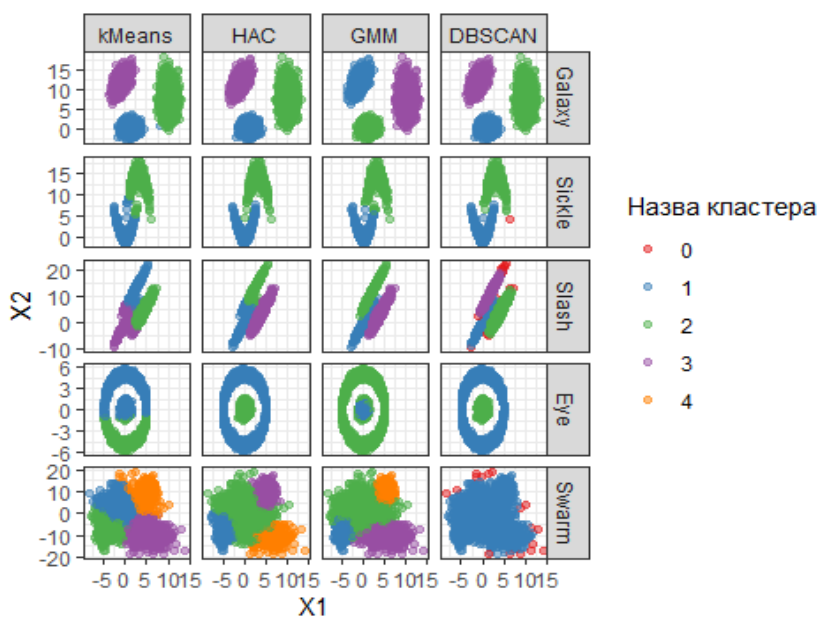


Рисунок 7 - Результати кластеризації усіх згенерованих наборів даних

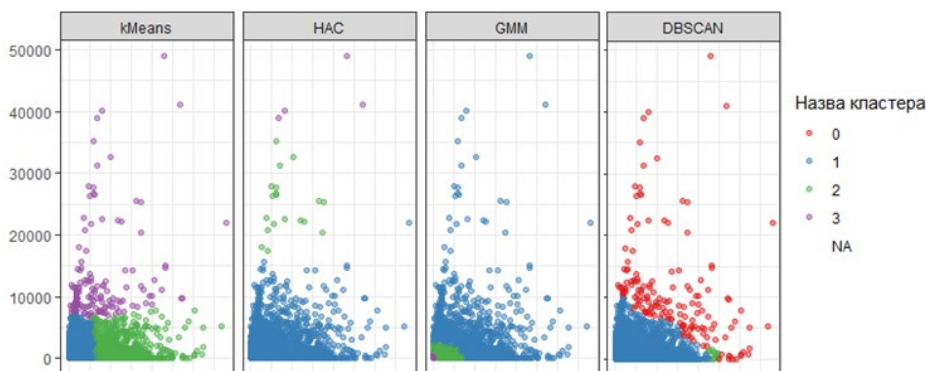


Рисунок 8 - Кластеризація набору даних Card



Показано кластеризацію даних Wine (рисунок 9). Як бачимо, алгоритми кластеризації kMeans, HAC, GMM здійснили схоже розбиття на 3 групи вхідних даних. Метод DBSCAN кластеризував дані на два кластери. Знову причиною є щільність точок даних зі зростанням Y координати.

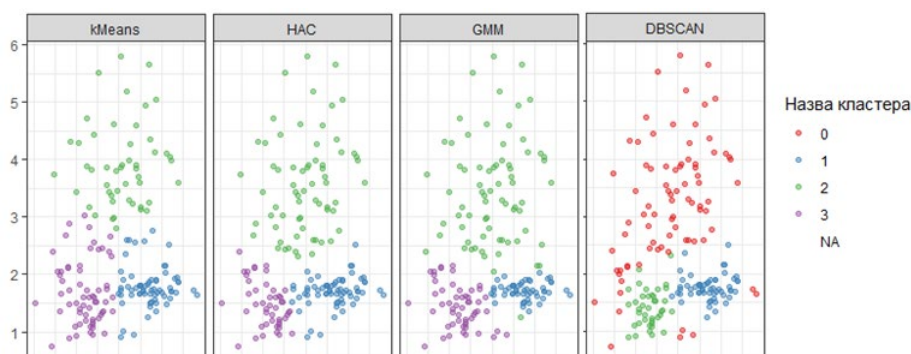


Рисунок 9 - Кластеризація набору даних Wine

Показано кластеризацію даних для набору Elect (рисунок 10). Тут знову результати кластеризації даних алгоритмами kMeans, HAC, GMM є схожими, а результати кластеризації за допомогою алгоритму DBSCAN відрізняються.

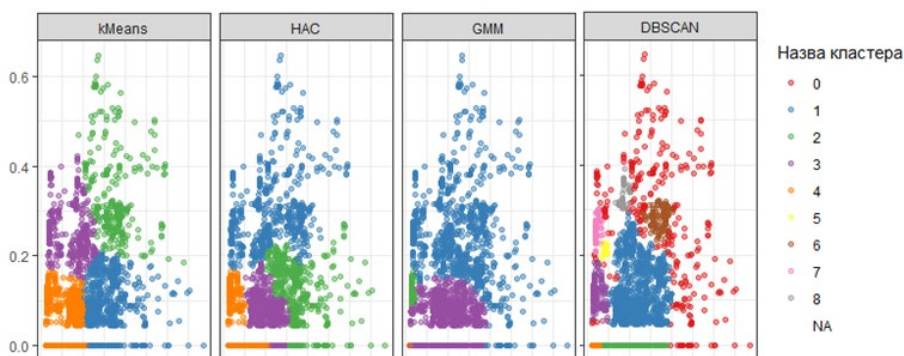


Рисунок 10 - Кластеризація набору даних Elect

3. Створення Shiny App

У середовищі R Programming за допомогою пакету RStudio створено Shiny App (інтерактивна веб-сторінка). Shiny сторінку розміщено на безкоштовному хмарному сервері shinyapps.io. Меню веб-додатку складається із вигляду вхідних даних, знаходження оптимальної кількості кластерів за допомогою чотирьох підходів та демонстрації або інтерактивної кластеризації даних на вибрану кількість кластерів. Веб-сторінка доступна за наступним посиланням: <https://wc7rar-brainshturm-math0statistics0science.shinyapps.io/Nick/>.

Використовуючи веб-додатки Shiny, кластеризація даних стає набагато зрозумілішою задачею. Використовуємо набір даних про кредитні картки клієнтів банку Card.

Для кластеризації використовуємо стовпці 2 та 3. Наступні рисунки 12-13 показують результат роботи методів визначення оптимальної кількості кластерів – NbClust, Метод ліктя, Метод силуету, Gap Statistic Method. Кожен із цих методів показує різну оптимальну кількість кластерів. Це ще один доказ того, що



немає універсальних підходів та методів. Задача оптимальної кластеризації даних залишається відкритою.

Кластеризація даних

Вхідні дані

CUST_ID	BALANCE	PURCHASES	ONEOFF_PURCHASES	INSTALLMENTS_PURCHASES	CASH_ADVANCE	PURCHASES_FREQUENCY
C10001	40.90	95.40	0.00	95.40	0.00	0.17
C10002	3202.47	0.00	0.00	0.00	6442.95	0.00
C10003	2495.15	773.17	773.17	0.00	0.00	1.00
C10005	817.71	16.00	16.00	0.00	0.00	0.08
C10006	1809.83	1333.28	0.00	1333.28	0.00	0.67
C10007	627.26	7091.01	6402.63	688.38	0.00	1.00
C10008	1823.65	436.20	0.00	436.20	0.00	1.00
C10009	1014.93	861.49	661.49	200.00	0.00	0.33
C10010	152.23	1281.60	1281.60	0.00	0.00	0.17
C10011	1293.12	920.12	0.00	920.12	0.00	1.00
C10012	630.79	1492.18	1492.18	0.00	0.00	0.25
C10013	1516.93	3217.99	2500.23	717.76	0.00	1.00
C10014	921.69	2137.93	419.96	1717.97	0.00	0.75
C10015	2772.77	0.00	0.00	0.00	346.81	0.00
C10016	6886.21	1611.70	0.00	1611.70	2301.49	0.00
C10017	2072.07	0.00	0.00	0.00	2784.27	0.00

Рисунок 11 - Вигляд вхідних даних

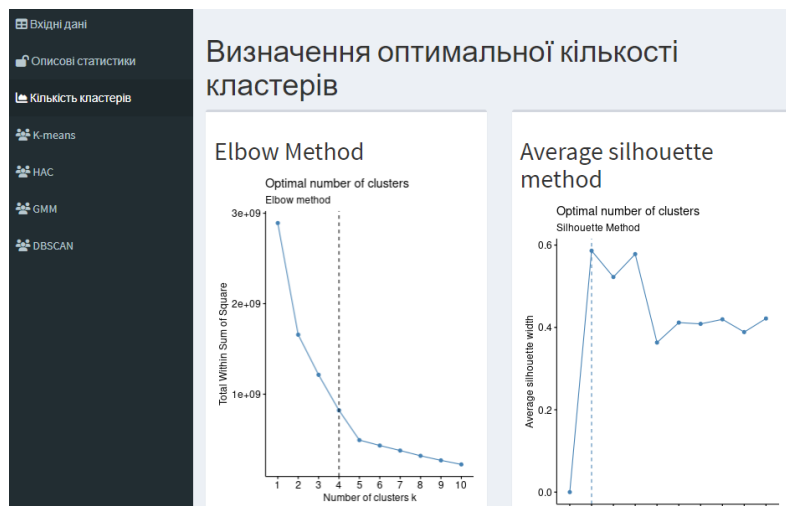


Рисунок 12 - Визначення оптимальної кількості кластерів

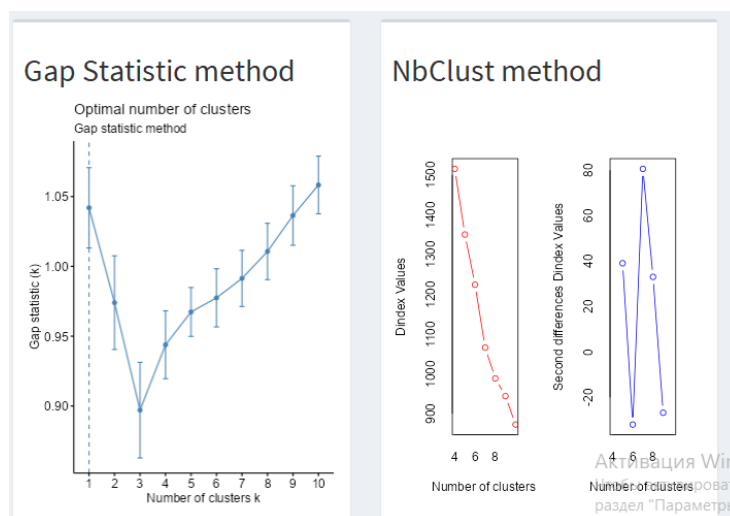


Рисунок 13 - Визначення оптимальної кількості кластерів

Наступні рисунки показують статистику кластеризації та сам процес кластеризації за допомогою чотирьох підходів.



Рисунок 14 - Кластеризація даних методом DBSCAN на 6 кластерів

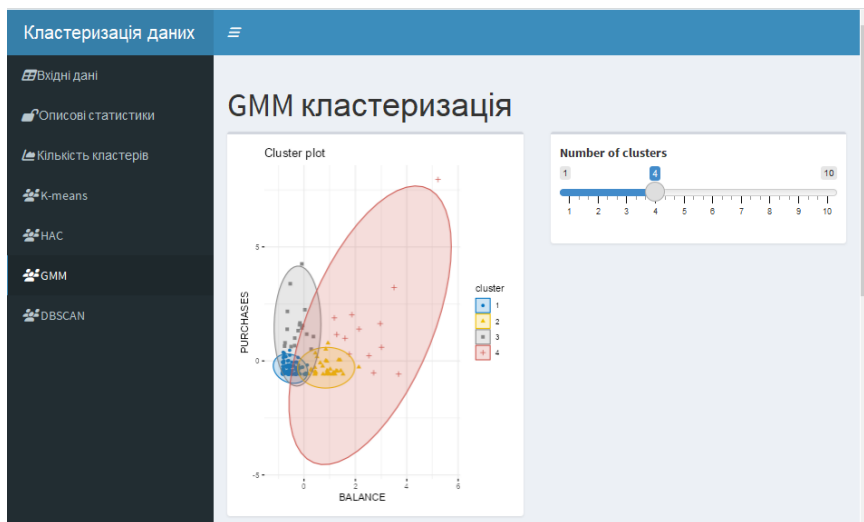


Рисунок 15 - Кластеризація даних методом GMM на 4 кластери

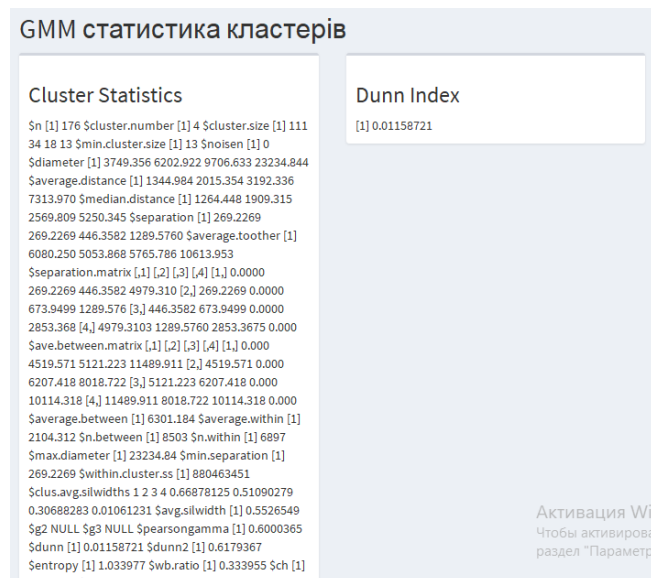


Рисунок 16 - Статистика GMM кластеризації

Індекс Dunn є мірою валідності кластерів, яка використовується для оцінки якості рішень кластеризації. Чим меншим є індекс Dunn, тим точніше здійснено кластеризацію даних.

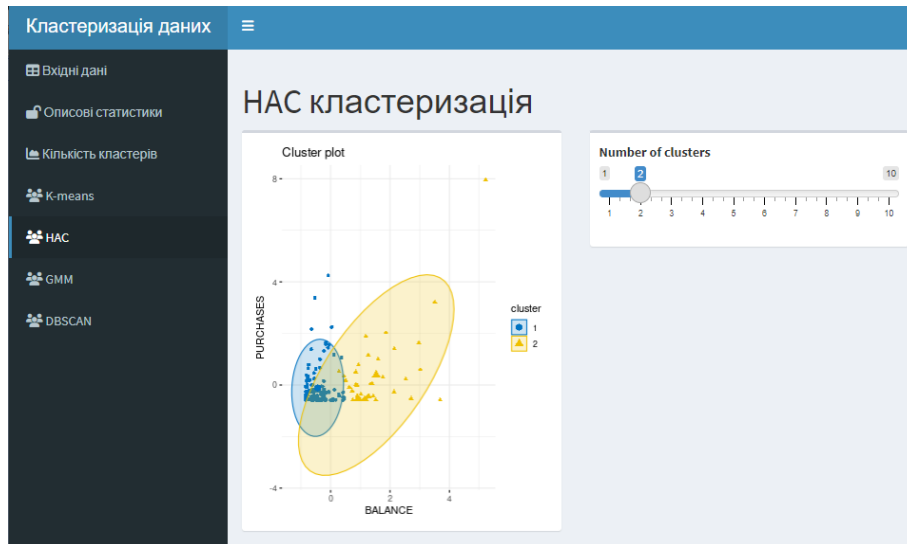


Рисунок 17 - Кластеризація даних методом HAC на 2 кластери

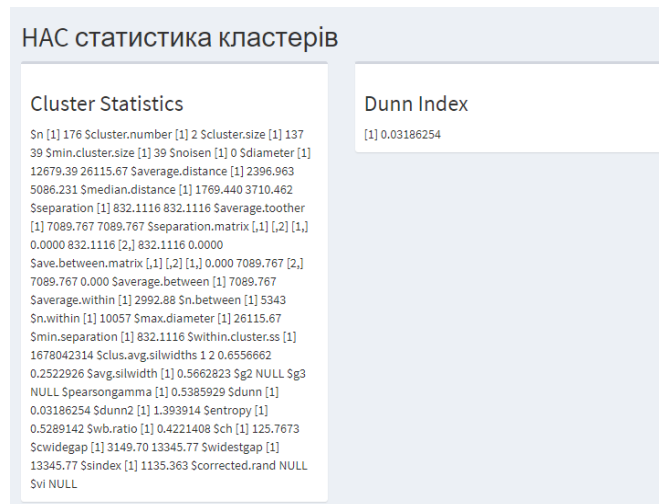


Рисунок 18 - Статистика HAC кластеризації

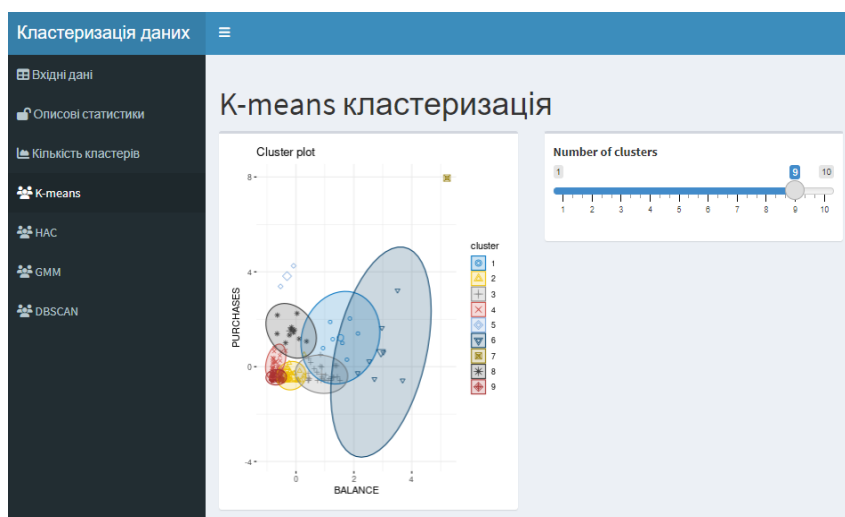


Рисунок 19 - Кластеризація даних методом k-Means на 9 кластерів

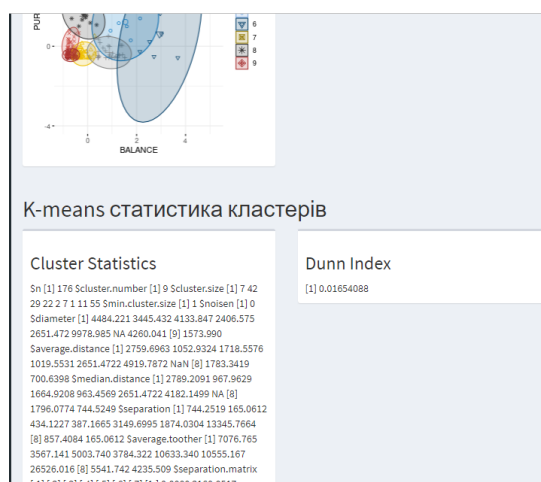


Рисунок 20 - Статистика k-Means кластеризації

Висновки.

Кластеризація є однією з найбільш фундаментальних проблем інтелектуального аналізу даних через її численні застосування для сегментації клієнтів, цільового маркетингу та узагальнення даних.

У даній статті проведено порівняння алгоритмів кластеризації даних. Набори даних були попередньо згенерованими за допомогою нормального та рівномірного розподілів. Для кожного з отриманих наборів даних застосовано перелічені алгоритми кластеризації та визначено кращий алгоритм за результатом усіх кластеризацій. Показано, що серед розглянутих алгоритмів найкраще з задачею кластеризації впоралися алгоритми DBSCAN та HAC. За допомогою трьох наборів даних, отриманих з платформи Kaggle, здійснено кластеризацію реальних даних. Демонстрацію роботи алгоритмів кластеризації даних здійснено з використанням пакету Shiny у створеному веб-додатку. Отриманий веб-додаток розміщено на хмарному сервері shinyapps.io.

Література:

- [1] . Simulations, Of & Zaidi, Habib & Labb, Claire & Morel, Christian. (1999). Improvement of the performance and accuracy of PET Monte Carlo simulations. Proc. SPIE. 3659. 10.1117/12.349537
- [2] Doroshenko I.V., Knihnitska T.V., Deretorska T.I. Comparison of machine learning algorithms for predicting mortality from Covid-19 virus // Sworld Jornal Issue No11, Part 2 January 2022 – P. 72-77 (<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj11-02-045>).

Abstract. The article compares the comparison of data clustering algorithms: K-Means, Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC), Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN), Expectation–Maximization clustering using Gaussian Mixture Models (GMM). The comparison is made thanks to pre-generated data sets that have different behavior: concentric circles (2 clusters), stripes (3), clouds (3), inseparable set (1), crescents (2). For each of the data sets, the listed methods are applied and the best clustering algorithm for a certain type of data is determined. Data clustering algorithms were applied to three sets of real data. An interactive web application for interactive data clustering using the mentioned algorithms has been created, which is deployed on the shinyapps.io cloud server.



Keywords: *data clustering, cluster analysis, K-Means, Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC), Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN), Expectation–Maximization clustering using Gaussian Mixture Models (GMM).*

Статья отправлена: 19.01.2024 р.
© Дорошенко І.В.



УДК 539.3

ON THE ISSUE OF SPLITTING MULTIPLE FREQUENCIES OF FREE OSCILLATIONS OF THE ROTOR ON THE ELASTIC SHAFT
ДО ПИТАННЯ РОЗЩЕПЛЕННЯ КРАТНИХ ЧАСТОТ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ РОТОРА НА ПРУЖНОМУ ВАЛУ

Meish Y.A. / Мейш Ю.А.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7492-700X>*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, H.Oborony, 12, 03041**Національний університет біоресурсів і природокористування України,**Kyiv, z.Oborony, 12, 03041***Belova M.A. / Белова М.О.**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0546-8094>*s.ph. and m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.**State University of Trade and Economics, Kyiv, Kyoto, 19,02156**Державний торговельно-економічний університет, Київ, Кіото, 19, 02156*

Анотація. Тонкостінні ротори мають складну геометричну форму, викликану розгалуженістю їх меридіонального перетину і поєднання в одну систему оболонок від'ємної гаусової кривини, циліндричних і конічних оболонок, а також дисків, лопаток і кілець. В статті розглянуто питання щодо впливу значення кутової швидкості ротора на частоти його вільних коливань та на форми цих коливань, проаналізовано також зв'язок між значеннями цих частот та критичними швидкостями обертання, при яких вал, що несе ротор, випучується. На конкретному прикладі було проведено теоретичне дослідження та зроблені висновки, що обертання пружного ротору призводить до розщеплення його кратної частоти, при цьому одна із розщеплених частот зменшується на величину кутової швидкості, а друга зростає на цю величину. Форма коливань ротора приймає вигляд, в якому його рух здійснюється із постійною швидкістю по колу в напрямку обертання ротору для меншої із розщеплених частот і центр рухається по колу проти напрямку обертання для більшої із розщеплених частот. Сталі величини, в яких одна із частот власних коливань ротору, який обертається, перетворюється в нуль, є критичними. В них рівноважний стан ротору стає нестійким. Розглянутий приклад має важливе практичне призначення, оскільки він може бути моделлю статичної та динамічної поведінки ротору турбіни, який приєднано до середини пружного валу що обертається.

Ключові слова: тонкостінні ротори, рівняння коливань, критичні величини, вільні коливання, кратні частоти, рівняння рівноваги.

Вступ.

Тонкостінні ротори є найбільш відповідальними робочими елементами турбоустановок. Зазвичай вони мають складну геометричну форму, викликану розгалуженістю їх меридіонального перетину і поєднання в одну систему оболонок від'ємної гаусової кривини, циліндричних і конічних оболонок, а також дисків, лопаток і кілець. В турбобудуванні широко зустрічаються задачі про коливання та стійкість роторів, що обертаються. Розглянемо питання про аналіз впливу значення кутової швидкості ротора на частоти його вільних коливань та на форми цих коливань. Проаналізуємо також зв'язок між значеннями цих частот та критичними швидкостями обертання, при яких вал, що несе ротор, випучується.



Основний текст.

Розглянемо систему із двома ступенями вільності. Нехай ротор масою m утримується в недеформованому стані на пружному валу.

Сполучним з його центром мас початок системи координат Oxy , яка зв'язана з площиною переміщення мас і може обертатися разом з нею відносно точки O з кутовою швидкістю ω . Складемо рівняння рівноваги ротору маси m на площині. В системі координат Oxy що обертається, вони мають вигляд однорідної системи:

$$\begin{cases} m\omega^2 x - kx = 0, \\ m\omega^2 y - ky = 0 \end{cases} \quad (1)$$

де k – коефіцієнт пружної жорсткості валу в точці прикріплення ротору.

Очевидно, що при довільній кутовій швидкості ω ротор може залишатися в стані рівноваги $x=0$, $y=0$. Але, значення $\omega_{кр} = \sqrt{k/m}$, як і в системі з одним ступенем вільності є критичним, оскільки в цьому випадку система (1) вироджується. Для аналізу стійкості стану рівноваги в перед критичному та за критичному станах необхідно проаналізувати рух ротору в положенні $x=0$, $y=0$. В цьому випадку рух ротору, який обертається є складним і це необхідно врахувати при підрахунку сил інерції. Тому рівняння коливань приймають форму:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + (k - m\omega^2)x - 2m\omega\dot{y} = 0, \\ m\ddot{y} + (k - m\omega^2)y + 2m\omega\dot{x} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

При виведенні рівнянь (1) та підрахунку сил інерції враховано прискорення Кориоліса [1]:

$$\vec{a}^c = 2\vec{\omega} \times \vec{v}_r = 2\omega\vec{k} \times (\dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j}) = 2\omega(\dot{x}\vec{j} - \dot{y}\vec{i}), \quad (3)$$

де i, j – орти осей Ox , Oy .

Підкреслимо, що прискорення (3) приводить до включення в (2) кососиметричних складових із швидкостями \dot{x}, \dot{y} , які роблять її системою гіроскопічного типу. Система (2) ілюструє відмінність коливань мас, що обертаються та не обертаються. Так, якщо ротор не обертається і $\omega = 0$, то вона приводиться до виду:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + kx = 0, \\ m\ddot{y} + ky = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Коливання центру мас ротору вздовж осей x та y є не пов'язаними і відбувається з рівними (кратними) частотами $\beta_0 = \sqrt{k/m}$. Однак, коли система починає обертатися з кутовою швидкістю ω , рухи вздовж осей x та y стають зв'язаними, і вони описуються зв'язаною системою рівнянь (2). При цьому форми коливань одержують якісні зміни, оскільки ротор у відповідності із рівнянням (2) зможе здійснювати тільки обертові рухи.

Дійсно, система (4) допускає два розв'язки з формами коливань із



однаковими фазами.

$$\begin{cases} x_1(t) = C_1 \sin \beta_0 t, \\ y_1(t) = 0, \end{cases} \quad \begin{cases} x_2(t) = 0, \\ y_2(t) = C_2 \sin \beta_0 t. \end{cases} \quad (5)$$

Безпосередньої підстановкою упевнюємося, що рівняння (2) коливань мас, що обертаються, не дозволяють розв'язків у формі (5). У зв'язку із цим будемо шукати його у вигляді:

$$\begin{cases} x = C_1 \sin \beta t, \\ y = C_2 \cos \beta t. \end{cases} \quad (6)$$

Підставляючи (6) в (2), одержимо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} (k - m\omega^2 - m\beta^2)C_1 + 2m\omega\beta C_2 = 0, \\ 2m\omega\beta C_1 + (k - m\omega^2 - m\beta^2)C_2 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

для визначення C_1, C_2 .

Вона має нетривіальний розв'язок, якщо визначник матриці коефіцієнтів її правих частин дорівнює 0, тобто має місце характеристичне рівняння:

$$m^2 \beta^4 - 2(k + m\omega^2)m\beta^2 + (k - m\omega^2)^2 = 0. \quad (8)$$

Позначимо $\beta^2 = B$ та перепишемо (8) у формі:

$$m^2 B^2 - 2(k + m\omega^2)mB + (k - m\omega^2)^2 = 0. \quad (9)$$

Рівняння (9) має корені:

$$B_{1,2} = \frac{(k + m\omega^2) \pm 2\omega\sqrt{km}}{m} = \beta_0^2 + \omega^2 \pm 2\beta_0\omega$$

або

$$\begin{cases} \beta_1 = \beta_0 + \omega, \\ \beta_2 = \beta_0 - \omega. \end{cases} \quad (10)$$

Таким чином, для ротору, що обертається на площині, є дві частоти β_1 та β_2 , які співпадають та дорівнюють β_0 при $\omega = 0$ і приймають різні значення (розщеплюються) при $\omega > 0$, причому різниця між значеннями цих частот зростає із ростом ω і завжди дорівнює 2ω .

Побудуємо форми коливань, які відповідають кожній із знайдених частот β_1 и β_2 . Для цього підставимо спочатку значення $\beta_1 = \beta_0 + \omega$, наприклад, в перше рівняння системи (7).

Одержимо:

$$-2\omega(\beta_0 + \omega)C_1 + 2\omega(\beta_0 + \omega)C_2 = 0.$$

Це рівняння має рішення

$$C_1 = C_2 = C. \quad (11)$$

З його допомогою на основі рівності (6) будується форма руху центру мас ротора в площині, яка перпендикулярна до осі обертання:

$$\begin{cases} x = C \sin(\beta_0 + \omega)t, \\ y = C \cos(\beta_0 + \omega)t = 0. \end{cases} \quad (12)$$



Рівності (12) свідчать про те, що для цієї форми коливань центр мас здійснює рух по колу радіусу C на площині Oxy , яка обертається із постійною швидкістю $\beta_0 + \omega$ та має напрям, протилежний до напрямку обертання ротору. Такий рух назвемо зворотною регулярною прецесією [1, 2].

Побудуємо тепер форму руху для частоти β_2 . Підставимо знову $\beta = \beta_0 - \omega$ в перше рівняння системи (7). Одержимо:

$$2\omega(\beta_0 - \omega)C_1 + 2\omega(\beta_0 - \omega)C_2 = 0.$$

Це рівняння має розв'язок при $C = C_1 = -C_2$.

Для нього форма:

$$\begin{cases} x = C \sin(\beta_0 - \omega)t, \\ y = -C \cos(\beta_0 - \omega)t. \end{cases} \quad (13)$$

На відміну від попереднього випадку тут центр має здійснює рух на площині по колу радіусу C з постійною кутовою швидкістю $\beta_2 = \beta - \omega$ в напрямку, що співпадає із напрямком обертання площини. Такий рух має назву прямої регулярної процесії.

Проаналізуємо зв'язок критичної рівноваги у стані $x=0, y=0$ із значеннями частот β_1, β_2 власних коливань. Критичні стани при $\omega = \omega_{кр}$ частота β_2 , дорівнює $\beta_0 / -\omega_{кр} = \sqrt{k/m} - \sqrt{k/m}$, приймає нульове значення. У зв'язку із цим рівність нулю частоти β_2 може служити динамічним критерієм появи критичного стану [3].

Висновки.

Тепер на основі розглянутого прикладу можемо зробити важливі висновки.

1. Обертання пружного ротору призводить до розщеплення його кратної частоти, при цьому одна із розщеплених частот зменшується на величину кутової швидкості, а друга зростає на цю величину, тому різниця між значеннями розщеплених частот завжди дорівнюватиме 2ω .

2. Форма коливань ротора приймає вигляд, в якому його рух здійснюється із постійною швидкістю по колу в напрямку обертання ротору для меншої із розщеплених частот (пряма регулярна прецесія) і центр рухається по колу проти напрямку обертання для більшої із розщеплених частот (зворотна регулярна прецесія).

3. Сталі величини, в яких одна із частот власних коливань ротору, що обертається, перетворюється в нуль, є критичними. В них рівноважний стан ротору стає нестійким.

Розглянутий приклад має важливе практичне призначення, оскільки він може бути моделлю статичної та динамічної поведінки ротору турбіни, який приєднано до середини пружного валу що обертається, пружна податливість в центрі якого характеризується величиною k . В такій турбосистемі проявляються всі означені вище особливості зміни частот і форми коливань та появи критичних станів.

**Література:**

1. Gulyayev V.I., Solovjov I.L., Lugovy P.Z. Analysis of precession vibrations of thin-wall elastic shells in compound rotation. // J. Sound and Vibr. –2001. – 246, № 3 - P. 491-504. DOI: 10.1006/jsvi.2001.3649
2. Meish V.F., Meish Yu.A., Arnauta N.V. Numerical Analysis of Unsteady Oscillations of Discretely Reinforced Multilayer Shells of Variable Geometries // Int. Appl. Mech. – 2019. – 55, N 4. – P. 426 – 433. DOI: 10.1007/s10778-019-00962-2
3. Meish V.F., Meish Yu.A., Belova M.A. Nonstationary Dynamics of Elliptic Isotropic Conical Shells under Distributed Loads // Int. Appl. Mech. – 2020. – 56, N 4. – P. 424 – 431. DOI: 10.1007/s10778-020-01026-6

Abstract. *Thin-walled rotors have a complex geometric shape caused by the branching of their meridional cross-section and the combination of shells of negative Gaussian curvature, cylindrical and conical shells, as well as disks, blades and rings into one system. The main section of the article deals with the problem of the influence of the angular speed of rotation of the rotor on the frequency of its free oscillations. It is shown that the rotation of the rotor is accompanied by the effect of splitting its multiple frequencies and the generation of precessional forms of oscillations. The relationship between these frequencies and critical rotation speeds has been established. It was concluded that the rotation of the elastic rotor leads to the splitting of its multiple frequency, while one of the split frequencies decreases by the amount of angular velocity, and the second increases by this amount. The shape of the rotor oscillations takes the form in which its movement is carried out at a constant speed in a circle in the direction of rotation of the rotor for the lower of the split frequencies and the center moves in a circle against the direction of rotation for the higher of the split frequencies. The constant values in which one of the frequencies of natural oscillations of the rotating rotor becomes zero are critical. In them, the equilibrium state of the rotor becomes unstable. The considered example has an important practical purpose, as it can be a model of static and dynamic behavior of a turbine rotor, which is attached to the middle of an elastic rotating shaft.*

Key words: *thin-walled rotors, equations of oscillations, critical quantities, free oscillations, multiple frequencies, equations of equilibrium.*

Стаття надіслана: 18.01.2024 р.

© Белова М.О.

**CONTENTS****Innovative engineering, technology and industry**

- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-004> 3
CONTROL NODAL VOLTAGE LOSSES OF ELECTRIC POWER
SYSTEM WITH CORRECTION TRANSFORMATION RATIOS
Arakelyan Varuzhan Pavlik
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-006> 11
IMPLEMENTATION OF THE FUNCTION OF STEPWISE
CURRENT RELAY PROTECTION BASED ON A PARALLEL
OPERATION PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER
Hrytsenko S.D., Piskarov O.M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-009> 15
SEARCH FOR STATE PARAMETERS OF THERMODYNAMIC
MODELS OF GAS TURBINE SYSTEMS WITH DIFFERENT
THRUST AMOUNTS
Lobunko O.P.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-013> 23
IMPLEMENTATION OF THE SAFETY MANAGEMENT SYSTEM
FOR THE PRODUCTION OF CORN GLUTEN-FREE PASTA ON
THE BASIS OF THE HACCP CONCEPT
Stukalska N.M., Rakuta H.P.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-016> 31
THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT
ON THE MECHANICAL WEAR OF THE WORKING ORGANS
OF THE MACHINE
Stadnyk I.Y., Derkach A.B.
Kravcheniuk H. U., Fedoriv V.M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-018> 39
USING THE METHOD OF GROUP TRAINING OF MECHANICAL
STUDENTS
Kisietov J.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-019> 46
EXPERIMENTAL STUDIES OF GRAIN DRYING WITH MW –
CONVECTIVE CYCLIC ENERGY SUPPLY
Boshkova I. L., Volgusheva N. V.
Boshkov L. Z., Kapauz K. O.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-020> 51
DIAMOND-CONTAINING POLYCRYSTALLINE COMPOSITE
MATERIALS AND METHODS OF THEIR PRODUCTION
Sokolov O.M., Harhin V.H.



- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-021> 57
ANALYSIS OF VOLTAGE CHANGES IN LOCAL LOW-VOLTAGE GRIDS WITH CONNECTED PHOTOELECTRIC PLANTS AND ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF FORECASTING THESE CHANGES
Batsala Y.V., Fedoriv M., Zhyvchyn P.P.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-022> 63
STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF CENTRAL PUMPING MAIN UNITS
Nahirnyi P.I., Nykolyn P.M., Nykolyn U.M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-030> 69
INCREASING THE RESISTANCE OF WELDING JOINTS IN MEDIUM CARBON STEEL PRIOR TO CTACK FORMATION
Klochko O.Yu., Deryabkina E.S.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-034> 74
IMPLEMENTATION OF HIGH-SPEED MICROPROCESSOR BACKUP POWER SOURCES AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE
Fedoriv M.Y., Hlad I.V., Batsala Y.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-035> 80
THERMOCHEMICAL CONVERSION OF FINE FRACTION SOLID FUEL INTO COMBUSTIBLE GAS
Sklyarenko E.V., Vorobiov L.Y.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-037> 92
DEVELOPMENT OF A SAFETY MANAGEMENT SYSTEM FOR DIET PRODUCTION ON THE BASIS OF HACCP PRINCIPLES IN RESTAURANT ESTABLISHMENTS
Koretska I., Maslikov M., Kocherha Y., Bondarenko O.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-047> 104
STUDY OF THE INFLUENCE OF ORGANIC PUMPKIN PURE ON THE QUALITY OF BREAD WITH OAT FLOUR
Hryshchenko A.M., Hanzyna B.O., Kosmyk A.R.

Computer science, cybernetics and automatics

- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-033> 111
METHODS OF INCREASE RELIABILITY IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS
Radchenko S.S., Demchenko K.V., Hrytsenko S.D.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj23-00-038> 116
COMPARISON OF DATA CLUSTERING ALGORITHMS
Doroshenko I.V., Knihnitska T.V., Kreshtanovych M.A.



**ON THE ISSUE OF SPLITTING MULTIPLE FREQUENCIES
OF FREE OSCILLATIONS OF THE ROTOR ON THE
ELASTIC SHAFT**

Meish Y.A., Belova M.A.



Scientific publication

International periodic scientific journal

Scientific World Journal

Issue №23
Part 1
January 2024

Indexed in
INDEX COPERNICUS
high impact factor (ICV: 87)

Articles published in the author's edition

*Academy of Economics named after D.A. Tsenov
Bulgaria jointly with SWorld*

Signed: January 30, 2024

e-mail: editor@sworldjournal.com

site: www.sworldjournal.com



www.sworldjournal.com





www.sworldjournal.com