

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**



# **ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**МАТЕРІАЛИ**

**XXII** МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ



**КРАМАТОРСЬК-ТЕРНОПІЛЬ 2024**

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Краматорський завод важкого машинобудування  
Перечинський механічний завод  
Донецький національний технічний університет  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України  
Луцький національний технічний університет  
Національний університет «Одеська політехніка»  
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Національний університет «Чернігівська політехніка»  
Сумський державний університет

# **ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**МАТЕРІАЛИ**  
XXII Міжнародної  
науково-технічної конференції

Краматорськ-Тернопіль 2024

**УДК 621.9**

Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XXII Міжнародної науково-технічної конференції 28 – 30 травня 2024 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ-Тернопіль: ДДМА, 2024. — 228 с.

**ISBN 978-617-7889-70-9**

В збірнику наведені матеріали до вирішення актуальних проблем важкого машинобудування, конструювання, виготовлення та експлуатації машин, верстатів, інструментів, розробки та впровадження прогресивних енергозберігаючих технологій та ін.

### **ОСНОВНА ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ**

1. Сучасні проблеми машинобудування, металообробки, якості технологічних систем.
2. Нові напрямки розвитку процесів металообробки, металорізальних верстатів та інструментів.
3. Прогресивна техніка і технології для важкого машинобудування.
4. Нові інформаційні технології в управлінні виробництвом.
5. Проблеми інженерної освіти та підготовки кадрів вищої кваліфікації.
6. Автоматизація технологічних і виробничих процесів.
7. Обчислювальні мережі і системи, елементи і пристрої обчислювальної техніки та систем керування.
8. Застосування математичного моделювання в техніці та економіці.
9. Менеджмент та маркетинг.

Робочі мови конференції – українська, англійська, німецька.

## МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

### Голова

**Ковальов В.Д.,**

д.т.н., проф., ректор ДДМА

### Члени програмного комітету:

**Алієв І.С.,**

д.т.н., проф. зав. каф. ДДМА

**Антонюк В.С.,**

д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Васильченко Я.В.,**

д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА

**Воронцов Б.С.,**

д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Гасанов М.І.,**

д.т.н., проф., проректор НТУ "ХПІ"

**Грицай І.Є.,**

д.т.н., проф., НУ "Львівська політехніка"

**Данильченко Ю.М.,**

д.т.н., проф., зав. каф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Дашич П.,**

проф. ВТМІ, Трстенік, Сербія

**Заковоротний О.Ю.,**

д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"

**Залога В.О.,**

д.т.н., проф. СумДУ

**Калафатова Л.П.,**

д.т.н., проф. ДонНТУ

**Кассов В.Д.,**

д.т.н., проф., декан ФМ ДДМА

**Клименко Г.П.,**

д.т.н., проф. ДДМА

**Клименко С.А.,**

д.т.н., проф., член-кор. НАНУ, заст. директора ІНМ ім. В. Бакуля НАНУ

**Клочко О.О.,**

д.т.н., проф. НТУ "ХПІ"

**Козинський Ю.В.**

директор Перечинський механічний завод "ПМЗ"

**Луців І.В.,**

д.т.н., проф. ТНТУ ім. І. Пулюя

**Майборода В.С.,**

д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Марков О.Є.**

д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА

**Мельничук П.П.,**

д.т.н., проф., почесний ректор ДУ "Житомирська політехніка"

**Мироненко Є.В.,**

д.т.н., проф., декан ФЕМ ДДМА

**Митник М.М.,**

к.т.н., доц., ректор ТНТУ ім. І. Пулюя

**Онисько О.Р.,**

д.т.н., проф. ІФНТУНГ

**Панчук В.Г.,**

д.т.н., проф., зав. каф. ІФНТУНГ

**Пасічник В.А.,**

д.т.н., проф., проректор КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Пермяков О.А.,**

д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"

**Петраков Ю.В.,**

д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Повстяной О.Ю.,**

д.т.н., проф. ЛНТУ

**Равська Н.С.,**

д.т.н., почесний проф. ДДМА

**Рібайн Ф.,**

ген. директор "Heidenhain", Німеччина

**Родічев Ю.М.,**

к.т.н., с.н.с., завідувач відділу ІПМіц ім. Г.С.Писаренка НАН України

**Сорока О.Б.,**

д.т.н., ІПМіц ім. Г.С.Писаренка НАН України

**Струтинський В.Б.,**

д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

<b>Ступницький В.В.</b>	д.т.н., проф., зав. каф. НУ "Львівська політехніка"
<b>Тонконогий В.М.,</b>	д.т.н., проф., директор ІПТДМ НУ "Одеська політехніка"
<b>Турчанін М.А.,</b>	д.х.н., проф., проректор ДДМА
<b>Чуприна В.М.,</b>	д.т.н., доц., ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки м. Чернігів
<b>Чухліб В.Л.,</b>	д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"
<b>Шевченко О.П.</b>	директор з персоналу Краматорський завод важкого машинобудування "КЗВВ"
<b>Шелковой А.Н.,</b>	д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"
<b>Ehrentreich Torsten,</b>	Dipl. Ingenieur, Berlin, Germany
<b>Michał Bembenek,</b>	Professor, AGH University of Science and Technology, Poland
<b>Volodymyr</b>	Dr hab. Eng., Professor, MUT Institute of Robots and Machine Design   Department of Manufacturing Technologies Faculty
<b>Hutsaylyuk,</b>	Mechanical Engineering Military University of Technology
<b>Jarosław Ziółkowski,</b>	PhD, DSc, Prof., Military University of Technology   WAT • Faculty of Mechanical Engineering
<b>Justyna Żylińska,</b>	Dr, rector of Helena Chodkowska University of Technology and Economics in Warsaw
<b>Iwona Przychocka</b>	Dr hab., professor, prorector of Helena Chodkowska University of Technology and Economics

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

<b>Голова</b>	<b>Васильченко Я.В.,</b> д.т.н., проф., зав. каф. КМСІТ, ДДМА
<b>Вчений секретар</b>	<b>Шаповалов М.В.,</b> к.т.н.
<b>Члени організаційного комітету</b>	<b>Антоненко Я.С.,</b> к.т.н.; <b>Анциферова О.О.,</b> к.т.н.; <b>Буховець В.М.,</b> к.т.н.; <b>Васильченко Ю.В.,</b> <b>Волошин В.Н.,</b> к.т.н.; <b>Кобельник В.Р.,</b> к.т.н.; <b>Копейкіна М.Ю.,</b> к.т.н.; <b>Лещук Р.Я.,</b> к.т.н.; <b>Сеник А.А.,</b> к.т.н.; <b>Сенчишин В.С.,</b> к.т.н.; <b>Сорокіна Т.О.,</b> к.т.н.; <b>Хорошайло В.В.,</b> к.т.н.; <b>Юрчишин О.Я.,</b> к.т.н.

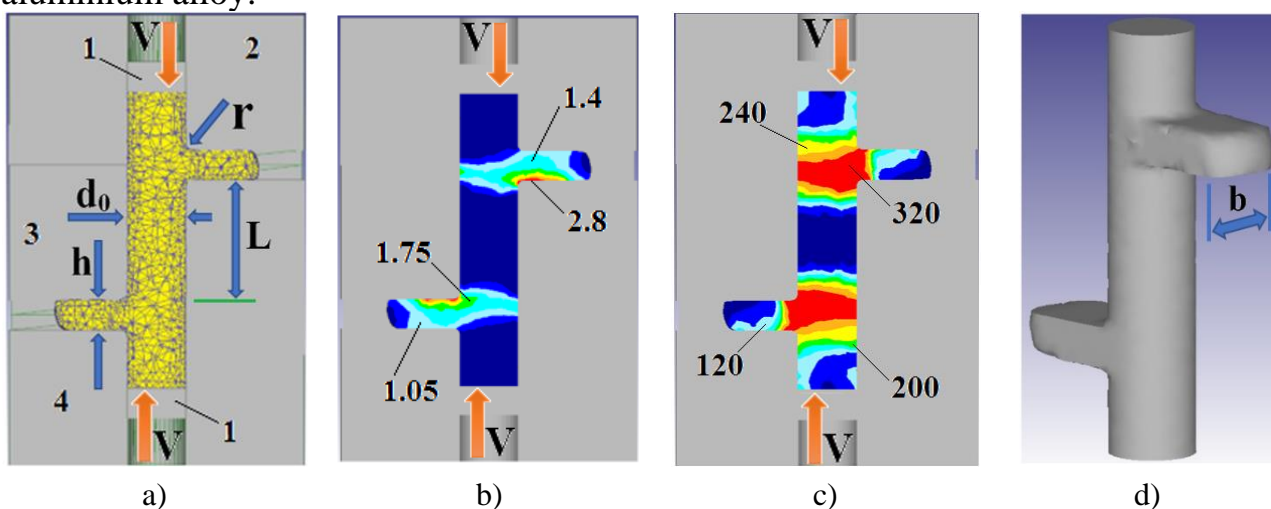
# APPLICATION OF FINITE ELEMENT SIMULATION TO INVESTIGATE METAL FLOW IN LATERAL EXTRUSION PROCESS

Abhari P.B., Solianov D.O., Lopaiev V.O.

(Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine)

Lateral extrusion involves a net-forming technique where one or two punches move axially, prompting material to flow radially into a die cavity according to the prescribed exit geometry. This process is examined through three-dimensional finite element analyses conducted with DEFORM™ 3D software. These analyses aim to explore the impact of key parameters. The software employs an updated Lagrangian procedure for flow formation modeling. To solve the nonlinear equations, it utilizes a direct iteration method and the Newton-Raphson method [1].

The deformation patterns (gridlines distortion) with axisymmetric billet, the effective strain and effective stress distributions, and the final formed part for double-ended lateral extrusion process with rectangular branches are shown in Fig. 1. The die geometry parameters and power mode parameter are as follows:  $d_0$  – the billet diameter ( $d_0=20\text{mm}$ ),  $h$  – the branch height ( $h=10\text{mm}$ ),  $b$  – The branch thickness ( $b=20\text{mm}$ ),  $L$  – the distance between parallel branches,  $r$  – the die tip radius ( $r=2\text{mm}$ ),  $V$  – punch velocity ( $V=1\text{mm/s}$ ), The friction factors between the billet and tools are constant (Zibel's law,  $\mu=0.08$ ), and also the material used for the simulation is AA 6060 aluminium alloy.



1 – punch, 2 – upper die, 3 – middle die 4 – lower die

Fig. 1. Double-ended lateral extrusion process with rectangular branches: a) deformation patterns (gridlines distortion), b) effective strain distributions, c) effective stress distributions and d) final formed part

The analysis indicates a uniform distribution of effective strain and stress within the billet, reflecting a symmetrical deformation pattern. The maximum values of effective strain and stress are calculated as follows:  $\epsilon_{\max} = 2.8$ ,  $\sigma_{\max} = 240\text{MPa}$  in double-ended lateral extrusion process with rectangular branches (Fig. 1).

**Reference: 1.** Abhari Payman. The investigation of lateral extrusion process using finite element simulation / Payman Abhari // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET). – August 2017. – Volume 5. – Issue VIII. – p. 1703–1707. – ISSN 2321-9653. DOI: 10.22214/ijraset.2017.8242.

## ADVANTAGES OF USING ROLLING BEARINGS WITH CERAMIC BALLS IN HIGH-SPEED MACHINE SUPPORTS

**Gnytko O.M., Rak A.O., Kuznetsova A.V.**

*(National Aerospace University named after M. Ye. Zhukovskiy «Kharkov aviation institute», Kharkov city, Ukraine)*

The use of ceramic materials for rolling bearings has become one of the possible ways to increase their efficiency. Compared to steel, ceramic materials have the following features:

- low density (~60% less);
- high modulus of elasticity (more by ~50%);
- the coefficient of dry friction in a ceramic-steel pair is lower than in a steel-steel pair;
- lower coefficient of thermal expansion and high heat capacity;
- ceramics - dielectric.

Experiments with ceramic rolling elements for aerospace bearings began decades ago when they were used in NASA's space shuttle engines in the early 1990s.

In 2005, Timken was awarded two contracts under the VAATE Gas Turbine Engine Optimization Program to develop hybrid bearings for aircraft gas turbine engines.

Recently, Timken engineers have worked closely with defense aircraft manufacturers to develop hybrid roller bearings for several applications, including the development of aircraft gas turbine engines. Timken intends to begin full-scale production to support aerospace customers by 2023.

Electric vehicle component manufacturers, including SKF, are addressing the challenge of promising hybrid bearings by improving their performance, efficiency and reliability.

Hybrid bearings provide effective performance under conditions of improper lubrication and contamination, but the reasons for this and their effect on performance are still not fully understood. According to SKF research, only the steel component is subject to moderate wear in a hybrid bearing, while the ceramic part is virtually unaffected. Under conditions of contamination, moderate wear, plastic deformation and preservation of surface smoothness at the edges of dents in hybrid bearings contribute to the reduction of local stresses. It is shown that the increase in the service life of hybrid bearings with dents occurs due to high resistance to surface destruction and damage associated with extreme lubrication conditions and a violation of the integrity of the lubricating film.

According to literature sources, silicon nitride ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) is the most promising technical ceramic. Therefore, the use of such material for rolling bearings is quite relevant.

# EFFECT OF WELDING ON THE FATIGUE STRENGTH OF CRANE STEEL STRUCTURES

**Havrysh P., Segin V.**

*(Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine)*

The continued safe life of lifting machines depends on the characteristics and quality of welding units.

Increasing longevity depends on many factors: defects due to the welds and welding type; force stresses in metal construction; circuit-board structure of the welding unit metal structures of the main beams of the bridge cranes are now manufactured mainly by welding [1,2]. However, weld constructions of secondary elements such as submunition frames are very often manufactured without calculating the deformations and transverse shortening of weld seams. Under cyclic loading conditions, this results in faulty crane operation.

Deformations caused by welding, for example in the repair of steel structures - one of the most important reasons leading to deviation of the actual dimensions, the formation of deformations and even to the destruction of welds [3]. When the weld is cooled, the weld shrinks longitudinally and transversely, which is explained by the reduced volume of fused metal during the crystallization process. Because the metal of the seam is closely connected to the main metal, which remains in the same volume – so in it there are internal stresses [3,4]. Such internal stresses cause deformation of metal in longitudinal and transverse directions. The type of weld is known to have a significant effect on the residual stresses after welding.

Thus, Fig. 1 shows the welds of the underside of the crane plate. Welded underside T-joint seams rolling corners.

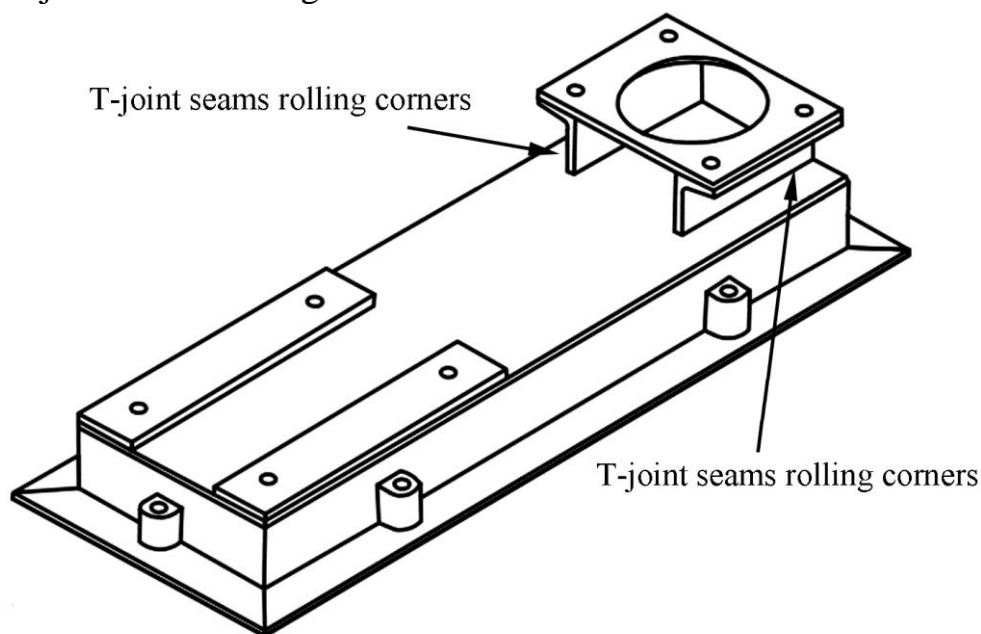


Fig. 1 Welded submunition frame



T-joint seams rolling corners give the greatest residual stresses. So, there are cracks in these T-joint seams very often. It is recommended to replace these T-joint seams with Butt preparation and Lap joint assembly to reduce residual stresses (Fig.2). When the wall  $\delta_w$  thick welds to the shelf  $\delta_s$  thick by T- joints, a significant part of the heat released by symmetrical seam with respect to  $\delta_w / \delta_s < 1.7$ .

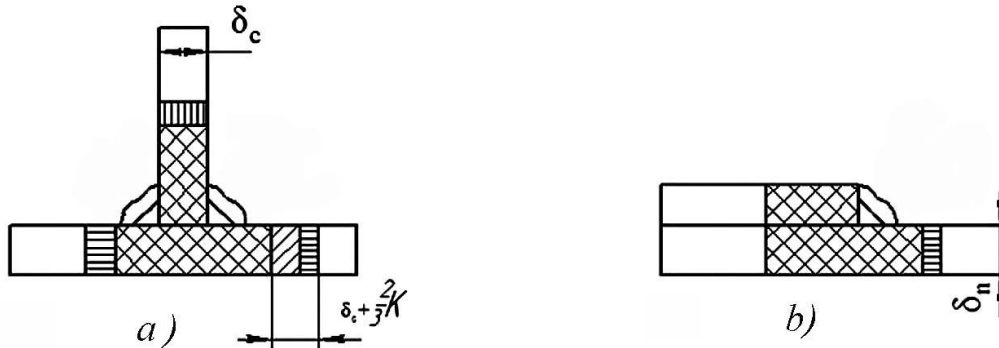


Fig. 2 Weld comparison

$$q_{nc} = \left( \frac{q}{V_c} \right)_c = \frac{q}{V_c} \cdot \frac{\delta_c}{2 \cdot \delta_g + \delta_c}, \text{ cal per cent}$$

$$q_{nn} = \left( \frac{q}{V_c} \right)_n = \frac{q}{V_c} \cdot \frac{\delta_n}{2 \cdot \delta_n + \delta_c}, \text{ cal per cent}$$

It has been experimentally established that the side shrinkage along the length is uneven: at a length of 120 mm, it is minimal, then it increases when the passes increase. It is necessary to perform weld rolls facing each other to average weld seams in multipurpose welding. The weld seam in Fig.2b produces residual stresses which are significantly smaller than the seam in Fig.2a.

**Conclusions:** It is recommended to replace T- joints with butt seams to reduce residual stresses after welding.

**References:**

1. Гавриш П.А., Шепотько В.П., Кассов В.Д. (2020) *Ушкодження кранових металоконструкцій. Діагностика. Ремонт*. Краматорськ: ДДМА. ISBN 978-966-379-935-3.
2. Schepotko V., Gavrish P., Makarenko N., Koinasch V. (2013) *DIE BEWERTUNGSMETHODIK DER KONSTRUKTIVER AUSFÜHRUNGEN VON MASCHINENELEMENTEN*. Materials of the VI international research and practice conference. 2:307–315. Munich – Germany  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2374068X.2020.1805683>.
3. Chigarev VV, Gavrish PA, Makarenko NA.(2018) *Evaluation of welding quality and related processes*.Textbook. LAP LAMBERT Academic Publishing member of OmniScriptum Publishing Group. Riga, Latvia.[in Ukainian] ISBN 978-613-7-73533-6.
4. Pavlo Havrysh, Valeriy Kassov, Olena Berezshnaya, Mykola Malyhin, Yurii Havrysh. (2023) *Reduction of residual stresses of the welded lathe beds*. X international scientific conference. “Development of science in the XXI century”. Dortmund, Germany. ISBN 978-92-44513-79-8.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10370630>.
5. Гавриш П.А., Сегін В.В., Бахтін І.Д. (2023) *Особливості виконання ремонту зварної металоконструкції рудно-грейферного перевантажувача*. Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. – Краматорськ-Тернопіль: 28–30. ISBN 978-617-7889-45-7.

# STUDY OF THE EQUIPMENT FOR CUTTING BY BREAKING OF ROLLED METAL

**Karnaukh S. G., Chosta N. V.**

*(Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine)*

Mechanical engineering plays the leading role in the social and economic development and is considered a foundation of the industry [1].

The aim of the work is in designing new schemes for cutting of the rolled stock into measured workpieces as well as equipment for their implementation.

It work proposes to use the energy, accumulated in the machine at the expense of elastic deformation of the press frame and the drive, for stress concentrator application. To implement this idea, a structural scheme of the stamp used for cutting of the rolled stock by bending has been designed (Fig. 1, a). The stamp consists of frame, breaker 2 and knife 3 are fixed to the moving beam 1. Under the action of the driving force, moving beam 1 moves downwards, making the clamping (by means of the elastic element 4) and cutting by breaking of the rolled stock 5 with the stress concentrator, which is preliminary applied on the separate plane on the arm  $l$ . An abrupt reset of the force takes place at the moment of rolled stock cutting. The system «moving beam 1, breaker 2, knife 3» becomes dynamically unbalanced. Moving beam gathers speed on the stroke  $x_0$ , and knife 3 applies the stress concentrator on the rolled stock 5, at the expense of wedge penetration into metal at the depth of  $H$ , for cutting by breaking the next workpiece. The penetration of the knife with shape of wedge leads to localize a maximal deformation under apex of the wedge. It allows to increase a strength and decrease a plasticity (by means hardening of material) in the stress concentrator [2].

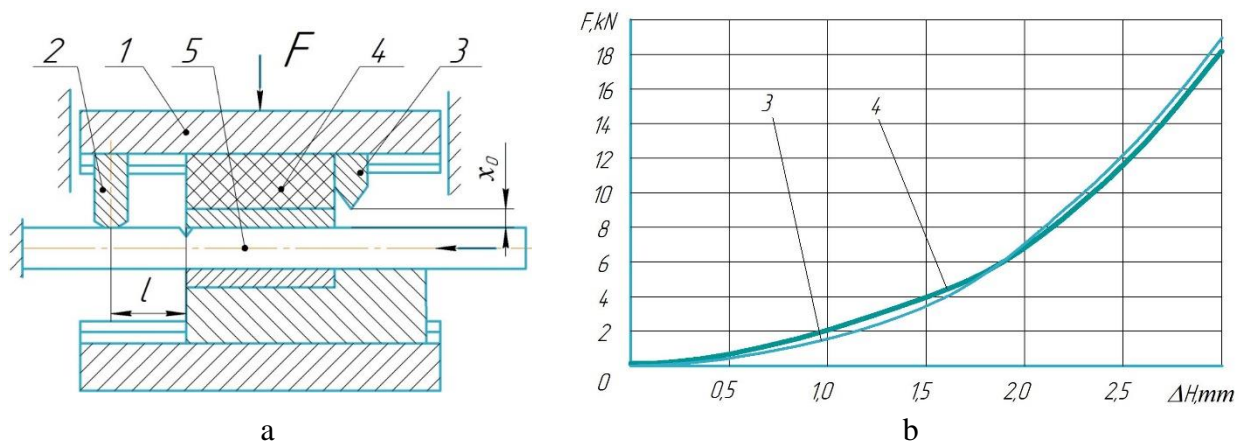


Fig. 1. Construction scheme cutting by breaking of the rolled stock in the stamp (a) and comparative analysis of theoretical and experimental data (b)

The energy accumulated in the machine at the expense of elastic deformation of the frame and the drive is used for effective work, namely, application of stress concentrator for cutting by breaking during bending of the next workpiece. A marked main macrocrack is considered to be the stress concentrator in the present case.

Macrocrack may be of maximum size; this meets the optimal requirements demanded for the process of cold breaking by bending. So, two operations are combined in one working cycle: breaking by bending and stress concentrator application in the place of the next workpiece cutting, which leads to productivity improvement of the process. The equipment of static action works in dynamic mode and provides a higher speed of stress concentrator application, which leads to higher quality of the cutted workpieces [3].

Analysis of performed calculations shows that the results divergence between theoretical calculations and experimental data is on average 5...10% for samples from different materials by implementing of the tools with different shape (Fig. 1, b).

A values of the force, obtained by calculation way, were less than forces, measured during experiment when the tools with a cone and a wedge were indented into the workpieces (Steel 20). This can be explained by the fact that the mathematical model does not take into account the hardening of the material during cold plastic deformation.

The calculated values of the indentation force were higher than data obtained experimentally when the tool with a pyramid shape was indented into the workpieces (alloy AlCuMg1). This is due to the fact that it is necessary more accurately to take into account the value of the friction coefficient.

Mathematical models of the tool indentation for various shapes: wedge, cone and pyramid, are implemented using the slip-line field method. Experimental studies of the indentation of wedge-shaped tools for various shapes into the rolled stock were carried out under static loading. The obtained data can help to predict the results of the stress concentrator formation with using of the energy in the press due to the elastic deformation of the frame and drive. The magnitude of the work required to formation of the stress concentrator was evaluated for samples of steel 20.

The maximum concentration of the plastic deformation and a decreasing of toughness is ensured a notch with a triangular shape, as shown in work [2]. Therefore, this concentrator`s shape is accepted as a basis. Method of the breaking by bending leads to cracking from sharp of the stress concentrator to opposite side of the workpiece. Therefore, the stress concentrator, formatted around the entire perimeter of the destroyed section, does not have special advantages over one-sided.

Taking into account the recommendations on the dependence of the depth of the stress concentrator – (10...20)% of the size of the workpiece cross-section, the value of the effective stress concentrator was –  $H = 3 \text{ mm}$  (Fig. 2).

### **Conclusions:**

1. The equipment for breaking high-quality rolled stocks by bending has been developed. The advantage of the proposed design is that the energy accumulated in the press due to the elastic deformation of the frame and the drive is spent on useful work – formation the stress concentrator for breaking by bending of the next workpiece. Thus, in one cycle of the equipment work are combined two operations: breaking by bending and formation of the stress concentrator in the separation plane of the next workpiece, which increases the productivity of the process. The equipment works in

dynamic mode and provides an increasing of velocity formation of the stress concentrator, which improves the quality of separated workpieces.

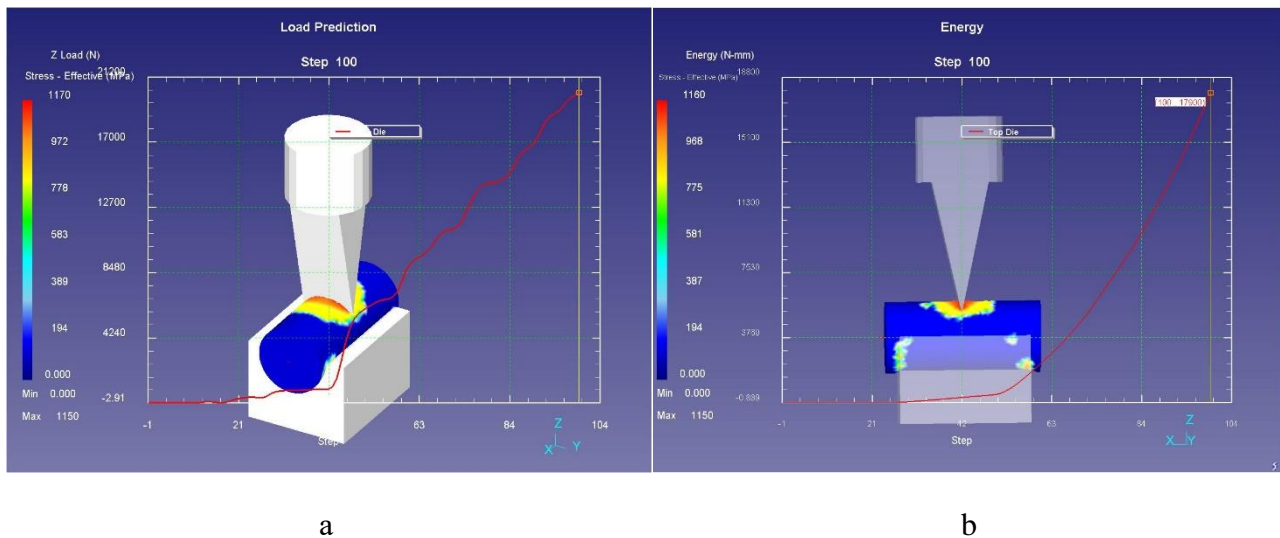


Fig. 2. Dependencies of wedge compression force (a) and deformation work (b) on the calculation step under static loading (AISI-1020 steel sample,  $\alpha = 25^\circ$ )

2. Mathematical models of the indentation process of a wedge tool of various shapes have been developed. Dependencies for calculating of the energy-power parameters for formation process of the stress concentrator have been established. Mathematical models consider the effect of free surface taking into account the volume of the displaced metal.

3. Conducted experimental studies on the indentation of wedge-shaped tools of various shapes into the sample confirmed the adequacy of the proposed mathematical models. The calculation error within 5...10% is explained by necessary of more correct choice of the value of the friction coefficients.

4. By indentation of tool in the form of a cone and a wedge, the force obtained by calculation was expected to be less than the force measured during the experiment. This can be explained by the fact that the mathematical model does not take into account the hardening of the material in the area of deformation. By embedding the pyramid in a sample made of AlCuMg 16 alloy, the calculated values of the embedding force were higher than the values obtained experimentally, that is due to the need to more accurately account for the value of the coefficient of friction.

#### References:

1. Karnaukh S. G., Markov O. E., Kukhar V. V., Shapoval K. V. Research of the rolled stock separating into workpieces using breaking by bending with dynamic and static-dynamic force. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022. 120. pp. 2763–2776, DOI: [10.1007/s00170-022-08902-0](https://doi.org/10.1007/s00170-022-08902-0).
2. Karnaukh S. G., Markov O. E., Aliieva L. I., Kukhar V. V. Designing and researching of the equipment for cutting by breaking of rolled stock. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020. 109. 9-12. pp. 2457-2464, DOI: [10.1007/s00170-020-05824-7](https://doi.org/10.1007/s00170-020-05824-7).
3. Karnaukh S. G., Chosta N. V., Markov O. E., Kukhar V. V. Development and research of the press operating mechanism, made in the form of the wedge-joint mechanism with a curving wedge for separation operations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. 116. pp. 3305–3314, DOI: [10.1007/s00170-021-07718-8](https://doi.org/10.1007/s00170-021-07718-8).

## SIMULATION TESTS ON THE OPERATION OF A RING ADSORBER

<sup>1</sup> Mykhailiuk V.V., <sup>2</sup> Bembenek M., <sup>1</sup> Deineha R.O., <sup>1</sup> Deineha D.R.

(<sup>1</sup> Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, str. Karpatska 15, 76019 Ivano-Frankivsk, Ukraine, e-mail : myhajlyukv@ukr.net, deynega2004@ukr.net, denys.deineha-b201@nung.edu.ua

<sup>2</sup> AGH University of Krakow, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland. e-mail: bembenek@agh.edu.pl)

Emissions of greenhouse gases, in particular carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), affect the climate and can lead to an increase in air temperature and a change in the direction of winds. Carbon capture and storage technologies are used today to reduce the CO<sub>2</sub> content in the atmosphere. Thanks to these technologies, it is possible to reduce emissions of carbon dioxide into the atmosphere, as well as to transport and pump it to underground storage facilities [1]. One of the industries that produces a large amount of CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere is the cement industry. Emissions occur together with flue gases, which contain water vapor, which also contributes to the formation of the greenhouse effect.

Various technologies are used to capture carbon dioxide, such as absorption, adsorption, chemical cyclic combustion, gas separation on a membrane, and obtaining gas hydrates.

The cheapest and most promising is the adsorption technology, for the implementation of which it is necessary to: choose an adsorbent; develop and optimize the design of the adsorber; optimize the adsorption process (to maximize CO<sub>2</sub> capture efficiency; optimize the adsorbent regeneration process or find its application).

Because the technology of capturing carbon dioxide by adsorption is simple, cheap and effective, attention should be paid to its research and improvement. In adsorption devices, adsorbents are solid substances that have a large internal absorption surface. Adsorbers are divided into three groups: with a fixed, moving or fluidized bed of adsorbent [2].

Therefore, adsorbers of various designs are used for the adsorption process, which is determined by their mechanical strength, chemical resistance, ability to regenerate, etc. There are also batch and continuous adsorbers. Adsorption processes are usually periodic. In the case of gas purification from individual elements present in small concentrations, ring adsorbers are used. With the same overall dimensions, the productivity of the ring adsorber is 25% higher, compared to the vertical adsorber [2].

The purpose of the work is to study the ring adsorber using simulation modeling to determine its characteristics.

Using the design [3], a 3D model of the ring adsorber was built (Fig. 1).

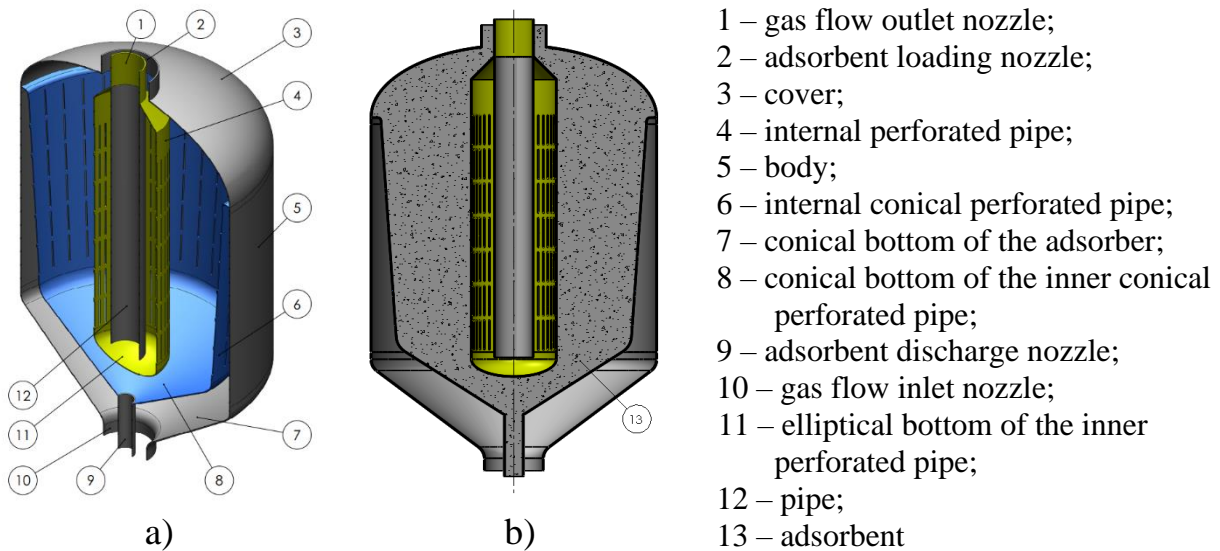


Figure 1 – 3D model of a ring adsorber

During simulation modeling of the adsorber in the FlowSimulation program, three adsorbent porosity values were considered: 0.25; 0.5; 0.75 and the type of its permeability was used - "Isotropic". Boundary conditions for adsorber research are adopted according to recommendations [4]: at the adsorber inlet mass flow rate of the gas mixture (0.25 kg/s), at its outlet – static pressure. The temperature of the gas mixture is also taken into account: at the entrance to the adsorber, it is 70°C, at the exit of the gas mixture into the environment it is 20°C. According to [5], the concentration of gases in the gas mixture of cement production is 28% nitrogen; 11% water vapor; 22% carbon dioxide; 9% oxygen; and 30% air.

For the convenience of analyzing the results of the simulated model, three control lines (Fig. 2) were constructed on the middle plane of the calculation area, along which graphic dependences of changes in the control parameters will be constructed. Figures 3-5 show graphical dependences of changes in gas flow speeds along the control lines (Fig. 2).

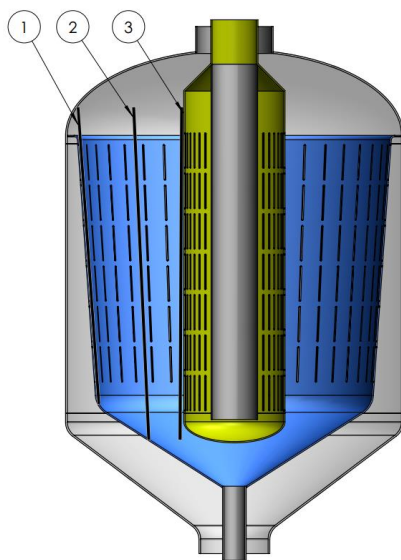


Figure 2 – Control lines (1, 2, 3) for constructing graphic dependencies

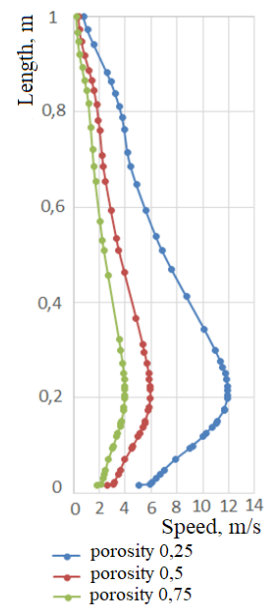


Figure 3 – Change in gas flow speed along control line 1

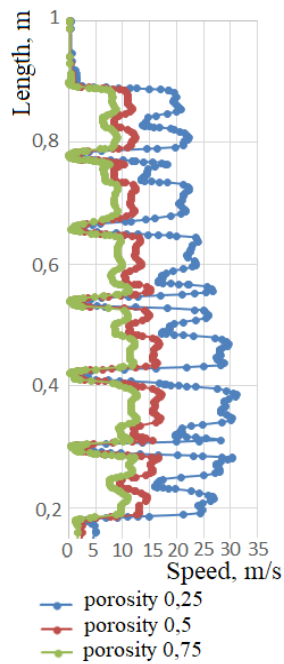


Figure 4 – Change in gas flow speed along control line 2

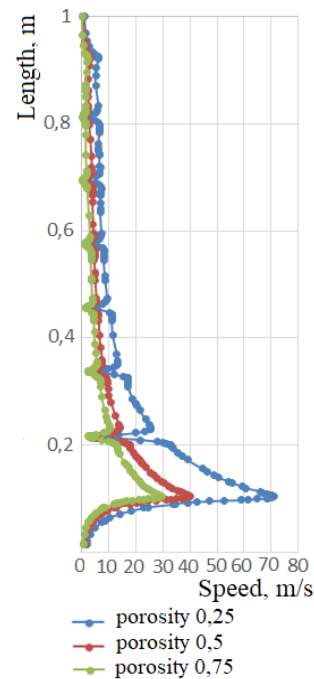


Figure 5 – Change in gas flow speed along control line 3

According to the analysis of the obtained results of simulation modeling of the adsorber, it was established that with its design, the distribution of the gas flow rate at the entrance and exit from the adsorbent layer is uneven, which reduces the efficiency of the adsorbent. Therefore, in further research, the design of the adsorber will be optimized by changing its geometric parameters, taking into account different adsorbent porosity values, gas flow rate and composition, and changes in thermodynamic parameters.

*Acknowledgments: The present article originated as part of a research internships "Using advanced FEM modeling to simulate mechanical engineering processes" of Vasyl Mykhailiuk and "Solving optimization problems in mechanical engineering using advanced FEM modeling" of Ruslan Deineha at the AGH University of Krakow, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics, Department of Manufacturing Systems.*

#### Literature:

1. Keith Uirisky, *Carbon Capture and Storage: Ukrainian Perspectives for Industry and Energy Security*. Oslo, Norway: Bellona, 2013
2. Podzharskyi M.A. Theoretical foundations of sorption processes: Synopsis of lectures. - D.: RVV DNU, 2007. - 40 p.
3. Radial bed vacuum/pressure swing adsorber vessel: pat . 97112520.8 EUROPEAN PATENT APPLICATION: IPC B01D 53/047, EP 0 820 798 A2; stated 22.07.1997; published 28.01.1998 Bulletin 1998/05
4. [https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/590120/mod\\_resource/content/0/Uchebnik\\_SolidWorks\\_Flow\\_Simulations\\_2009.pdf](https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/590120/mod_resource/content/0/Uchebnik_SolidWorks_Flow_Simulations_2009.pdf)
5. Handbook on resource-efficient and clean production. Cement industry / S.V. Plasykhin. - K.: Center for resource-efficient and clean production, 2020. - 96 p.

# INNOVATION THROUGH KAIZEN: IMPLEMENTING TECHNOLOGICAL INNOVATION

**Podlesny Sergy V.**

*(Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine)*

The problem of identifying and implementing effective innovative solutions in heavy engineering that meet the principles of Kaizen is closely related to scientific and practical tasks, since innovation is a key factor in increasing competitiveness and production efficiency. The scientific task is to research and develop new technologies and processes that can be integrated into production lines with minimal cost and interruption. This includes analyzing current processes, identifying areas for improvement, and developing innovative solutions that meet Kaizen standards, such as continuous improvement and elimination of waste. The practical task includes implementing these innovations in enterprises, training staff in new ways of working, and adapting the corporate culture to the Kaizen philosophy. It also requires the development of customer feedback mechanisms to assess the effectiveness of innovations and their impact on product quality. It is important that innovation is not only technological but also organizational, including changes in management, communication and work processes.

Analyzing the latest research and publications, it can be noted that considerable attention is paid to the integration of Kaizen principles into the development of innovative technologies in mechanical engineering. One of the key aspects is the search for ways to optimize production processes, which includes the introduction of the latest technologies and approaches to quality management. Scientists and specialists are actively researching the possibilities of using Kaizen to improve production efficiency, in particular in heavy engineering [1]. However, despite significant progress in this area, there are unresolved parts of the overall problem that require further investigation. For example, an important aspect is the integration of innovative solutions into existing production systems without significant investment of time and resources. Also, more attention needs to be paid to the development of methods for assessing the impact of innovations on product quality and customer satisfaction.

The aim of the work is to review the current state of application of Kaizen principles in heavy engineering and identify key areas where they can lead to significant innovations, analyze opportunities for the implementation of technological innovations in production processes that correspond to the Kaizen philosophy, with an emphasis on continuous improvement and elimination of losses, identify strategies for integrating innovative solutions into production, taking into account economic efficiency and impact on quality Products.

Innovations in heavy engineering can be diverse and encompass a wide range of changes, from technological to organizational. Technological innovations can be the latest materials, automated control systems, robotic equipment, etc. Use of composite materials, ultralight alloys, or materials with improved properties such as high strength, corrosion resistance, or heat resistance. Implementation of integrated manufacturing



execution systems, which may include elements of the Internet of Things (IoT) to monitor and optimize production processes. The use of industrial robots to automate complex or dangerous manufacturing operations, which increases safety and efficiency.

Organizational changes: optimization of supply chains,. reviewing and improving logistics processes to reduce costs, increase delivery speed, and improve overall delivery efficiency; improvement of the quality management system, development and implementation of quality management systems that meet international standards such as ISO 9001 to ensure high quality products and services.

The classification of innovations can be based on various criteria, such as the degree of novelty (radical vs. incremental), the scope (product, process, organizational), as well as the source of innovation (internal development vs. external acquisition). It is important that innovations in the field of heavy engineering require careful planning, analysis of current processes, identification of needs and opportunities for improvement, as well as involvement of personnel in the process of implementing changes. This allows not only to increase production efficiency, but also to ensure the sustainability of the enterprise in the market.

To implement innovations, it is necessary to analyze the current state of production and identify areas for innovation in mechanical engineering require an integrated approach, which includes: 1) Manufacturing Process Diagnostics: Evaluation of current processes for efficiency, speed, quality, and costs. Using Lean Manufacturing and Six Sigma methods to identify inefficiencies and losses; 2) Identification of bottlenecks: Identification of production steps that limit overall productivity. These can be outdated machines, undertrained workers, or suboptimal workflows; 3) Technology Performance Analysis: Evaluating the current technologies and equipment used in the enterprise and comparing them to best practices in the industry. Consideration of automation and digitalization opportunities; 4) Methods of work: Review of existing methods of work in order to optimize them. Implementing project management techniques, such as Agile or Scrum, to increase flexibility and responsiveness to change; 5) Innovation processes: Analysis of current innovation processes and their impact on production efficiency. Identification of opportunities for the implementation of new innovative projects; 6) Macroeconomic context: Consideration of external factors such as market trends, global challenges, and their impact on production processes; 7) Strategic Planning: Developing a long-term strategy for innovative development that includes investment in new technologies, staff training, and development of research and development activities.

This analysis will help identify key areas for innovation that can increase productivity, reduce costs, and improve product quality. It is also important to ensure that innovation efforts are in line with the strategic goals of the enterprise and the needs of the market.

The development of an innovation strategy based on the principles of Kaizen should include an action plan covering all stages from idea to implementation, with clear criteria for evaluating performance and feedback mechanisms. It requires a systematic approach that covers the following stages: 1) Defining the purpose of

innovation: A clear understanding of what needs to be improved or solved through innovation. The goal should be specific, measurable, achievable, realistic, and time-bound (SMART); 2) Analysis of the current state: Conducting diagnostics of production processes to identify bottlenecks and opportunities for improvement. Using quality tools such as 5 Whys or Ishikawa Diagram to identify the causes of problems; 3) Development of an action plan: Creating a detailed plan that includes the steps of implementing innovations, responsible persons, resources, timelines, and expected results. The plan must be flexible to adapt to changes in the implementation process; 4) Innovation: Implementation of the Innovation Action Plan. Involving all stakeholders and providing training and support to staff; 5) Monitoring and evaluation: Establishing criteria for evaluating the effectiveness of innovations and regularly monitoring progress. Using KPIs and other metrics to measure the impact of innovation on production; 6) Feedback and Adjustments: Collecting feedback from employees, customers, and other stakeholders. Analysis of the data obtained and making adjustments to the action plan for further improvement; 7) Standardization of successful practices: After confirming the effectiveness of innovations, standardizing new processes to ensure their continued use and improvement; 8) Kaizen and Continuous Improvement: Application of the PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle for continuous improvement and implementation of Kaizen culture in the enterprise. The strategy should be focused on the long term and involve all employees in the innovation process.

The result of the work is the conclusion that the introduction of innovations in heavy engineering, based on the principles of Kaizen, contributes to increasing productivity, efficiency and product quality. Continuous improvement and elimination of losses are key to achieving competitiveness and adapting to changing market conditions. Involving staff in the innovation process has proven to be effective in implementing change and maintaining a corporate culture of continuous improvement. Experimental implementation of innovations and their evaluation through pilot projects allows you to identify potential risks and improve innovations before large-scale implementation.

Prospects for further development in this direction include expanding the application of Kaizen to various aspects of production, including logistics, quality management and the work environment. Integrating digital technology and the Internet of Things (IoT) to collect data and automate processes for further improvement. Developing a culture of innovation among employees, stimulating creativity and initiative at all levels of the organization. Further research on the impact of Kaizen on economic efficiency and sustainability of production in response to global challenges. Development of universal methodologies for evaluating the effectiveness of innovations, which can be adapted for different industries.

#### **References:**

[Маурер Р.](#) Метод Кайдзен. Один маленький крок може змінити ваше життя. - [Брайт Букс](#), 2022. – 152 с.

## ХОЛОДНЕ ПОПЕРЕЧНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВІДРОСТКАМИ

<sup>1</sup>Алієв І.С., <sup>1</sup>Абхарі П.Б., <sup>2</sup>Левченко В.М., <sup>1</sup>Малій О.Г., <sup>1</sup>Чепеленко О.Ю.  
(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна, <sup>2</sup>ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН  
України, м. Харків, Україна)

Перспективним методом отримання складних деталей є поперечне бокове видавлювання, яке характеризується витіканням металу заготовки в поперечному напрямку і заповненні металом каналних порожнин рознімної матриці [1–3].

Метою роботи є систематизація способів бокового видавлювання і дослідження силового режиму процесу бокового видавлювання.

Розроблено класифікацію кінематичних варіантів бокового видавлювання (рис. 1). В основі класифікації лежить кінематика відносного переміщення металу і інструменту.

Найбільш проста схема деформування 1 передбачає односторонню подачу металу рухомих пуансоном в порожнину нерухомих матриці. Видавлювання з двосторонньої подачею металу в робочу порожнину матриці може бути здійснено двома пуансонами (схема 2), які рухаються назустріч один одному, або у рухомих матриці (схеми 3 і 4).

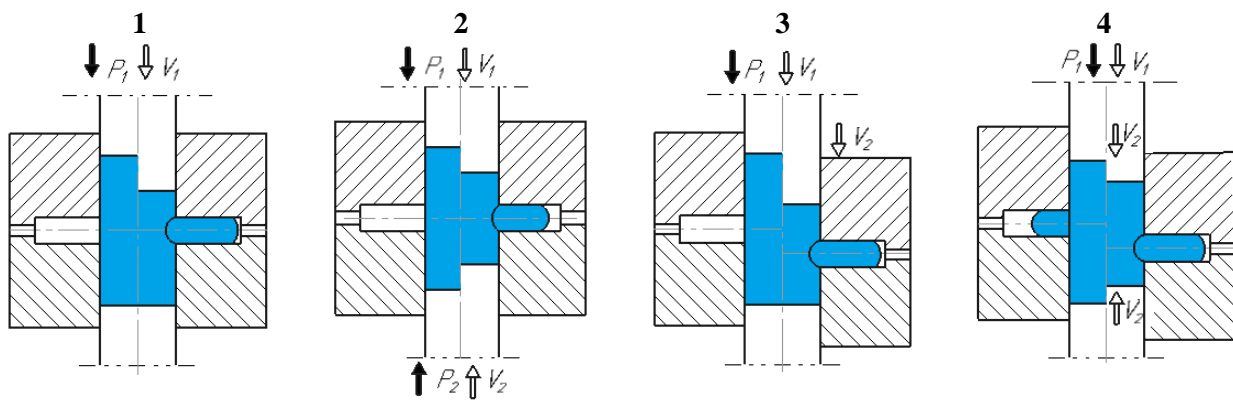
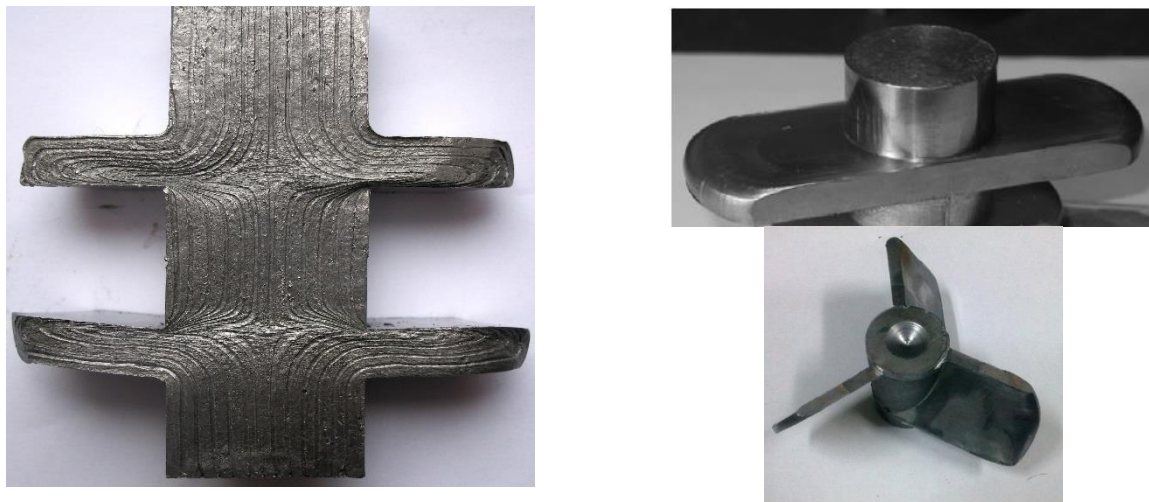


Рис. 1. Варіанти регулювання кінематики процесу бокового видавлювання деталей з відростками

Методом скінчених елементів (МСЕ) у програмному пакеті Deform 3D було досліджено розподіл ступеня деформації та виконано оцінку стану деформованого металу в осередку інтенсивної деформації. При односторонній схемі видавлювання зона максимальної інтенсивності деформацій зміщена до нижньої межі осередку деформації, на якій спостерігається різкий стрибок ступеня деформації та високий градієнт зсувних деформацій. Експериментальні дослідження деформованого стану також підтверджує нерівномірність розподілу деформацій (рис. 2, а). Це викликає у ряді випадків появу тріщин уздовж цієї межі навіть при деформуванні високопластичних алюмінієвих сплавів та при

гарячому деформуванні титанових сплавів. Регулювання кінематики подачі допомагає керувати розташуванням зони максимальної деформації та зміцнення по висоті в осередку деформації. Для цього чергують у різній послідовності видавлювання з односторонньою та двосторонньою подачею металу на різних етапах процесу.

При боковому видавлюванні тиск деформування по ходу пуансону безперервно зростає. Інтенсивне зростання тисків характерне для початкової та заключної стадій процесу.



а б  
Рис. 2. Картина деформування ділильної сітці (а) та типові деталі з боковими відростками (б)

При зменшенні діаметра каналної порожнини потрібні тиски видавлювання значно зростають, що пояснюється збільшенням ступеня деформації. Зменшення значення параметра  $d/D_0$  з 1,0 до 0,4 призводить до зростання тиску деформування на 50...75%. Істотний вплив на значення тиску деформування  $P$  мають схеми видавлювання і форма деталей, що видавлюється. Видавлювання з двосторонньою подачею вимагає менших (на 15...25%) значень приведених тисків деформування, ніж при односторонній подачі, за рахунок зниження витрат енергії на інтенсивний зсув металу по нижній межі осередку деформації.

Способи бокового видавлювання є ефективним методом виготовлення деталей складної форми (рис. 2,б). Результати моделювання і експериментальних досліджень показали, що видавлювання з двосторонньою подачею вимагає менших значень приведенного тиску деформування і сприяє усуненню високого градієнту зсувних деформацій, тобто дозволяє уникнути браку.

**Література:** 1. Алиева Л. И., Жбанков Я. Г. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки. *Вісник ДДМА*. Краматорськ. 2008. 1 (11). С. 13–19. 2. Алиева Л. И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания: монография. Краматорск: ООО «Тираж–51». 2018. 352 с. 3. Aliev I.S. Radial extrusion processes. *Soviet Forging and Metal Stamping Technology (English Translation of Kuznechno-ShtampovochnoeProizvodstvo)*, 1988, Part 3, pp. 54–61.

# ВИКОРИСТАННЯ СТИЛІЗАЦІЇ ВЕБ-СТОРИНОК НА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТТЯХ З НАПРЯМУ «ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ» В РОЗРІЗІ ПОШУКУ АКТУАЛЬНОЇ ТЕМАТИКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Антоненко Я.С., Жила О.В., Гончаров С.П  
(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Одним з головних пріоритетів розвитку вітчизняної науки є підвищення ефективності наукових досліджень і використання їх результатів для забезпечення розвитку освітньої галузі України. Ефективне використання результатів наукових досліджень допомагає підвищити якість освіти, зробити її більш доступною і відповідною сучасним вимогам суспільства та ринку праці. Тому, наукові та науково-педагогічні працівники повинні володіти необхідним рівнем інформаційно-комунікаційної компетентності. Сучасні здобувачі освіти мають вміти застосовувати ІКТ для проведення наукових досліджень, оприлюднення отриманих результатів і розповсюдження власних розробок і публікацій [1].

Використання стилізації веб-сторінок на практичних заняттях з напрямку «Галузеве машинобудування» може мати значний вплив на якість освіти та залучення здобувачів. Впровадження елементів веб-дизайну загалом у навчальний процес може допомогти у вирішенні наступних важливих задач: візуалізації складних технічних концепцій; розробці навчальних матеріалів; пошуку актуальних тем для дослідження; розвитку навичок веб-програмування; міждисциплінарний підхід до навчання та досліджень.

Основні можливості стилізації веб-сторінок та їх використання:

*Типографіка:*

- пошукові таблиці та звіти - використання різних шрифтів для заголовків, підзаголовків і основного тексту допомагає структурувати інформацію в звітах про нові дослідження;
- реферати та анотації - виділення важливих термінів та нових понять за допомогою жирного шрифту чи курсиву дозволяє швидко ідентифікувати актуальні напрями досліджень;

*Колірна схема:*

- тематичні розділи - використання різних кольорів для маркування розділів сторінки допомагає здобувачам швидко знайти потрібну інформацію;

*Графіки та діаграми*

- ілюстративні матеріали - вставка фотографій та схем з реальних дослідницьких проектів може наочно показати нові напрями досліджень та їх практичне застосування;

- інфографіка - для демонстрації результатів досліджень та ключових висновків;

### *Анімація:*

- динамічні моделі - використання анімацій для демонстрації роботи механізмів або процесів;
- інтерактивні презентації - створення анімованих презентацій, які реагують на дії користувача;

### *Макетування сторінки:*

- адаптивні макети - використання CSS Grid та Flexbox для створення адаптивних веб-сторінок забезпечує зручний доступ до інформації з будь-яких пристроїв, що сприяє безперешкодному пошуку актуальних тем;
- структуровані розділи - розподіл контенту на логічні блоки (наприклад, новини, статті, патенти) допомагає швидко знайти потрібну інформацію;

### *Інтерактивні елементи:*

- форми зворотного зв'язку - використання форм для збору зворотного зв'язку від здобувачів та викладачів дозволяє визначити, які теми досліджень найбільш цікаві та актуальні;
- тестування та опитування - вбудовані інтерактивні тести та опитування можуть допомогти виявити рівень зацікавленості здобувачів у різних напрямках досліджень;

### *Мультимедійні матеріали:*

- відео-лекції та семінари - інтеграція відео з лекціями та семінарами від провідних експертів галузі може забезпечити доступ до найактуальнішої інформації у машинобудуванні;
- подкасти та аудіо записи - включення аудіоматеріалів з обговореннями нових досліджень дозволяє студентам дізнаватися про нові теми у зручному форматі;

### *Респонсивний дизайн:*

- мобільні додатки - створення адаптивних веб-сторінок, що добре відображаються на мобільних пристроях, забезпечує постійний доступ до навчальних ресурсів та матеріалів досліджень;
- доступність - використання респонсивного дизайну гарантує, що всі здобувачі, незалежно від пристрою, мають рівний доступ до інформації;

### *Засоби навігації:*

- інтуїтивно зрозумілі навігаційні меню та підменю допомагають швидко знайти розділи з новими дослідженнями та публікаціями.

Це дослідження демонструє, як різні можливості стилізації веб-сторінок можуть бути використані для покращення навчального процесу та ефективного пошуку актуальних тем для досліджень у галузі сучасного машинобудування та результати дослідження рекомендовано для впровадження у навчальний процес.

### **Література:**

1. Яцишин А.В., Яцишин Т.М., Сухіх А.С., Малогулко Ю.В. Застосування цифрових технологій для популяризації наукових здобутків. Збірник матеріалів X Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Наукова молодь 2022» (Київ, 15 листопада 2022 р.). К.: КОМПРИНТ, 2022. С.128-133.

## DIGITAL-MАРКЕТИНГ ЯК ІНСТРУМЕНТ АНТИКРИЗОВОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ

**Баркова С.О., Сарієва Т.Р.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Українське суспільство сьогодні перебуває на особливому етапі життя та розвитку, коли воно вимушене працювати в умовах кризи. Зазвичай, вплив кризи на підприємництво чи діяльність будь-яких бізнес-структур, прийнято вважати негативним. Разом з тим, практика показала, що деякі підприємства зуміли не тільки утриматися на ринку в умовах війни, однак і навчилися ефективно працювати в форс-мажорних обставинах.

Digital-маркетинг є сучасною формою інноваційних технологій збуту, яка дозволяє зайняти порожні ніші на ринку, що звільнилися через ліквідацію бізнесу конкурентів або зупинку їх роботи.

Теорії цифрового маркетингу, зокрема визначення основних видів маркетингу, які можуть використовуватися підприємствами, досліджували такі автори як: Пілецька С. Т., Петровська С. В., Окландер М. А., Романенко О. О., Костюк-Пукаляк О. М., Рубан В. В.

Мета дослідження – визначити ефективні інструменти цифрового маркетингу, які є доречними та доступними для підприємств, що працюють в умовах кризи.

Використання цифрового маркетингу на підприємствах дозволяє зміцнити ринкові позиції в умовах кризи і навіть стає інструментом розвитку на фоні зменшення кількості (активності) конкурентів та переформатування ринків товарів та послуг.

Цифровий маркетинг передбачає використання різних методів, до яких відноситься контекстна реклама, E-mail маркетинг, мобільний маркетинг, маркетинг соціальних мереж, seo та вірусний маркетинг. Кожен із методів має низку переваг та недоліків, які необхідно враховувати в період кризи.

В цілому використання digital-маркетингу дозволяє підприємству забезпечити безпечні умови для праці та здійснення покупок із використанням інтернет-технологій. Digitalмаркетинг дозволяє налагодити ефективні комунікації з клієнтами як всередині країни, так і закордону. Окрім того, він дозволяє налагодити ефективні комунікативні зв'язки всередині організації. Для підприємств торгівлі цифровий маркетинг дозволяє організувати автоматизацію повного виробничого циклу із використанням сайтів та інтернет-платформ для торгівлі. За допомогою цифрового маркетингу підприємства мають можливість підвищувати кваліфікацію кадрів та покращувати систему моніторингу за дотриманням стратегії бізнесу.

З розвитком цифрових технологій виникають нові форми цифрового маркетингу, які формуватимуть область для подальших наукових досліджень.

## АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КАСЕТИ БАГАТОРОЛИКОВОЇ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЇ МАШИНИ

<sup>1</sup>Бережна О.В., <sup>1</sup>Пожидаєв А.В., <sup>2</sup>Грибков Е.П., <sup>3</sup>Івчик Р.С.

(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна, <sup>2</sup>МПП, м. Запоріжжя, Україна, <sup>3</sup>ПрАТ НКМЗ, м. Краматорськ, Україна)

Якість листової металопродукції, зокрема площинність, остаточно формується на останніх стадіях обробки, до яких відноситься правка на багатороликкових правильних машинах. Основним елементом цих машин є касети, в яких розташовані робочі та опорні ролики. Якщо діаметр та довжина робочого ролика визначається однозначно з сортаменту продукції та кроку роликів, то кількість та діаметр опорних роликів є невідомими і потребують вирішення задач оптимізаційного плану, так як саме ці величини будуть визначати жорсткість касети і впливати на якість правки.

В якості методів моделювання правки листів використовуються аналітичні [1] і скінченно-елементні моделі [2, 3], тому доцільно використовувати один з них, так як силові характеристики процесу є вхідними даними на розрахунок роликів. Аналітичні моделі мають низку переваг, але практично не застосовуються для вирішення статично невизначених систем, до яких належить схема робочого роликів на багатій кількості опор з розподіленим навантаженням. В цьому випадку доцільно використовувати скінченно-елементні моделі.

Метою роботи є визначення раціональної конструкції касети багатороликкової листопрямильної машини, а саме кількості та діаметру опорних роликів на основі скінченно-елементного моделювання.

Автоматизоване проєктування містить наступні етапи:

1. Визначення раціональних режимів технологічних налаштувань касети за заданим сортаментом та прийнятими на даному етапі діаметром та кроком робочих роликів.

2. Визначення максимальної сили правки на один ролик.

3. Створення розрахункових схем опорних роликів.

4. Визначення реакцій на кожен опорний ролик.

5. Визначення максимальної сили реакції на опорний ролик.

6. Вибір раціональної схеми розташування і кількості опорних роликів.

В якості прикладу реалізації створеної методики виконаний розрахунок для касети ЛПМ 9×360/380×4800. За базові варіанти обирали 6- та 22-опорний варіант при силі правки 6.8 МН при ширині листа 4700 мм. Розподілене навантаження при цьому склало 1.447 кН/мм. Розрахункові схеми наведено на рис. 1.

На рис. 2 наведені кількісні результати навантажень на опорні ролики, а також співставлення результатів для обох варіантів.



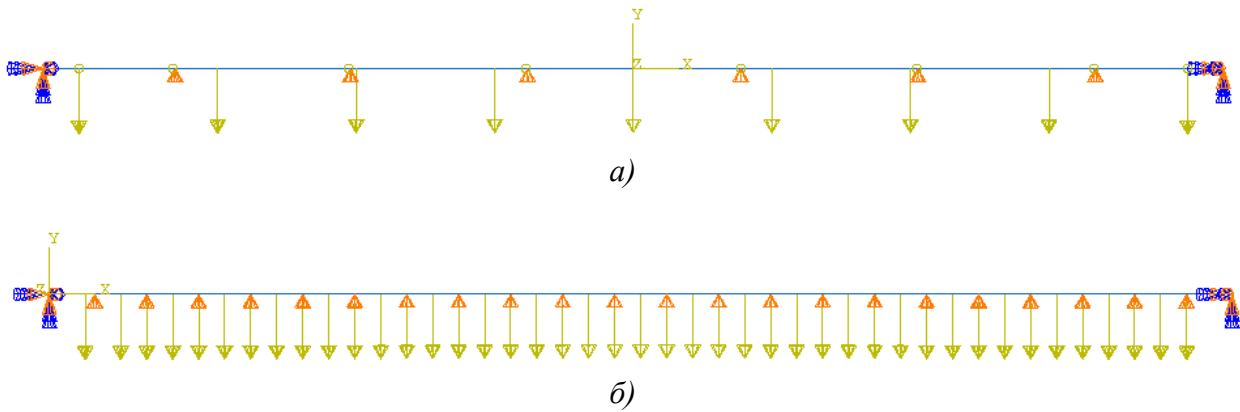


Рис.1. Розрахункові схеми для 6- (а) та 22- (б) опорного варіанту робочого ролик

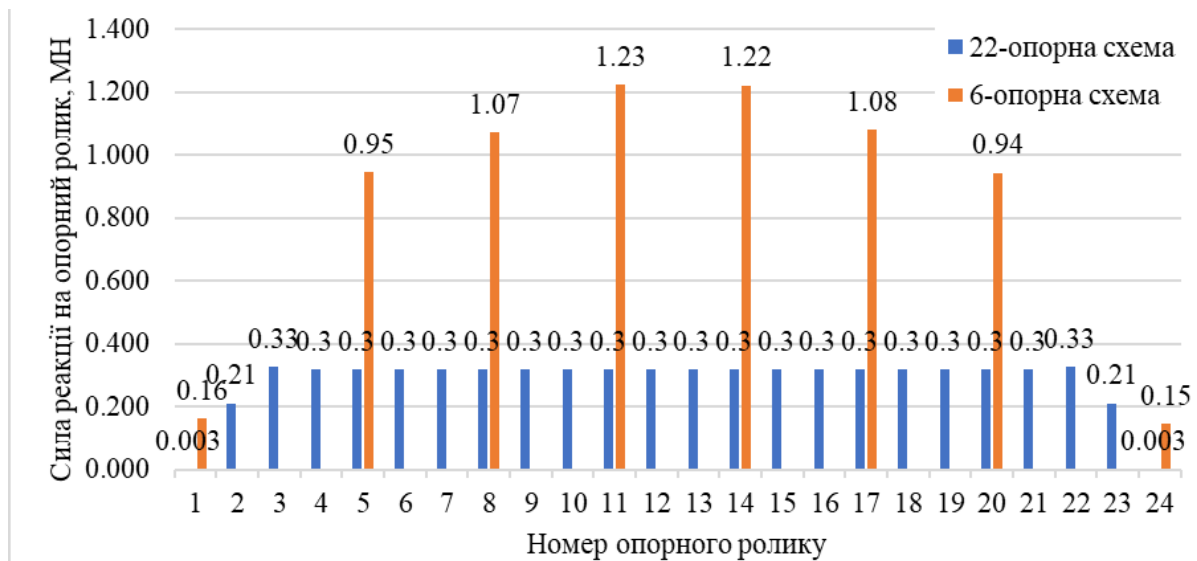


Рис.2. Співставлення результатів розрахунку для 6- та 22-опорного варіанту

Підсумком результатів реалізації розробленої методики автоматизованого проектування касет листопрямильної машини є максимальні навантаження на опорні ролики які склали для 6-опорної схеми 1,225 МН, а для 22-опорної – 0,326 МН. Причому коефіцієнт нерівномірності розподілу навантажень при 6-опорній схемі склав 11.8%, а при 22-опорній – 10,4%, що треба враховувати при визначенні ресурсів роботи підшипників опорних роликів.

#### Література:

1. Lee J.-B., Kang S.-S. Numerical Modeling of Roller Leveler for Thick Plate Leveling. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2018. Vol. 19. No. 3. P. 425–430. <https://doi.org/10.1007/s12541-018-0051-x>.
2. Mathieu N., Dimitriou R., Parrico A., Potier-Ferry M., Zahrouni H. Flatness defects after bridle rolls: a numerical analysis of levelling. *International Journal of Material Forming*. 2011. Vol. 6. No. 2. P. 255–266. <https://doi.org/10.1007/s12289-011-1083-2>.
3. Gribkov E.P., Kovalenko A.K., Hurkovskaya S.S. Research and simulation of the sheet leveling machine manufacturing capabilities. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022. Vol. 120(1-2). P. 743-759. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08806-z>

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАГРІВУ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОМУ НАПЛАВЛЕННІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

**Бережний М.О., Бережна О.В., Малигіна С.В.**  
(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Електроконтактне наплавлення композиційними матеріалами дозволяє одержати на поверхні відновлюваного виробу робочий шар з необхідним комплексом фізико-механічних властивостей. При цьому різко скорочуються витрати дефіцитних матеріалів, а ефект підвищення працездатності виявляється значним, так як в наплавленому композиційному шарі можна одержати більш високі механічні та фізичні властивості, ніж в основному металі.

Процес електроконтактного наплавлення характеризується інтенсивним термічним та механічним впливом на матеріал поверхневого шару, що сприяє утворенню напружень і деформацій у поверхневому шарі та сприяє зниженню експлуатаційної стійкості швидкозношуваних деталей. У поєднанні із впливом зварювального струму неконтрольований тиск на ролик-електроді може привести до прожогів, несплавлінь та виплесків композиційного матеріалу. Тому важливо оцінити необхідну величину температурного впливу в процесі електроконтактного наплавлення. Проте, враховуючи різноманіття композиційних матеріалів, здійснити таку оцінку емпіричним шляхом практично неможливо. Найбільш ефективним з цієї точки зору є застосування числового математичного апарату. Враховуючи, що при електроконтактному наплавленні композиційного матеріалу швидкість нагріву порошкового шару композиційного матеріалу може сягати кількох тисяч градусів за секунду, актуальною є задача розробки методики розрахунку теплового стану шару, що наплавляється, яка дозволить оптимізувати режими процесу.

Схема розрахунку включає наступну низку допущень: теплофізичні та електричні властивості матеріалів залежать від температури; енергія всередині об'єму матеріалу виділяється з його електричного опору; енергія на зварюваних поверхнях виділяється за рахунок роботи струму на контактному опорі; інтенсивність виділення теплової енергії залежить від температури зварюваного контакту; враховується енергія, що виділяється на електродах; передача теплоти від виробу до електродів здійснюється через тепловий опір електрод-деталь; зварюваний виріб є теплопровідним.

У випадку електроконтактного наплавлення композиційного сплаву окрему зварювальну точку можна розглядати як циліндр, що складається з шару основного металу, шарів металу оболонки та шару порошкового сердечника. Висота зварюваних шарів, відповідно,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$ . Розподіл струму по поперечному перетину циліндру прийнято вважати рівномірним, а процес розповсюдження теплоти – лінійним. Загальноприйнятий метод аналізу процесів розповсюдження теплоти за допомогою диференціальних рівнянь базується на використанні першого закону термодинаміки для окремих елементів виробу, що наплавляється. Кожен елемент має однакову довжину  $\Delta x$  з іншими. Баланс енергій в кожному елементі визначається за відрізок часу  $\Delta t$ . На початковій стадії нагріву температура температура у виробі розподілена рівномірно і дорівнює температурі

навколишнього середовища  $\approx 30^\circ$ . Далі за певний інтервал часу визначається приріст температури в окремих точках елементів. Це підвищення температури в елементах (рівномірне по всьому циліндру, що розглядається) враховується при розрахунку наступної стадії нагріву. Таким чином, розрахунок ведуть до необхідного часу нагріву. Точність методу тим вища, чим менший інтервал часу  $\Delta\tau$  і товщина шару  $\Delta x$ . Наплавлення здійснювали одним імпульсом (напівхвиля) змінного струму. Виділення теплоти в кожному елементі в будь-який момент часу у відповідності до миттєвого значення струму відбувається за рахунок роботи струму на місцевому (локальному) опорі  $\sigma$  даного матеріалу з урахуванням його зміни з температурою. Значення опору для кожного матеріалу в функції температури обирали за довідковими даними. Розподіл теплоти у наплавленому виробі відбувається для одномірної задачі згідно рівняння Фур'є. Розрахунок ведеться з урахуванням зміни градієнту між сусідніми точками. Точність обчислення забезпечується дуже малими розмірами шарів  $\Delta x$  та інтервалів часу  $\Delta\tau$ . Для кожного приросту часу у диференційне рівняння вводили відповідні дані температурі шару коефіцієнти теплопровідності  $K$  та температуропровідності  $K/(\rho \cdot C)$ , враховуючи щільність матеріалу  $\rho$  та його теплоємність  $C$ .

Виділення теплоти у контакті здійснюється за рахунок роботи струму на контактному опорі. Це місцеве джерело теплоти і його інтенсивність вимірюється зі зміною опору у функції температури. Інтенсивність нагріву в контакті пропорційна квадрату струму та контактному опорі. Відомо, що при нагріві контактної поверхні контактний опір швидко зникає. В свою чергу, величина контактної опору залежить від властивостей матеріалу та стану поверхні, що наплавається – оксидні плівки, клас обробки і т. і. Зміна контактної опору у часі не відіграє істотної ролі в процесі наплавлення через незначну товщину контактної поверхні та порівняно швидкий нагрів контактної поверхні, тому його опір швидко знижується до свого номінального значення. В контакті електрод-деталь виділяється теплота на перехідних опорах на приконтактному шарі.

Враховуючи площу контакту  $S$ , термічний опір в контакті електрод-деталь  $R$  та температуру поверхні виробу  $T_0$ , рівняння енергетичного балансу прийме вигляд:

$$KS \frac{T_{n+1} - T_n}{\Delta x} \Delta\theta + \frac{2KR\Delta\theta}{2K + h\Delta x} = (T_0 - T_n) + I^2 S \sigma \Delta x \Delta\theta = S \Delta x C (T'_n - T_n),$$

Диференційне рівняння:

$$T'_n = T_n + \frac{K\Delta\theta}{\rho C (\Delta x)^2} (T_{n+1} - T_n) + \frac{2KR\Delta x}{\rho C (2K + R\Delta x)} \cdot \frac{\Delta\theta}{(\Delta x)^2} (T_0 - T_n) + \frac{\sigma}{\rho C} I^2 \Delta\theta.$$

При постійних  $\Delta\theta$  та  $\Delta x$  повинна виконуватися умова:

$$\frac{K}{\rho C} \left( 1 + \frac{2R\Delta x}{2K + R\Delta x} \right) \frac{\Delta\theta}{(\Delta x)^2} \leq 1.$$

Приведена методика розрахунку використана при розробці програмного комплексу для оптимізації енергосилових параметрів електроконтактного наплавлення композиційних матеріалів швидкозношуваних поверхонь деталей.

## ПЕРСПЕКТИВИ БЕРЕЖЛИВОГО ВИРОБНИЦТВА НА ВІТЧИЗНЯНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

**Белікова О.Ю., Дудін О.К.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

У багатьох країнах світу активно досліджується японська система управління підприємством, адже швидкий та успішний розвиток економіки цієї країни дозволив їй посісти лідируюче місце у світі. Інтерес до японських методів управління зумовлений тим, що підприємства Японії стали лідерами у виробництві та збуті найрізноманітніших товарів: від складних електронних виробів до виробів побутового призначення.

Концепція бережливого виробництва – це один з новітніх напрямів розвитку менеджменту, яка стала ще одним каналом проникнення західних консультантів на український ринок. Концепція організації виробництва з англійською назвою *Lean production* надзвичайно популярна у світі.

Бережливе виробництво (*Lean production*) – це система організації і управління розробкою продукції, виробництвом, взаємовідношеннями з постачальниками і споживачами, коли продукція виготовляється в точній відповідності до запитів споживачів і з меншими втратами у порівнянні з масовим виробництвом великими партіями. Виробництва *Lean production* означає “виробництво”, що очищене від всього “зайвого” або “Бережливе виробництво”.

Мета концепції бережливого виробництва – позбутися всіх видів затрат та домогтися максимальної ефективності використання ресурсів шляхом безперервного вдосконалення всіх бізнес-процесів організації, спрямованих на підвищення задоволеності споживачів.

Впровадити систему “Бережливе виробництво” можна завдяки значному скороченню або навіть видаленню всіх процесів, що не приносять цінності. До таких належать процеси транспортування, зберігання, очікування, контролю, а також дефекти, зайві рухи, переміщення та інші. Усунення цих процесів з виробництва є достатньо складною справою. Але якщо добитися зменшення частки цих процесів в організації виробництва, можна значно зменшити витрати на виробництво і тим самим – собівартість виробленої продукції без втрати її якості.

Проаналізувавши ситуацію, що склалася на Україні, можна сказати, що вже з'явилися реальні можливості для застосування концепції бережливого виробництва, хоча вони досить обмежені. *Lean production* вже впроваджують деякі підприємства, що стало наслідком усвідомлення важливості менеджменту якості. Великим кроком вперед є той факт, що керівники компаній розуміють необхідність здійснення обдуманих та систематизованих дій для покращення роботи підприємства.

## БІЗНЕС-РИЗИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ ДОНЕЦЬКОГО РЕГІОНУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

**Бившева Л.О., Моховіков А.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Військові дії, які сьогодні ведуться на території України внесли свої корективи в усі бізнес-процеси, які відбуваються на підприємствах. Ті проблеми, які стояли перед металургійними підприємствами до 2022 року (питання капіталу, ліцензій, зміни клімату, геополітика) відійшли на другий, якщо не на третій план. Проблеми металургійних підприємств Європи, такі, як зміна клімату, закриття шахт, екологічні проблеми, зовсім не цікавлять керівників великих підприємств Донецького регіону в умовах війни. Адаптаційні процеси воєнного часу, такі як підтримка персоналу, забезпечення стійкості активів та надійного енергозабезпечення, мають першочергове значення для гірничо-металургійної галузі.

Мета роботи провести аналіз основних бізнес-ризиків великих машинобудівних підприємств Донецького регіону та визначити основні напрямки їх оптимізації.

Машинобудівні підприємства Донецького регіону, як і інші промислові об'єкти в Україні, стикаються з низкою бізнес-ризиків та мають певні можливості в сучасних умовах. Основні аспекти можна розділити на кілька категорій, які зведемо в таблицю 1.

Таблиця 1 – Основні бізнес-ризики машинобудівних підприємств Донецького регіону

Вид ризику	Тип ризику	Характеристика ризику
Безпекові ризики	Воєнний конфлікт	Триваючі бойові дії на сході України створюють загрозу для фізичної безпеки підприємств, їх співробітників, а також інфраструктури.
	Інфраструктурні пошкодження	Руйнування доріг, залізничних шляхів та інших комунікацій ускладнює логістику та постачання сировини і готової продукції.
Економічні ризики	Інфляція та девальвація	Економічна нестабільність призводить до коливань вартості валюти, що впливає на ціну матеріалів та комплектуючих
	Зниження платоспроможного попиту	Через економічні труднощі в регіоні зменшується попит на продукцію машинобудівних підприємств.
Регуляторні ризики	Непередбачувані зміни	Нестабільність законодавчої бази може створювати додаткові труднощі в плануванні діяльності підприємств
	Корупція та адміністративні бар'єри	Залишаються проблеми з корупцією, яка ускладнює ведення бізнесу

Сьогодні основним ризиком роботи підприємств в Україні є неможливість довгострокового планування. Керівники підприємств не можуть планувати не

тільки економічні показники, а навіть існування самого підприємства, оскільки обстріли, які є постійними для Донецького регіону можуть за декілька хвилин знищити обладнання і навіть цех. Більшість заказів, які сьогодні виконують великі підприємства виконуються без авансу і виплати по цим заказам здійснюються тільки тоді, коли продукція доставлена замовнику. Крім того, підприємства працюють в умовах, коли електроенергія може бути вимкнена кожної миті, ціни на сировину нестабільні, податки можуть бути підвищені без попередження.

Для того, щоб вистояти сьогодні необхідно використовувати всі можливості, які дає ситуація.

1 Необхідно почати виготовляти продукцію військового напрямку. Сьогодні і, навіть, після закінчення бойових дій, попит на продукцію для оборонного комплексу буде тільки зростати. Крім того, можна буде отримати бюджетні кошти на фінансування інвестиційних проектів.

2 Сьогодні можливо отримання грантів, субсидій та іншої фінансової підтримки для розвитку бізнесу та відновлення інфраструктури. Крім того, можна приймати участь у міжнародних проектах та програмах технічної допомоги.

3 Для зменшення залежності від енергогенеруючих компаній необхідно інвестувати у проекти з підвищення енергоефективності, що дозволить знизити витрати та поліпшити екологічні показники.

4 Необхідно проводити диверсифікацію ринків збуту. Вихід на нові ринки збуту як в Україні, так і за кордоном, що дозволить зменшити залежність від місцевого ринку. Використання можливостей, що надаються угодою про асоціацію з ЄС.

Машинобудівні підприємства Донецького регіону мають низку серйозних ризиків, що впливають із безпекової та економічної нестабільності. Водночас, вони мають можливості для розвитку через інновації, диверсифікацію продукції та ринків, а також залучення інвестицій. Важливим є стратегічне планування та адаптація до змін для забезпечення стійкості та зростання в умовах сучасних викликів. Незважаючи на численні ризики, машинобудівні підприємства Донецького регіону мають можливості для розвитку за умов адаптації до нових реалій, модернізації виробничих процесів та активного пошуку нових ринків збуту. Важливу роль відіграє підтримка з боку держави та міжнародних партнерів, що може сприяти відновленню економічної стабільності в регіоні.

#### **Література:**

1. М. Приходько. Десять ризиків та можливостей для гірничо-металургійного комплексу. 31.01.2024. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2024/01/31/709328/>

2. Короткий Ю. В. Машинобудівна промисловість України: здобутки та перспективи. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Економіка і менеджмент. 2015. № 11. С. 117–120. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILE=&2\\_S21STR=Nvmgu\\_eim\\_2015\\_11\\_28](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Nvmgu_eim_2015_11_28)

# МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БОКОВОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ВІДРОСТКАМИ ПРИ ОДНОСТОРОННІЙ ПОДАЧІ

Бочковий Д.О., Медяник А.С., Хмарський Д.П.  
(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Перспективним методом отримання осесиметричних деталей з відростками і потовщеннями є бокове видавлювання, що характеризується закінченням металу заготовки в поперечному напрямку. Процеси бокового видавлювання мають велику кількість варіацій схем деформування, способів їх реалізації, і великою різноманітністю деталей, які можливо отримувати за цими схемами.

Метою даної роботи є дослідження процесу бокового видавлювання виробів с відростками. Основними завданнями є визначення оптимальних параметрів штампування, а також розробка рекомендацій щодо покращення процесу виготовлення деталі [1]. Дослідження буде проведене у програмі DEFORM 2D/3D. Обрані наступні параметри для моделювання процесу  $d_0$  – діаметр заготовки ( $d_0=20\text{мм}$ ),  $h$  – висота відростка ( $h=20\text{мм}$ ),  $r$  – радіус заокруглення кромки інструменту ( $r=2\text{мм}$ ),  $V$  – швидкість процесу видавлювання (рис 1). Був узятий матеріал 1070А (алюмінієвий сплав)

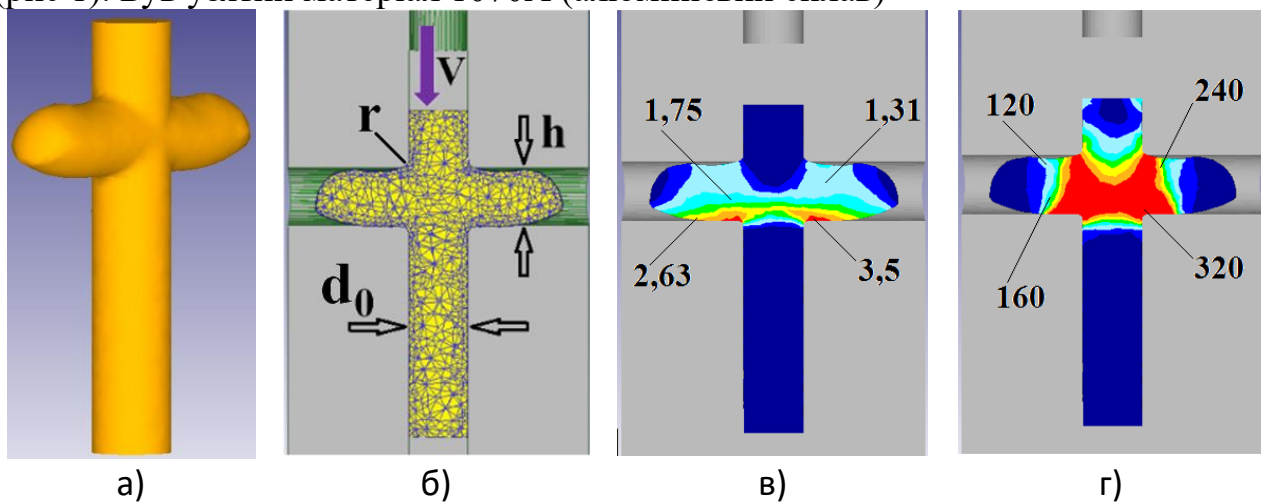


Рис. 1. Отримана деталь бокового видавлювання з відростками при односторонній подачі (а), викривлення ділильної сітки (б), розподіл інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  (в), розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$ , МПа (г)

Як видно з рисунка 1, можна спостерігати, що найбільша інтенсивність деформації зосереджена в області біля заокруглення у нижній матриці і має значення  $\epsilon_i = 3,5$ . Додатково, розподіл інтенсивності напружень зосереджена біля пуансона, де максимальне значення становить  $\sigma_i = 320$  МПа.

**Література:** 1. Алієв І. С. Дослідження впливу геометричних параметрів напівматриць на фестоноутворення при боковому видавлюванні деталей з відростками / Алієв І. С., Левченко В. М., Корденко М. Ю. // Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти: матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 3–7 червня 2019. – Київ-Херсон : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – С. 129–130.

# ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЇХ ІНТЕГРАЦІЯ У ЛОГІСТИЦІ

**Бурцева О.Є., Голубов І.О.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Інноваційність - безумовний вектор мислення управлінців усіх ланок на підприємствах виробничої галузі. Він забезпечує пошук та впровадження нових ідей у виробництво задля досягнення більш ефективної роботи виробничого процесу, операційної системи тощо. Однією із складових інноваційної діяльності підприємств, яка спрямована на оновлення процесів на виробництві є технологічна складова. Технології пронизують усі виробничі процеси та їх оновлення забезпечує конкурентні переваги підприємству. Технологія - це спосіб перетворення речовини, енергії, інформації в процесі виготовлення продукції, обробки й переробки матеріалів, складання готових виробів, контролю якості, управління. Технологія включає в себе методи, прийоми, режим роботи, послідовність операцій і процедур, вона тісно пов'язана з використовуваними засобами, устаткуванням, інструментами, матеріалами. Ще однією невід'ємною вимогою сучасності є застосування на виробничих підприємствах автоматизації.

Впровадження сучасних інноваційних технологій автоматизації у виробництво обов'язково повинно мати комплексний підхід до змін, які відбудуться у виробничих циклах. Інноваційні технології автоматизації чудово зарекомендували себе у пошуку та адаптації та навчанні персоналу, індивідуальному контролі якості роботи працівника, виборі постачальників, перевірці якості та придатності сировини, контролі якості кінцевого продукту, контролі збуту та складу.

Отже, технології автоматизації автоматизують процеси, машини та системи, а також надають такі переваги як зниження або оптимізація витрат, впливають на якість, підвищуючи її рівень та знижуючи ймовірність помилок, підвищують рівень безпеки виробничих систем.

Однією із ключових систем виробничого процесу є логістика та потокові процеси, що відбуваються у логістичній системі виробничого підприємства. Аналіз цих процесів та їх регулювання з метою покращення роботи виробничої системи є цілю логістичної діяльності на підприємстві. Інноваційні технології та інструменти автоматизації логістики дозволяють суттєво покращити логістичні процеси, а саме: зручніше відстежувати замовлень та поточне місцеперебування замовлень; ефективно планувати маршрути доставки та раціонально використовувати транспортні засоби; уникати помилок при обробці замовлень; дозволяє мати повну аналітику та забезпечує ефективне планування діяльності підприємства.



## ТЕМАТИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ НАУКОВИХ СТАТЕЙ У ГАЛУЗІ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

**Васильченко Ю.В.**

*(НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна)*

Сучасна інформаційна епоха супроводжується стрімким зростанням обсягу наукових публікацій у галузі важкого машинобудування. Таке збільшення кількості документів створює необхідність в ефективних методах організації цієї інформації для зручного та швидкого доступу. Тематична класифікація допомагає зменшити час пошуку та забезпечити більш точний та зручний доступ до необхідної інформації. Актуальні дані та результати досліджень є ключовими для успішного впровадження нових технологій та інновацій у галузі важкого машинобудування. Правильно організована та класифікована наукова інформація дозволяє оптимізувати дослідницькі процеси та підвищити продуктивність науково-дослідницьких команд.

Метою дослідження є розробка ефективної системи, яка допоможе дослідникам, інженерам та іншим зацікавленим сторонам швидше та точніше знаходити наукові статті, пов'язані з конкретними темами важкого машинобудування.

Аналіз літературних джерел дозволив виявити ряд проблем, які виникають при класифікації наукових статей у галузі важкого машинобудування. Наукові статті можуть мати різний формат, стиль та обсяг, бути більш загальними та менш технічними. Ця різноманітність може ускладнити процес класифікації та вимагати розробки адаптивних алгоритмів. Деякі класи статей можуть бути представлені набагато менше, ніж інші, що може призвести до недооцінки таких класів та неправильної класифікації. Терміни та поняття можуть мати різні значення в різних контекстах, що може ускладнити їхню правильну класифікацію. Може бути багато синонімів, що може призвести до непослідовності у класифікації. У багатьох випадках не всі частини тексту можуть бути релевантними для класифікації. Це може призвести до втрати інформації та недооцінки релевантних функцій. Часто наукові статті можуть бути написані або перекладені на різні мови, що може ускладнити процес класифікації через неоднорідність мовних структур та варіантів використання термінології. Враховуючи ці проблеми, при розробці системи класифікації особливу увагу було приділено вибору відповідних методів обробки даних та розробці адаптивних та надійних алгоритмів, які були б ефективними в різних умовах.

В роботі використано комбінацію методів машинного навчання та обробки природної мови для автоматизованої тематичної класифікації наукових статей. Спочатку проводиться попередня обробка тексту статей, яка включає токенізацію, вилучення ключових слів та векторизацію. Потім використовується алгоритм машинного навчання, наприклад, наївний Баєсівський класифікатор або метод опорних векторів, для навчання моделі на основі попередньо позначених наборів даних. Попередні результати показують, що запропонована система має високу точність та швидкість класифікації наукових статей у галузі важкого машинобудування. Порівняно з традиційними методами, система демонструє кращу продуктивність та здатність адаптуватись до нових тем.

# ВИМІРЮВАННЯ ЗУБЧАСТИХ АСИМЕТРИЧНИХ ПЕРЕДАЧ ЦИЛІНДРИЧНИХ КОЛІС

Васильченко Я.В., Мироненко О.Є.

(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Асиметричні зубчасті передачі при виготовленні шліфують обидва профіля з робочим та протилежним профілем для забезпечення контролю при вимірюванні зубців (рис. 1) по роликам.

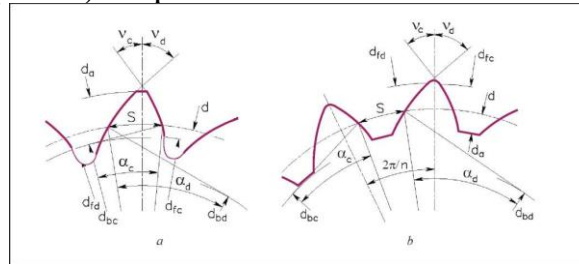


Рис.1. Профіль зубчастого профілю: а = зовнішня передача; b = внутрішня передача;  $d_a$  = діаметр кола наконечника зуба;  $d_b$  = діаметр базового кола;  $d_f$  = діаметр кола форми;  $v_c$  - шліфований робочий профіль асиметричного зубчастого колеса,  $v_d$  - неробочий профіль асиметричного зубчастого колеса

У порівнянні з традиційним підходом до конструкції коробки передач, заснованим на стандартних для високопродуктивних користувачів редукторів, які включають: збільшену вантажопідйомність, ефективність і термін служби; зменшений розмір, вага, шум, вібрації, вартість і т. д. Однак для виготовлення таких спеціально розроблених механізмів потрібне не тільки індивідуальне оснащення, але також налаштування методології механізації передач.

Існує Метод Direct Gear Design представляє зубчастий зуб двома інволюціями з двох базових кіл з кутовою відстанню між ними та дугою кола кінчика зуба (рис.1). Нерухливі  $n$  зубці утворюють шестірню. Філе між зубами сконструйовано незалежно, що забезпечує мінімальну концентрацію при згинанні і достатню очистку за допомогою зубного наконечника, що сполучається в сітці. Якщо два базових кола однакові, зубці шестірні симетричні; якщо вони різні, зуби асиметричні.

Вимірювання (між) кульок або штифтів для циліндричних зубчастих коліс визначається на основі даних: Кількість зубів  $n$ , Посилальний діаметр кола  $d$ , Товщина круглого зуба при контрольному діаметрі  $S$ , Діаметр зубчастого колеса зубчастої передачі  $d_a$ .

Спосіб вимірювання по ролику дає можливість отримати фактичні результати, але найбільш точний спосіб і час вимірювання дає спосіб контролю довжини загальної нормалі  $V_{wr}$  з рахунком профільних кутів по лівому та правому профілю.

**Література:** Kapelevich, AL і YV Shekhtman. "Цей мішок Profile Optimization для Gears with Symmetric and Asymmetric Teeth," AGMA Fall Technical Meeting, San Antonio, Texas, October 12-14, 2008, (08FTM06), republished в Gear Technology, September/-7 9

## УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЯМИ ТА СПОСОБИ УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ ПРОЦЕСІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

**Віштак І. В.**

*(ВНТУ, м. Вінниця, Україна)*

Рівні технічного оснащення та потенціалу для технологічного розвитку - визначають світовий статус держав. У світовій практиці використовується термін "інновація" для оцінки якісних змін у виробництві. Інновації сприяють підвищенню продуктивності, росту виробництва, структурним зрушенням та підвищенню конкурентоспроможності.

Метою роботи є вирішення існуючих проблем та досягнення стратегічних цілей підприємства.

Управління інноваціями - це управління складними процесами, що базуються на наукових дослідженнях. Стратегічне управління інноваціями відбувається згідно з системним підходом. Реалізація інноваційних стратегій потребує визначення їх типу та послідовності застосування відповідних засобів. Типи інновацій можуть включати підтримку дифузії, експансію іноземного капіталу та підтримку успішних галузей машинобудування [1].

Управління інноваційною діяльністю включає в себе вибір та реалізацію методів для перетворення наукових досягнень у конкурентоздатний продукт.

Стратегічне керівництво інноваційною сферою діяльності розвивається відповідно до принципів системного підходу. Через взаємозв'язки уточнюються стратегії вищого рівня.

Для втілення конкретних завдань інноваційної стратегії передусім потрібно визначити її тип, що визначає логіку та послідовність безпосереднього застосування відповідних інструментів. Таких типів може бути кілька: а) підтримка дифузії інновації, яка передбачає копіювання шляхом патентів і технологій з метою подальшого самостійного удосконалення; б) підтримка приваблення іноземного капіталу, включаючи інтеграцію з передовими транснаціональними корпораціями; в) підтримка "точок зростання" галузей, які досягли успіху в науково-технічних розробках.

Проаналізувавши та узагальнивши існуючі дослідження, вважаємо, що інноваційна діяльність є складовою виробничо-господарської діяльності машинобудівних підприємств і спрямована на вдосконалення виробництва та організаційно-економічні відносини на підприємстві.

Система управління інноваційною діяльністю передбачає вибір та реалізацію сукупності методів, прийомів та інструментів щодо перетворення наукових досліджень, розробок та результатів науково-технічних досягнень у новий, покращений, конкурентоздатний продукт (технологію) для подальшої реалізації на ринку.

### **Література:**

1. Падерін І. Д., Горященко Ю. Г. Стратегічні пріоритети інноваційного розвитку підприємництва. *Економічний вісник Донбасу*. 2021. № 1 (63). С. 103–107. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2021-1\(63\)-103-107](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2021-1(63)-103-107).

## ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОЧІННЯ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ

Гринь О. Г., Жаріков С. В., Воропаєв Є. В., Стеценко А. А.

(ДДМА, Краматорськ, Україна)

Використання різних матеріалів оболонки порошкового дроту (ПД) утруднює процес проектування технологічних режимів волочіння, а визначення алгоритму регулювання жорсткості порошкового дроту є важливим завданням.

Метою цієї роботи є визначення раціональних технологічних режимів волочіння порошкового дроту з різними матеріалами оболонки.

Як оболонку використовували стрічки: мідну М1 товщиною 0,5мм та шириною 15 мм, сталеву 65Г і СтЗпс товщиною 0,5мм, шириною 15 мм при одному складі осердя ПД.

Експериментальне дослідження процесу волочіння порошкових дротів проводили на спеціальному волочильному одnobарабанному стані.

Виготовлення ПД через першу фільтру відбувалось при витяжці  $\mu = 1,2-1,3$ . Іншою важливою умовою є виконання співвідношення:

$$\frac{S_0}{S_k} < 1, \quad (1)$$

де  $S_0$  – площа поперечного перерізу порошкового дроту, мм<sup>2</sup>;

$S_k$  – площа поперечного перерізу фільтри кінцевої форми, мм<sup>2</sup>.

Загальна кількість переходів ( $n$ ) за все волочіння ПД від діаметра першої фільтри ( $D_0$ ) до заданого кінцевого діаметра ( $D_k$ ) було визначено в залежності від необхідного запасу міцності, що забезпечує цілісність оболонки при деформації.

Розраховувалися напруги і деформації, що виникають в зоні входу в фільтру, при волочінні ПД. Напруги, що виникають при волочінні ПД не перевищили межу міцності матеріалу оболонки.

У ході експерименту було отримано коефіцієнти деформації  $\varepsilon = 0,143-0,157$  для мідної оболонки,  $\varepsilon = 0,085-0,149$  для сталі, відносна щільність осердя дроту  $0,7-0,8$ .

Проведені дослідження показали кореляцію між жорсткістю дроту і відносним ступенем деформації після протягування дроту до  $D_k$ . Величину відносної деформації визначали як:

$$\xi = \frac{(D_0 - D_k)}{D_0}, \quad (2)$$

де  $D_0, D_k$  – початкова та кінцева величина  $i$ -го діаметра.

Жорсткість визначалася за величиною максимального осьового навантаження, що призводить до утворення залишкових деформацій відрізка дроту. Критичне навантаження залежить від модуля пружності матеріалу ПД.

## **ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ЗБУТОВОЇ СТРАТЕГІЇ ВЕЛИКИХ ПІДПРИЄМСТВ ДОНЕЦЬКОГО РЕГІОНУ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ**

**Волошина О.О., Дерев'янка С.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Перед підприємствами всіх форм власності, які сьогодні здійснюють свою діяльність в Україні, актуальним сьогодні є проблеми управління збутовою діяльністю. Формування збутової стратегії великих підприємств Донецького регіону в умовах воєнного стану стикається з низкою унікальних та складних проблем. Сьогодні робітники підприємства не тільки повинні виготовити продукцію, а й доставити її до замовника, що дуже важко зробити на прифронтових територіях.

Мета роботи визначити особливості формування збутової стратегії великих промислових підприємств і розробити основні шляхи підвищення їх ефективності.

Для забезпечення успіху будь-якої діяльності потрібен потенціал (ресурсний, енергетичний, екологічний, соціально-активований, інтелектуальний), підтримання якого забезпечується логістикою – комплексом організаційних дій, які поєднують взаємодію суб'єктів бізнесу в процесі руху товарів (надання послуг) від виробника до споживача. Виклики, пов'язані із воєнним станом в Україні зумовлюють потребу удосконалення та інноватизації методів управління логістикою й формування нової інноваційної стратегії збуту. Основні проблеми збуту, які сьогодні стоять перед великим бізнесом в Донецькому регіоні є:

1 Порушення логістичних ланцюгів. Руйнування інфраструктури, таких як дороги, мости, залізничні колії, ускладнює транспортування продукції, досить складно організувати доставку великогабаритного товару до замовників. Втрата доступу до портів та інших транспортних вузлів обмежує можливості експорту та імпорту, крім того відчувається гострий дефіцит транспорту, який може перевозити великогабаритні грузи, тому що практично весь він пішов на потреби ЗСУ.

2 Новий закон про мобілізацію приводить до того, що у підприємств транспортної галузі виникає нестача не тільки транспортних засобів, а й водіїв, які бояться виходити на маршрути. Сьогодні тільки 5% робітників транспортної галузі мають бронь від мобілізації, а жінки не можуть працювати на довгих маршрутах.

3 В умовах воєнного стану транспортні перевезки є досить дорогою річчю, за два роки воєнних дій транспортування продукції подорожчало в декілька разів, що впливає на собівартість продукції і робить її неконкурентоспроможною.

4 Нестабільність ринку та зниження платоспроможного попиту зменшують внутрішній попит на товари. Вітчизняні підприємства не мають

достатньо коштів для модернізації продукції, а закордонні компанії побоюються замовляти продукцію на підприємствах Донецького регіону, особливо це стосується продукції з довгостроковим періодом виробництва.

5 Багато підприємств мають обмежені фінансові ресурси, що перешкоджає їхній здатності інвестувати в сучасні методи збуту, маркетинг та розвиток нових ринків. Без належного фінансування важко реалізовувати ефективні збутові стратегії та підтримувати конкурентоспроможність.

6 На підприємствах Донецького регіону сьогодні гостра нестача персоналу, який може займатися маркетингом і збутом продукції. Регіон розташований на межі бойових дій, частина фахівців покинула територію регіону, побоюючись обстрілів, частина маркетологів знайшла роботу на підприємствах в інших регіонах. Крім того, заробітна плата, яку сьогодні пропонують на машинобудівних підприємствах Донецького регіону значно нижче, ніж на підприємствах у Західних регіонах країни. Персонал підприємств не має чітко розроблених маркетингових стратегій і не використовують сучасні методи просування продукції. Відсутність досвіду в маркетингу та продажах знижує ефективність збутової діяльності.

7 У довоєнний час підприємства регіону приймали участь у міжнародних виставках, тренінгах, персонал підприємств проходив спеціалізоване навчання. Сьогодні перед підприємствами Донецького регіону стоїть питання виживання, а не розвитку, що призводить до втрати зв'язків з потенційними замовниками, іноземними транспортними компаніями і т.д.

8 У період воєнного стану різко підвищилась вартість страхування вантажів, крім того, великі закордонні страхові компанії зовсім відмовляються страхувати вантажі Донецького регіону, що призводить до збільшення ризиків транспортування.

Сьогодні машинобудівні підприємства Донецького регіону стикаються з низкою проблем у збутовій політиці, які ускладнюють їх функціонування та конкурентоспроможність на ринку. Підприємствам Донецького регіону необхідно бути гнучкими та інноваційними, щоб вижити та адаптуватися до нових умов, створених війною. Співпраця з державою, міжнародними організаціями та активне використання новітніх технологій може допомогти знизити негативні наслідки та знайти нові можливості для розвитку.

#### **Література:**

1. Сайт інформаційного порталу «Разумков Центр». Про пріоритети у промисловості (аналітичні оцінки). 5.02.2023. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/pro-priorityty-u-promyslovosti>.

2. Короткий Ю. В. Машинобудівна промисловість України: здобутки та перспективи. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Економіка і менеджмент. 2015. № 11. С. 117–120. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&S21P03=FILE=&S21STR=Nvmgu\\_eim\\_2015\\_11\\_28](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILE=&S21STR=Nvmgu_eim_2015_11_28)

## АНАЛІЗ ПОМИЛОК У ПІДХОДАХ ДО ТРАКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ «POWER SKIVING»

Грицай І.Є., Сліпчук А.М., Кук А.М.

(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Значне поширення зубчастих коліс як невід'ємних складових більшості сучасних машин зумовило розвиток нових та удосконалення існуючих методів їх виготовлення. До найпрогресивніших технологій зубонарізання у наш час причисляють метод «павер скайвінг» («power skiving»). Порівняно з традиційними технологіями зубооброблення – черв'ячним зубофрезеруванням та зубодовбанням power skiving характеризується великою швидкістю різання, малим часом допоміжних переходів, високою продуктивністю і якістю зубчастих коліс. Останнім часом цей метод почали використовувати для виготовлення зубчастих коліс великих модулів -10 мм і більше для передач і приводів тяжких машин (зокрема, фірма Komatsu, Японія). Розвиток цього методу, відомого раніше як зуботочіння відбувається у таких напрямках: підвищення жорсткості, вібростійкості та рівня синхронізації приводів скайвінг-верстатів; удосконалення систем числового керування верстатами і їх приводами; розроблення комп'ютерних систем моделювання процесів різання, формоутворення і моделювання супутніх їм процесів та явищ; поширення цього методу на колеса зовнішнього зачеплення; розвиток конструкцій скайвінг-інструментів.

Дослідження, які ведуться у Львівській політехніці та створена авторами система комплексного дослідження цього процесу дала змогу проаналізувати та оцінити напрацювання в цій галузі. Аналіз відомих першоджерел показав, що в галузі моделювання процесу power skiving та розроблення різального скайвінг-інструменту дослідники часто базуються на хибному трактуванні та допускаються помилкових висновків. Основна їх помилка полягає в невірному трактуванні кінематики та схеми різання power skiving, яку ототожнюють з кінематикою черв'ячного зубофрезерування та схемою різання черв'ячної фрези, наприклад - [1-8], моделюючи рух різання зубцем скайвінг-інструменту як зубця черв'ячної фрези.

Проте, в черв'ячному зубофрезеруванні в обробленні однієї впадини між зубцями в одному циклі осьової подачі бере участь кілька десятків зубців черв'ячної фрези, які розташовані на її гвинтовій поверхні. Наприклад, якщо у верстатному зачепленні з колесом в його торцевій поверхні перебувають три зубці фрези, що має десять рейок, то за поворот колеса на кут контакту впадина буде оброблена тридцятьма зубцями фрези. Площина, в якій відбувається різання кожним зубцем відносно осі колеса лежить під кутом, рівним підйому гвинтової лінії (для прямозубих коліс), який лежить в межах  $3^{\circ}$  -  $5^{\circ}$  градусів.

Інша картина має місце при різанні за методом power skiving. В кінематиці цього методу відтворено зачеплення двох коліс, одне з яких є інструментом того ж модуля, який встановлено під кутом до колеса. В зубчастому зачепленні така

установка призвела б до значного тертя між профілями, проте в обробленні це забезпечує процес різання та формоутворення. Таким чином, в контакті з однією впадиною в циклі подачі перебуває лише один зубець інструменту, незалежно від коефіцієнта торцевого перекриття, а площина різання утворює з віссю колеса кут  $90^\circ - \omega$  (для прямозубих коліс), де  $\omega$  - кут нахилу зубців різця. В більшості випадків цей кут рівний  $20^\circ$ , тому площина різання лежить відносно осі колеса під кутом  $70^\circ$ . Відмінності в цих процесах можна відслідкувати зі схем на рис.1.

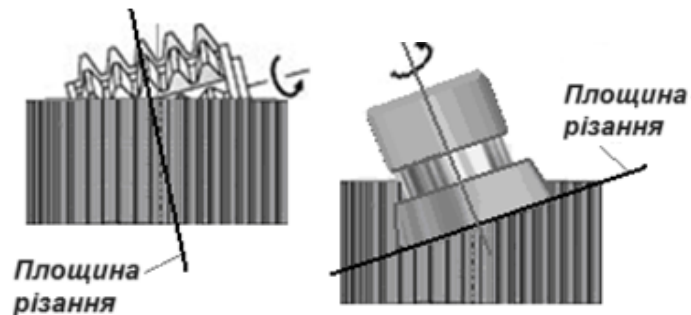


Рис.1. Відмінності між черв'ячним зубофрезеруванням та скайвінг-процесом

Як результат такого підходу при проектуванні нових інструментів базуються на уявленнях про можливості зміни схеми різання черв'ячної фрези. Прикладом може бути інструмент, який показано на рис. 2, поданий авторами як "Супер Скайвінг Різак" ("Super Skiving Cutter") [9].



Рис.2. Конструкція комбінованого скайвінг-різка

Основною метою цього та подібних нових інструментів є скорочення кількості переходів технологічної операції. Для цього різець проектується як комплект з кількох інструментів з різними контурами зубців. Передбачається, що попередній рівень зубців частково формує впадину, різання в якій продовжують зубці наступного рівня, з більшим профілем, і так до остаточного формування необхідних зубців колеса в осьовій подачі. Таким чином розробники хочуть добитися розподілення припуску, який усувається із впадини, між більшою кількістю зубців інструменту, що має дати можливість нарізати зубці на повну висоту профілю за один, або два проходи.

Проте, в інструменті на рис.2 зубці усіх рівнів мають однаковий кутівий крок, але різний окружний крок. Це означає, що ці зубці мають різний модуль, відповідно, на колесі, яке нарізають таким інструментом на різній висоті будуть формуватися зубці різних модулів. Тоді, при різанні зубцями наступного рівня



вони будуть утворювати впадини, які не відповідають за розташуванням на ділільному колесі впадинам, що сформувалися раніше, ці впадини будуть перерізатися з іншим кроком, що в підсумку не дасть змоги нарізати колесо.

Частково усунути цей недолік можна тільки зменшивши різницю діаметрів, на яких утворені зубці інструменту на першому та останньому рівнях. Проте, це нівелює саму ідею такого інструменту, при цьому буде мати місце несиметричний припуск на правих і лівих лезах зубців інструменту. Таким чином, такий інструмент не забезпечить досягнення задекларованої мети і присуті, є непрацездатним.

Щоб реалізувати вказану вище ідею інструмент повинен мати зубці на різних рівнях не тільки з однаковим кутовим кроком, але й з однаковим окружним кроком. Для цього різець повинен бути циліндричним, а не конусоподібним, а зубці усіх рівнів повинні лежати на одному колі зовнішнього діаметра інструменту. Тільки в цьому випадку буде забезпечено рівномірний припуск по обох системах зубчастих профілів колеса, яке нарізають, поступове наближення контура зубця до заданого і формування необхідного колеса на завершальному етапі при різанні зубцями останнього рівня.

#### **Література:**

1. N. Tapoglou. Calculation of non-deformed chip and gear geometry in power skiving using aCAD-based simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 100(5) (2019) 1779-1785.
2. E. Guo, R. Hong, X. Huang, C. Fang. Research on the cutting mechanism of cylindrical gear power skiving. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 79 (2015) 541-550.
3. V. Schulze, C. Kühlewein, H. Autenrieth. 3D-FEM modeling of gear skiving to investigate kinematics and chip formation mechanisms. *Advanced Materials Research*. 223 (2011) 46-55.
4. F. Klocke, C. Brecher. *Zahnrad-und Getriebetechnik: Auslegung–Herstellung–Untersuchung–Simulation*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. (2023).
5. F. Klocke, C. Brecher, C. Löpenhaus, P. Ganser, J. Staudt, and M. Krömer. Technological and Simulative Analysis of Power Skiving. *Procedia CIRP*, 50:773-778, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.052>.
6. H. J. Stadtfeld. Power Skiving of Cylindrical Gears on Different Machine Platforms. *Gear Technology*. 1:52-62, 2014. Available at: <https://www.geartechnology.com/ext/resources/issues/0114x/power-skiving.pdf> Accessed: January/February 2014.
7. B. Vargas, M. Zapf, J. Klose, F. Zanger, and V. Schulze. Numerical modelling of cutting forces in gear skiving. *Procedia CIRP*, 82:455-460, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.039>.
8. M. Inuia, Y. Huang, H. Onozuka, N. Umezu. Geometric simulation of power skiving of internal gear using solid model with triple-dexel representation. *Procedia Manufacturing*, 48:520–527, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.078>.
9. T. Monden, T. Kikuchi, K. Yoshikawa, N. Fujimura, A. Georgoussis, “Super Skiving Cutter An Innovative Process Modification for Gear Skiving”, *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, Vol.56, No 1, pp.1. 2019.

# ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБЕРТАННЯ БАШТОВОГО КРАНА

Дорохов М.Ю., Максимов Д.Є.

(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

При аналізі процесів, що відбуваються в механізмах і машинах, широке застосування знайшов метод динамічного моделювання. Цей метод передбачає попереднє створення графічної схеми об'єкта, що досліджується, з розбивкою на елементи, які мають ряд параметрів, таких як маса, момент інерції, кутова або лінійна швидкість. Далі за допомогою диференціальних рівнянь описується зміна положення елементів системи та встановлюється характер руху системи.

Для визначення динамічних навантажень механізму повороту баштового крана при неусталених режимах руху (розгін, гальмування) зазвичай пропонують використовувати динамічну схему «механізм повороту–кран–вантаж».

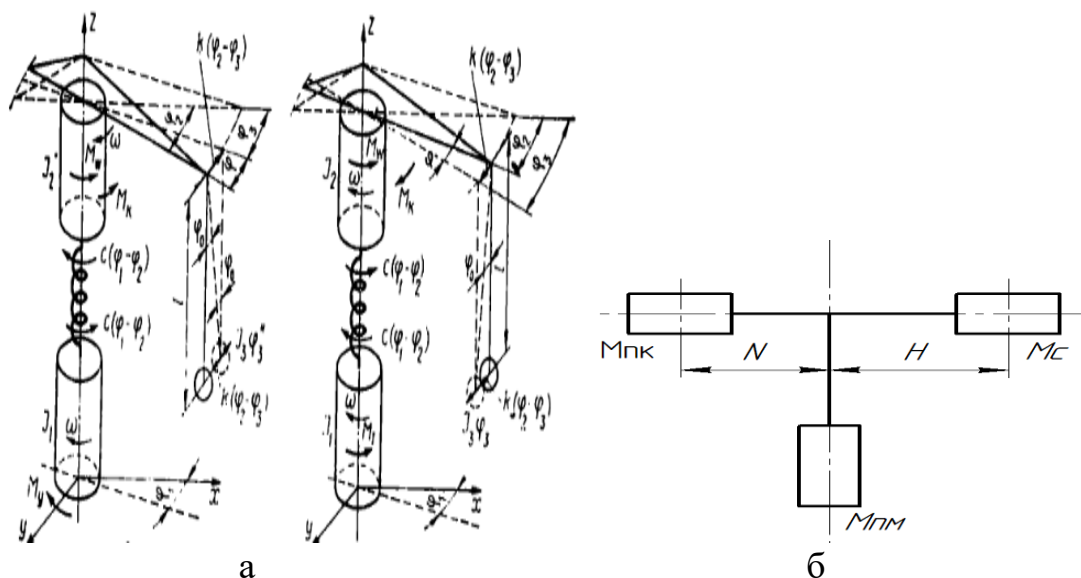


Рис. 1 Розрахункові схеми визначення навантажень механізму повороту

У схемах на рисунку 1.а елементи крана, наприклад вантаж, стріла, башта, протывага й інші приймається у вигляді мас, з'єднаних між собою жорсткими або податливими зв'язками. Така модель досить точно відповідає конструкції баштових кранів з поворотною вежею.

В роботі [Ловейкін, В.С. Оптимізація режиму повороту стрілового крана : монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, І.О. Кадикало. - К.: КОМПРИНТ, 2021. - 272 с.] використовується динамічна схема баштового крана, який конструктивно дещо відрізняється розташуванням протываги (рис. 1.б). Така схема має три масово-інерційні елементи, такі як механізм повороту, стріла і консоль протываги з зазначеними відстанями від осі обертання до центру маси елементів, що обертаються, але не враховує масу вантажу, що робить її застосування достатньо суперечливим.

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ У 3D-БУДІВНИЦТВІ

**Дорохов М.Ю., Русін А.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Технологія 3D-друку це справжня технологічна революція, яка відбувається на наших очах. Застосування 3D принтерів поступово розширюється від створення малогабаритних виробів для широкого спектра галузей, до використання в сфері будівництва, тому що будівельний 3D-принтер - це свого роду гібрид бетономішалки і руки-маніпулятора, у якого замість чорнила бетон, а замість паперу – реальний будівельний майданчик.

3D-друк вже є технологією найближчого майбутнього. Це інноваційний метод, який пропонує зниження витрат, економію часу та обмежені викиди порівняно зі звичайними методами. Перспективи 3D-друку будівель має значні можливості для розвитку будівельної галузі України. Для більшості забудовників дана технологія є новим методом швидкого та дешевого зведення будівель.

Відомо, що незважаючи на наявні переваги технології 3D-друку в будівництві, його широке використання стримує низка факторів, таких як:

- відносно висока вартість сучасних моделей будівельних 3D-принтерів;
- проблематичність впровадження 3D-технологій у комплексний процес будівництва, ремонту та реконструкції;
- відсутність нормативно-правових актів та стандартів для 3D-друку будівель та елементів інфраструктури

Найбільш суттєвою перешкодою на шляху до повноцінного впровадження 3D-друку у будівництві є відсутність нормативної бази його використання.

Онак, незважаючи на всі перешкоди, ера 3D-будівництва майже розпочалася.

На даний час світовий будівельний ринок зазнає серйозних технологічних змін у бік використання засобів 3D-друку. Інтенсивний розвиток адаптивних технологій суттєво змінив баланс економічних факторів у будівництві. Використання таких принтерів для створення будівель та споруд відкриває нові можливості, адже будівельна галузь має всі шанси стати повністю автоматизованою.

Тому дуже важливими є наскоріше вирішення таких питань, як механізація будівельного виробництва, спрощення технологічного ланцюжка будівельної галузі, зниження собівартості готової продукції, скорочення термінів будівництва, зниження частки ручної праці, зниження відсотку травмування людини на виробництві. Однак, однією із основних задач є забезпечення потрібної точності позиціонування руки маніпулятора, та зменшення вібраційної похибки під час робочого процесу.

## АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ ВАНТАЖУ ВЕЛИКОЇ ДОВЖИНИ ПРИ ОБРИВІ ОДНІЄЇ ІЗ ГІЛОК КАНАТУ

**Дорохов М.Ю., Семенченко С.Р., Єрмакова С.О.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Для з'єднання переміщуваного вантажу із гаковою підвіскою крана найбільш часто застосовують такі вантажозахватні пристрої як стропи. Стропи являють собою спеціальні вироби, призначені для фіксації вантажу, які забезпечують його збереження в процесі підйому, перенесення, транспортування. В залежності від технологічного процесу (місце розташування крану, температура зовнішнього середовища/ вантажу, маса вантажу й ін.) стропи можуть бути виготовленими із синтетичних матеріалів, сталевих канатів або круглоланкових ланцюгів.

Кількість гілок у стропі може бути від однієї до чотирьох в залежності від вантажу, що транспортується. Для транспортування виробів великої довжини при малому перетині використовуються траверси (які нажаль не є універсальними, мають значну власну вагу, та зменшують загальну висоту підйому вантажу), або найбільш часто - двоканатні стропи.

При підйомі вантажу одногілковим стропом навантаження, як правило, дорівнює масі вантажу. Однак, при використанні, наприклад, двогілкового стропа, це правило не діє, оскільки із збільшенням кута між гілками зростає напруга стропа. Також, слід враховувати, що при збільшенні кута між гілками зростає ймовірність розриву, але зростає зусилля стиснення, що впливає на вантаж, що може призвести до його псування або руйнування.

Всі види стропів мають запас міцності щодо розривного навантаження від 4 до 6 в залежності від матеріалу, з якого він виготовлений. Запас міцності необхідний для запобігання пошкодження або обриву стропів при динамічних навантаженнях, яка може перевищувати статичну в кілька разів (наприклад при різкому підйомі або обриві однієї з гілок багатоланкового стропа).

Під час проведення такелажних робіт одним з основних вимог виступає їх безпека. Відповідно до «Правил охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт», а також вимог НПАОП 0.00-1.80-18, перед використанням вантажопідіймальних строп стропальники чи інші відповідальні особи зобов'язані їх ретельно оглянути.

Але, незважаючи на наявність таких обов'язкових безпекових заходів, при транспортуванні вантажу можливе руйнування однієї із гілок стропа, внаслідок наявності динамічної складової при виконанні кранових операцій, або помилок стропальника при закріпленні вантажу. Не можна виключати також наявність прихованих внутрішніх або непомічених дефектів у конструкції самого стропа.

Розглядається саме випадок руйнування однієї із гілок двоканатного стропа при транспортуванні виробу великої довжини за допомогою, наприклад, баштового крану (рис.1).

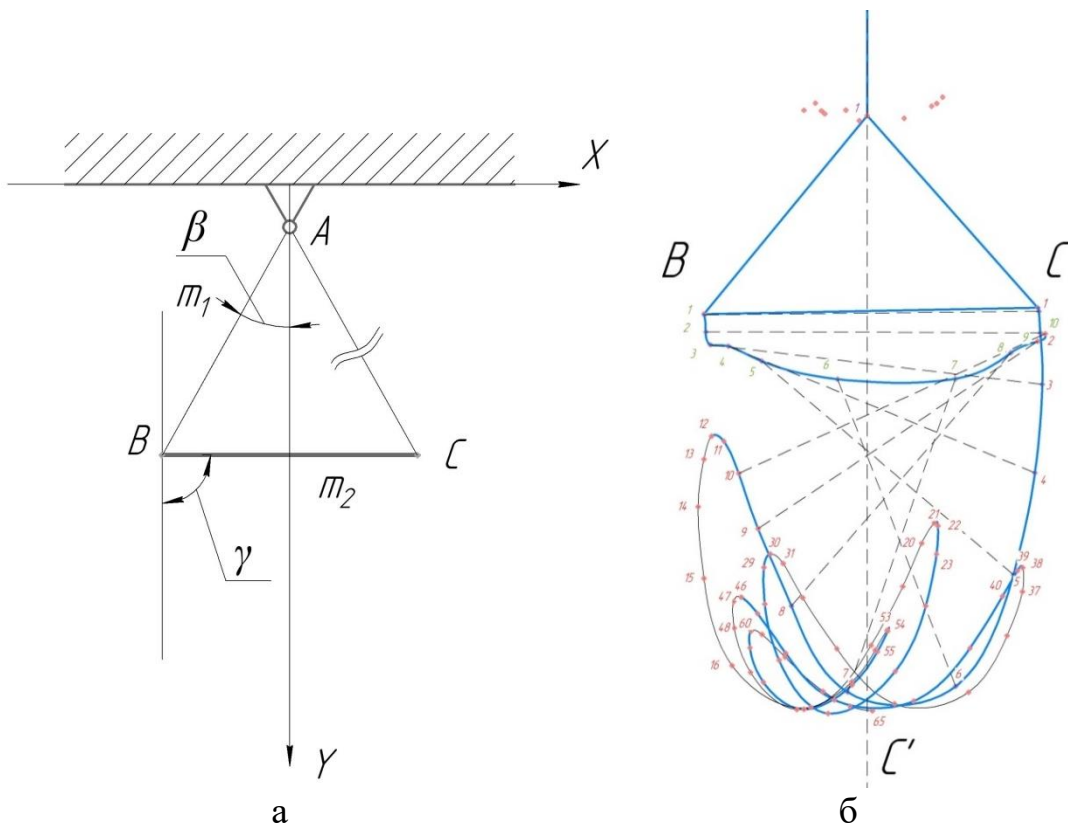


Рис. 1. Модель обриву стропа (а), та траєкторія руху вантажу (б)

Математична модель руху вантажу при обриві одного із стропів:

$$\begin{cases} \ddot{\beta}(1 + \frac{m_2}{m_1}) - \frac{g - m_2 g}{l_1} \sin(\beta) + \frac{m_2 l_2}{m_1 l_1} (-\ddot{\gamma} \cos(\beta + \gamma) + \dot{\gamma}^2 \sin(\beta + \gamma)) = 0; \\ \ddot{\gamma} - \frac{g}{l_2} \sin(\gamma) - \frac{l_2}{l_1} (\ddot{\beta} \cos(\beta + \gamma) - \dot{\beta}^2 \sin(\beta + \gamma)) = 0; \end{cases}$$

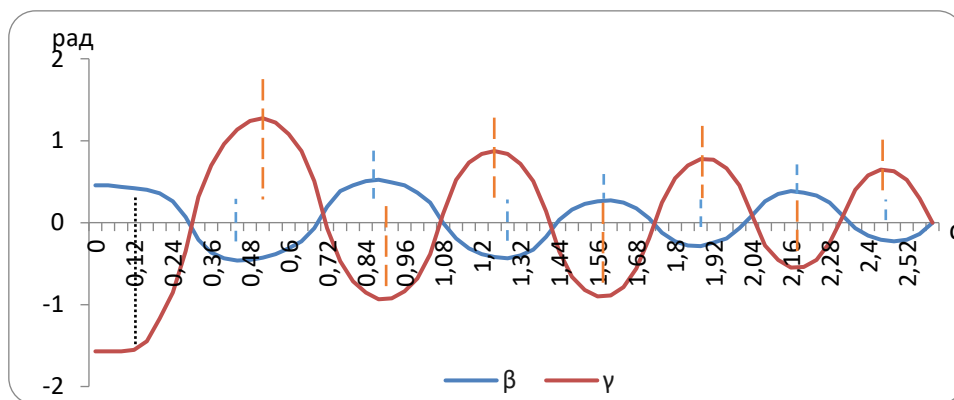


Рис. 2. Кути відхилення маятників

Отримані результати дослідження окремого випадку загасаючого колювання подвійного маятника (рис. 2) дають змогу проаналізувати поведінку вантажу при обриві стропа, та впровадженню підвищених критерій до перевірки обладнання.

## НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ГОЛОВНОГО ПІДЙОМУ ДЛЯ КРАНІВ ВЕЛИКОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ

**Дорохов М.Ю., Сушко О.М.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

До особливостей спеціальних кранів, що відрізняють їх від кранів загального призначення, можна віднести наступні: більша кількість механізмів, а отже, можливість виконання значного числа робочих рухів, яке складає в основному від чотирьох до семи; безпосереднє включення в технологічний цикл виробництва і використання не лише для підйомно-транспортних робіт, але і технологічних операцій; обмежене застосування залежно від виду переміщуваного вантажу і технологічного процесу; оснащення спеціальними вантажозахватними пристроями, лебідками і іншими механізмами.

Включення металургійних кранів в цикл виробництва, їх тісна взаємодія з технологічними агрегатами, вимагають високих показників надійності і продуктивності, тому кран повинен мати підвищену стійкість до статичних, динамічних, ударних і технологічних навантажень.

Аварія крана може не тільки на деякий час зупинити його роботу, а й пошкодити навколишнє обладнання. Однією з найбільш потенційно небезпечних аварій є обрив каната. але для введення крана в експлуатацію після обриву каната мало лише його заміни. Під час роботи з великим тоннажем при обриві каната виникають великі динамічні навантаження, що призводять до додаткових навантажень металевих конструкцій, їх суттєвого пошкодження та скорочення циклічної довговічності.

В результаті аналізу існуючих конструкцій кріплень канатів до траверсі виявлені недоліки їх конструкцій, через які і виникали динамічні навантаження. Також при обриві каната може відбуватися розбризкування рідкого металу.

Таким чином, для підвищення надійності крану обґрунтування параметрів та проектування пристроїв, що запобігають падіння вантажу при обриві каната, є актуальним та важливим науково-технічним завданням.

На ливарних кранах для забезпечення безпеки при транспортуванні рідких металів застосовують лінійні траверси з двома точками підвісу. Даний вид траверс використовують для забезпечення більшої стійкості вантажу.

Для підвищення надійності мастового крана проведена розробка нової конструкції поліспасти, і схеми запасування каната. При цьому як прототип використана конструкція [див. Дорохов М.Ю., Швачунов О.С. Зрівноважувальний гальмівний барабан Патент України UA B66D 3/04 № u201300969 від 28.01.2013 р.].

При застосуванні даної конструкції знижується ймовірність падіння вантажу при обриві однієї гілки канату.

Прийнято рішення замінити балансир на зрівняльний барабан, але таким чином, щоб забезпечити утримання канату з метою недопущення порушення

поліспасти (рис. 1). При використанні зрівняльного барабана, в разі падіння траверси при обриві каната жорсткий удар замінюється на більш плавне гальмування вантажу за рахунок прослизання каната по барабану, що зменшує динамічні навантаження на металоконструкцію і знижує ймовірність розбризкування рідкого металу.

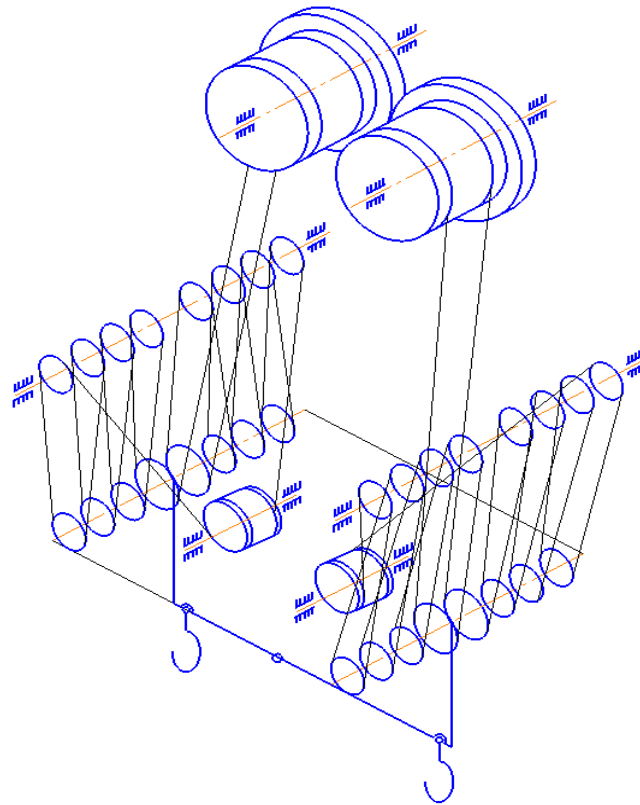


Рис. 1. Схема запропонованого поліспасти

Така конструкція забезпечує запобігання падінню вантажу при обриві каната ливарного крана і підвищує рівень безпеки при виконанні основних технологічних операцій. Основною конструктивною і експлуатаційною перевагою пристрою є можливість його установки в існуючу конструкцію поліспасти механізму головного підйому замість штатного балансира, що дозволяє значно знизити втрати часу на монтаж пристрою. Пристрій складається з зрівняльного барабана, вісь якого зафіксована в опорах, і притискного ролика. Барабан виконаний без нарізки і розрахований на десять витків каната, така кількість витків забезпечує потрібну силу тертя ковзання, достатню для запобігання розмотування каната в парі з притискним роликом в разі обриву однієї з гілок каната. Притискний ролик використовується для гарантованої фіксації каната і зменшення габаритів барабана.

Зрівняльний барабан дозволить істотно скоротити амплітуду горизонтального відхилення кінцевого положення вантажу в порівнянні з балансиром. Попередні прорахунки дають підставу говорити про можливість зменшення амплітуди розгойдування в 2-3 рази.

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА ОПОРНИЙ КОНТУР БАШТОВОГО КРАНА

Дорохов М.Ю., Єрмакова С.О., Котов В.А.  
(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Баштові крани є найбільш застосованими серед будівельних кранів, які вирішують питання механізації вантажно-розвантажувальних робіт на будівництві. Але їх аварії складають 40% від загальної кількості аварій стрілових вантажопідйомних кранів. Падіння баштових кранів відбувається навіть при дотриманні всіх правил експлуатації і вимог безпеки. Розвиток і подальше удосконалення баштових кранів в наш час неможливе без дослідження навантажень, та їх впливу на стійкість за різними умовами роботи.

Стійкість крана проти перекидання залежить від достатньо великої кількості суттєвих факторів, таких як вітрове навантаження, маса підйомального вантажу, динамічні навантаження, маса консольно розташованих частин (стріла, противага і стрілове обладнання) й інші. Всі перелічені фактори найбільш значущі під час роботи крана, тобто при виконання операцій підйому вантажу, повороту башти крана, зміни вильоту, або суміщення робочих операцій. Динамічні навантаження, які виникають при цьому, можуть привести до різкої зміни навантажень на металоконструкцію крана, опори і рейкові шляхи. Вплив зазначених факторів на стійкість можна визначити шляхом обчислення зміни реакції в опорах, але така робота є достатньо затратною за часом. Проведення експериментальних досліджень надає значно точніші результати, а також дозволяє отримати не статичну інформацію, а дані реального навантаження робочого стану.

Проведення експериментальних досліджень на діючому крані пов'язано з питаннями безпеки, тому для вирішення поставленої задачі була створена фізична модель із використанням 8 контрольних датчиків, розташованих в зонах контакту коліс із рейкою.

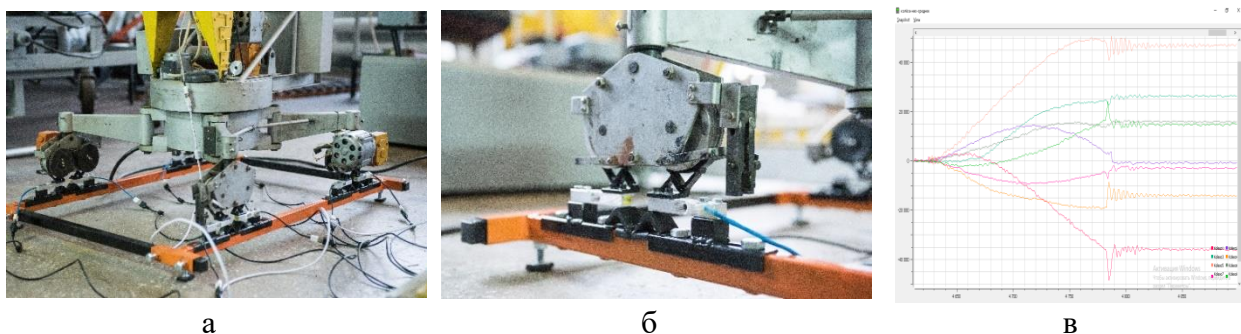


Рис. 1. Встановлення датчиків (а, б) та результати експерименту (в)

Таким чином, завдяки оригінальному програмному забезпеченню отримана можливість проводити дослідження навантажень в точках контакту кранових коліс із рейкою, що дозволяє отримати високоточні результати для аналізу стійкості баштового крану у реальному часі.



## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ РОЗПОДІЛУ ЦИЛІНДРОВИХ ПОТУЖНОСТЕЙ

<sup>1</sup>Єнікєєв О.Ф., <sup>1</sup>Захаренков Д.Ю., <sup>2</sup>Беркутов., <sup>2</sup>Євсюкова Д.С., <sup>2</sup>Набока О.В.  
(<sup>1</sup>ПВНЗ «Європейський університет», м. Київ, Україна, <sup>2</sup>НТУ «ХПІ», м. Харків,  
Україна)

**Вступ.** Відомий метод моніторингу розподілу циліндрових потужностей використовує у якості вхідної інформації тиск циліндрів. Для вимірювань використано первинний перетворювач 8QP505CS фірми AVL, аналого-цифровий перетворювач E14-140 фірми L-Card та програмне забезпечення «Power Graph». Як наслідок дій програмно-апаратних засобів отримуємо декілька індикаторних діаграм, подальше порівняння яких дозволяє встановити наявність та відсутність ідентичності циліндрових потужностей. За умови її відсутності на етапі доводки двигуна виконується корегування фаз подачі палива у циліндри. Пропонується ідея моніторингу розподілу циліндрових потужностей на основі опрацювання даних непрямих вимірювань. У якості вхідної інформації використано сигнал нерівномірності обертання колінчастого валу. Побудова програмно-апаратних засобів із заданою невизначеністю та продуктивністю оброблення вхідного сигналу визначає актуальність цієї науково-прикладної задачі.

**Постановка завдання.** Незадовільні метрологічні характеристики відомих програмно-апаратних засобів, відсутність алгоритмічного та прикладного програмного забезпечення опрацювання вхідної інформації. Зменшення невизначеності та збільшення продуктивності процесу моніторингу розподілу циліндрових потужностей.

**Основні результати.** Використання сучасних форсунок, які мають засоби електрогідравлічного або п'єзоелектричного керування процесами подачі паливо-повітряної суміші, дозволяє розробити концептуальні засади програмних рухів апаратних засобів щодо досягнення ідентичності циліндрових потужностей силових агрегатів [1]. Використано методи теорії вимірювань, ймовірностей і математичної статистики при опрацюванні дослідних даних у вигляді ряду вимірювань із багаторазовими спостереженнями.

Побудовано детерміновану математичну модель крутної схеми силового агрегату у вигляді лінійної механічної системи, яка має чотири ступені свободи за умов врахування тертя. Рухи мас моделі описано системою диференціальних рівнянь другого порядку. На основі методів теорії подібності рівняння рухів мас моделі нормалізовано [2]. Використано перетворення Лапласу за нульових початкових умов для її розв'язання. На основі методів теорії сигнальних графів отримано передавальні функції, які пов'язують зображення за Лапласом крутних моментів циліндрів та коливання маси біля якої встановлено первинний перетворювач. Використано програмне середовище Matlab для досліджень частотних характеристик каналів передач «циліндр-колінчастий вал». Крутні моменти циліндрів подано обмеженим рядом Фур'є із урахуванням їхнього запізнення.

Зміни у налаштуванні подачі палива до окремих циліндрів подано у вигляді вагових коефіцієнтів. Алгоритмічне забезпечення моніторингу ідентичності циліндрових потужностей побудовано на розрахунку взаємної кореляційної функції між крутним моментом першого циліндру та сигналом вимірювальної інформації. Обсяг розрахунків за виразами залежить від обраної кількості інтервалів дискретизації сигналу нерівномірності обертання колінчастого валу протягом одного оберту

$$R_{M,\varphi}(0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_1(t_i) \varphi_1(t_i);$$

$$R_{M,\varphi}(1) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} M_1(t_{i+1}) \varphi_1(t_i);$$

$$\vdots$$

$$R_{M,\varphi}(N-1) = M_1(t_{N-1}) \varphi_1(t_1).$$

Встановлено, що основною проблемою вимірювань сигналу миттєвої швидкості обертання є наявність кінематичної похибки виготовлення первинних перетворювачів. Організація багатоканальних вимірювань інтервалів часу, які формуються одною рисою первинного перетворювача та відповідають повному оберту колінчастого вала, суттєво зменшить її величину. Розроблено апаратні засоби для вимірювань сигналу флуктуацій.

При запропонованому методі вимірювань сигналу миттєвої швидкості кінематична невизначеність не впливає на тривалість сформованих інтервалів часу. Визначено динамічну невизначеність зрушень за часом дискретних відліків сигналу флуктуацій. Порівняння результатів розрахунків дозволили встановити ефективність методу апаратної компенсації кінематичної невизначеності первинного перетворювача [3]. Розроблено апаратні засоби та відповідне програмне забезпечення.

**Висновок.** У якості детермінованої математичної моделі силового агрегату використано механічну систему із чотирма ступенями свободи. Отримано передавальні функції за допомогою теорії сигнальних графів та на основі частотного подання вимірювального сигналу розроблено інформаційну технологію моніторингу розподілу циліндрових потужностей. Алгоритмічне забезпечення моніторингу ідентичності циліндрових потужностей побудовано на розрахунку взаємної кореляційної функції.

**Література:** 1. Yenikieiev O., Shcherbak L. Information technology for protecting diesel-electric station reliable operation. *Technical Electrodynamics*. 2019(4), с. 85-91. <https://doi.org/10.15407/techned2019.04.085>. 2. Yenikieiev O., Zakharenkov D., Korotenko Ye., Razzhyvin O., Yakovenko I., Yevsyukova F., Naboka O. A Computer System for Reliable Operation of a Diesel Generator on the Basis of Indirect Measurement Data Processing. *International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) 2022, Lecture Notes in Networks and Systems*. Pp 30–44. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-15944-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-15944-2_4). 3. Yenikieiev O., Zakharenkov D., Gasanov M., Yevsyukova F., Naboka O., Borysenko A., Pavlova N. Comparison of Metrological Characteristics of Measuring Transducer of Parameters Frequency-Modulated Signals. *International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) 2023, Lecture Notes in Networks and Systems*. vol 762. Springer, Cham, pp 586–603. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-40628-7\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-031-40628-7_47).

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МЕТАЛЕВУ КОНСТРУКЦІЮ МОСТОВИХ КРАНІВ

**Єрмакова С.О., Костенко М.К.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Крани мостового типу широко застосовуються для підйому та переміщення вантажів. Саме вони є основою комплексної механізації й автоматизації виробництв.

Як показує досвід експлуатації та обслуговування мостових кранів [1], у процесі їх роботи під дією динамічних навантажень в мосту виникають тріщини, що призводять до його руйнування та унеможливленню подальшу експлуатацію цих машин. Зменшення динамічних навантажень можливо зниженням швидкості підйому й жорсткості канатів, або збільшенням жорсткості моста, однак це може негативно відбитися на характеристиках, габариті й масі крана.

Згідно [2, 3, 4] зниження динамічних навантажень на металоконструкцію кранового моста можливо або застосуванням спеціальних пристроїв, або керуванням пусковими характеристиками (початкові умови процесу). Найбільш доступним при такій постановці питання є використання в механізмі підйому вантажу пристроїв, що дозволяють управляти початковою швидкістю підйому без внесення змін у систему керування електродвигуном і зі збереженням швидкісних показників крана, наприклад, хвильових зубчастих передач. Роль такого пристрою може виконувати спіральна пружина, що буде виконувати функцію гнучкого колеса, яка відповідає пред'явленим вимогам до хвильового редуктора, що розробляється.

Таким чином, одним з найбільш актуальних напрямків подальших досліджень є пошук конструктивних рішень і методики розрахунку параметрів регульованого динамічного гасителя коливань у механізмі підйому вантажу.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз конструкцій мостових кранів та спеціальних приладів для зменшення динамічних навантажень і особливості їх роботи.

Таким чином, можна зробити висновок, що практично всі конструктивні схеми приладів мають надто суттєві недоліки, що утрудняють їх застосування в механізмах кранів. Більш того, високе передатне відношення (тобто мала швидкість підйому вантажу) позитивне тільки в початковій стадії несталого руху, а наявність гнучкого колеса істотно збільшує вартість редуктора.

Отже, зазначимо, що для ефективного зменшення динамічних навантажень необхідно розробити конструкцію приладу гасіння коливань, який виключить зазначені недоліки.

**Література:** 1. Емельянов, О.А. Мосты сварные крановые. Конструкция, нагружение, диагностика, обеспечение ресурса / О.А. Емельянов. – Краматорск: ДГМА, 2002. – 334 с. 2. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. - М.: Машиностроение, 1987. - 157 с. 3. Сурьянинов, Н.Г. Теоретические основы динамики машин: учеб. пос. / Н.Г. Сурьянинов, А.Ф. Дашенко, П.А. Белоус – Одесса: ОГПУ, 2000. – 305 с. 4. Ловейкин, В.С. Динамическая оптимизация подъемных машин – Луганск. Изд-во СНУ, 2002. – 368 с.

# ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ МЕТАЛОТЕРМІЧНОЇ ШИХТИ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЕКЗОТЕРМІЧНИХ ЛИВАРНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ ПРОКАТНИХ ВАЛІВ

**Жигуц Ю.Ю., Тотар М.В.**

(ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, Україна)

**Вступ.** Основним технологічним параметром термітних додатків є маса металотермічної шихти в утеплювачі для підживлення [1]. Оскільки термітні додатки використовують замість звичайних, то їх розрахунок базується на даних про масу звичайних додатків. Однак, ця методика не дозволяє врахувати специфіку технології литва прокатних валків, яка полягає в тому, що їх додаток формується в декілька технологічних прийомів.

**Мета роботи** полягала у встановленні методики розрахунку металотермічної шихти для застосування її в технології екзотермічних ливарних додатків високого температурного градієнту для прокатних валів.

**Теоретичні і експериментальні дослідження.** Проведені теоретичні розрахунки і експериментальні роботи надали змогу встановити просту і надійну формулу для практичного використання за допомогою якої маса шихти визначається за формулою:

$$m_{ш} = 0,04k' \cdot m_{эф} \quad (1)$$

де  $m$  – маса металотермічної шихти,  $m_{эф}$  – ефективна маса сплаву, що замінюється металотермічною шихтою,  $k$  – коефіцієнт, залежний від умов закладки шихти.

Значення коефіцієнта  $k$  для закладки шихти одною порцією – 0,04, двома – 0,36, трьома – 0,034, чотирма – 0,032.

Потрібно врахувати, що за цією методикою вдається на 70-75% зменшити масу ливарного додатку прокатного валка. Співвідношення (1) використано для розрахунку кількості металотермічної шихти, необхідної для зменшення маси додатку валка на 75%.

**Висновки.** Застосування термітного сплаву у зоні ливарного додатку дає змогу дорозкислити сплав, роздрібнити його структуру, підвищити на ~10–20% ударну в'язкість шийки валу. При цьому пористість і усадкові дефекти вдається повністю усунути. Впровадження технології термітних ливарних додатків дає змогу отримати значну економію рідкого сплаву та, відповідно, досягнути економічного ефекту. Використовувати цю технологію можна і при виготовленні середніх та крупних валків із спеціальних чавунів.

**Література:** 1. Жигуц Ю.Ю., Лазар В.Ф. Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами (монографія). - Ужгород: Видавництво «Інватор», 2014. – 388 с. 2. Zhiguts Yu., Kozar O. New technologies synthesis of special cast irons for high temperatures (колективна монографія) Actual problems of modern science. Monograph: edited by Matiukh S., Skyba M., Musial J., Polishchuk O. – 2021. – P. 708-714.

# СПЕЦИФІКА СИНТЕЗУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ СТАНДАРТНИХ ФОРМ ХАРАКТЕРИСТИЧНИХ ПОЛІНОМІВ

**Задорожній М. О., Трофименко Д. Д.**  
(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Складність, висока швидкодія, точність регулювання, наявність різноманітних естиматорів та спостерігачів, а також значних нелінійностей – все це відноситься до характеристик сучасних електромеханічних систем (ЕМС), які вимагають відповідних методів синтезу параметрів систем автоматичного керування (САК).

Забезпечення необхідних динамічних показників якості проекрованої системи є складним інженерним завданням, оскільки збільшення швидкодії системи призводить до підвищення коливального характеру перехідних процесів (ПП), що в свою чергу веде до використання більш дорогої елементної бази та дозволяє протікати в САК сигналам з великими значеннями амплітуд. Використання згладжуючих фільтрів, що усувають сплески сигналів, призводить до зменшення швидкодії і, відповідно, зменшує швидкодію, ускладнює системи, тому потрібен пошук раціонального співвідношення між швидкодією і коливальним характером процесів, які задовольняють вимогам технічного завдання.

Метою роботи є аналіз специфіки синтезу параметрів ЕМС методом стандартних форм характеристичних поліномів. Зважаючи на велику кількість різних методів синтезу САК необхідно зазначити, що поміж інших методів стандартних форм характеристичних поліномів (ХП) залишається найпопулярнішим майже з 1970 року, адже він не потребує ні складних розрахунків, ні графічних побудовань, а з вдосконаленням елементної бази став класичним (поява ЕОМ забезпечила розширення можливостей засобів синтезу та аналізу, впровадження мікроконтролерів – вдосконалення засобів реалізації регуляторів). На початковому етапі за основу взято диференціальне рівняння замкненої САК, при цьому ПП однозначно визначається коренями ХП замкненої системи, а корені визначаються коефіцієнтами ХП, при цьому необхідні параметри регуляторів знаходяться шляхом прирівнювання коефіцієнтів при відповідних степенях операторів Лапласа наявної та еталонної передаточної функції (ПФ), для якої існують різні набори стандартних коефіцієнтів, що забезпечують оптимум за швидкодією, перерегулюванням, коливальністю.

Метод стандартних поліномів з бажаною формою ПП, яка регламентується розподілом коренів ХП (нулів та полюсів ПФ системи) – Ньютона, Батерворта, Бесселя, Грехема-Летропа, Соколова, Чебишева, Еллерта [1-6] передбачає визначення такого ХП, який би забезпечував в системі оптимальні (в розумінні дослідника) ПП. При цьому положення на комплексній площині, як нулів, так і полюсів ПФ ЕМС визначаються конкретними параметрами системи – значення коефіцієнтів підсилення, коефіцієнти зворотних зв'язків, параметри регуляторів та об'єкта регулювання, що актуально як для САК електроприводів постійного

струму так і змінного струму.

Розглянутий метод синтезу САК передбачає застосування стандартних форм розподілу коренів характеристичного рівняння, основними з яких є наступні:

- розподіл коренів по Бесселю, що відрізняється лінійністю фазочастотної характеристики та забезпечує сталість часу запізнювання і мінімального спотворення сигналу, що проходить через систему;
- розподіл коренів по біному Ньютона, що забезпечує монотонність тимчасових характеристик для систем будь-якого порядку;
- розподіл коренів по Баттерворту, що характеризується мінімальною зміною амплітудної частотної характеристики в смузі пропускання і прийнятним загасанням в смузі затримання;
- розподіл коренів по Баттерворту-Томпсону, що прагне до характеристик, які є «середніми» між розподілами Бесселя і Баттерворта.

В низці досліджень розглянуто основні стандартні розподіли коренів ХП ПФ, запропоновано та проведено різні способи нормалізації цих поліномів для порівняння їх впливу на динамічні показники системи, проте зауважено, що у разі налаштування на біноміальну форму реакція системи на вхідний сигнал є доволі повільною, хоча перевагою є відсутність перерегулювання. Деякі дослідники пропонують методику синтезу систем підлеглого регулювання (СПР) методом стандартних поліномів та порівнюють вплив деяких з них на динамічні характеристики системи. Щодо питань аналізу стандартних поліноміальних функцій для випадку СПР науковці проводять структурування характеристичних поліномів, що дає можливість знизити порядок САК. Популярним є проведення дослідження впливу вибору параметрів характеристичних поліномів ПФ на характеристики динаміки системи підпорядкованого керування. Також часто реалізують синтез ЕМС методом параметричної оптимізації, згідно з яким обчислюється значення вагових коефіцієнтів для двох стандартних лінійних форм (Баттерворта та біноміальної) для порядків від першого до четвертого включно, проте його основною проблемою є вибір вагових коефіцієнтів відповідного інтегрального критерію.

Узагальнення досліджень доводить, що в більшості з них здійснюється визначення такого ХП, який би забезпечував оптимальні за деякий критерієм ПП в системі, однак при виборі якогось конкретного полінома синтезоване на його основі керування діятиме впродовж усього часу роботи системи, для усунення чого пропонується формувати ХП на основі компромісних поєднань стандартних (Баттерворта та біноміальної) лінійних форм нижчих порядків, що дозволить покращити характер ПП. Разом з тим, швидкодію системи можна підвищити шляхом застосування керуючих впливів, синтезованих за допомогою різних стандартних ХП залежно від величини похибки регулювання вихідної координати системи. Аналіз систем з різними регуляторами показав, що необхідно розглядати характеристики розподілу другого, третього, четвертого і п'ятого порядків, при цьому може бути запропоновано в якості критерію налаштування динаміки приймати вимоги стандарту для ЕП верстатів та робототехнічних систем до смуги пропускання, а не час регулювання, що, як

критерій, має невизначеність з точки зору помилки регулювання. Результати досліджень значної кількості досліджень можуть бути сформульовані для синтезу систем позиціонування у вигляді наступних рекомендацій:

– максимальні результати з монотонності та швидкодії при порядках систем від другого до п'ятого показує розподіл Бесселя;

– у разі жорстких вимог до відсутності перерегулювання рекомендується обирати розподіл по біному Ньютона, який незначно програє розподілу Бесселя тільки у швидкодії;

– характеристики запізнювання, максимальні результати з ширини зони сталості в смузі пропускання і мінімальне відносне відхилення має розподіл Бесселя;

– налаштування динаміки систем на розподіл коренів по Бесселю не тільки дає переваги перед іншими розподілами за швидкістю та монотонністю, але й забезпечує мінімальні спотворення при реалізації сигналів керування переміщенням виконавчого органу системи.

Для стандартних поліномів характерне прагнення забезпечити граничні показники регулювання: максимум швидкодії, мінімум перерегулювання, мінімум коливання. Деякі з цих поліномів розроблялися для радіотехнічних та електротехнічних пристроїв. Реалізація електромеханічних систем автоматичного регулювання на основі стандартних поліномів при стрибкоподібних змінах факторів збурення може в одних випадках призводити або до неприпустимих, або до недосяжних значень струмів, моментів, напруг пристроїв, що входять до ЕП, в інших – до виходу робочої точки на ділянці обмеження чи насичення, у яких налаштування параметрів зворотних зв'язків і регуляторів не забезпечує розрахункових показників. Тому у багатьох випадках доцільно підібрати бажаний поліном з урахуванням конкретного технологічного процесу.

У підсумку можна зазначити, що для розв'язання загальних задач керування ЕП технологічних машин класичні методи синтезу, що засновані на використанні стандартних форм ХП, є досить популярними в інженерній практиці, хоча потрібно акцентувати увагу на тому, що посилення вимог до існуючих систем керування вимагає пошуку нових підходів до формування бажаного ХП, який забезпечує відповідні динамічні характеристики системи.

**Література:** 1. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния: Монография/ Л. В. Акимов, В. И. Колотило, В. С. Марков ; под редакцией В. Б. Клепикова, Л. В. Акимова – Харьков : ХГПУ, 2000 – 93 с. 2. Егоров В. Н., Шестаков В.М. Динамика систем электропривода. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 216 с. 3. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с. 4. Терехов В.М., Осипов А.И. Системы управления электроприводов. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 304 с. 5. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектирование систем автоматического управления электроприводами. – Минск: Выш. шк., 1986. – 143 с. 6. Михайлов О.П. Динамика электромеханического привода металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с. 7. Оптимізація та взаємозв'язок параметрів двомасових електромеханічних систем: монографія / І. М. Задорожня, М. О. Задорожній. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 216 с.

## СПЕЦИФІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ВАЖКИХ МАШИН ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ КЕРУВАННЯ

**Задорожня І. М., Чередниченко І. І.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Динамічні процеси супроводжуються зміною в часі величин, які характеризують стан електроприводу (ЕП), а саме, швидкість, рушійний момент, пружні моменти в кінематичних ланках та інші.

Динамічний режим роботи ЕП визначається не тільки його параметрами і характером зміни керуючого впливу, але і параметрами робочого органу і навантаження. ЕП, і складається з силового, перетворювального, електро-двигунного, керуючого пристроїв і передавального механізму, але не включає в себе робочий орган (виконавчий механізм) і навантаження, при цьому параметри і характеристики останніх можуть істотно впливати на динамічний процес, тому більш доречно говорити про динаміку всієї електромеханічної системи (ЕМС), в яку входять як ЕП, так і робочий орган з навантаженням [1].

Мета роботи полягає в аналізі впливу режимів роботи ЕП на енергоефективність керування важкими машинами. Для багатьох ЕП машин і механізмів, в тому числі і металургійних, навантаженням є тертя. Зазвичай при вивченні динаміки ЕП момент опору навантаження приймається незмінним, що, зокрема, відповідає характеристиці сухого тертя в межах руху в одному напрямку, проте характеристики тертя, в залежності від умов ковзання, можуть бути різні, в тому числі нелінійними, і служити першопричиною виникнення так званих фрикційних коливань, можуть носити автоколивальний характер. Фрикційні автоколивання можуть мати різні форми, але загальним для них є зазвичай негативний вплив на техніко-економічні показники технологічного процесу: погіршення точності позиціонування, чистоти обробки матеріалу, умов праці, зниження продуктивності, збільшення втрат, підвищення динамічних навантажень і навіть поломки кінематичних ланок [2].

Сутність явища фрикційних автоколивань полягає у виникненні незагасаючих коливань при прослизанні поверхонь пари тертя. Відомо, що фрикційні автоколивання викликають негативний ефект: зниження точності обробки і позиціонування, сприяють появі хвилястості оброблюваної поверхні і збільшення зносу, збільшення втрат енергії, поява дискомфорного звуку, вібрації. Особливо небезпечним є збільшення пружних моментів в кінематичних ланках машин, що може призводити до їх поломки і аварій.

Виникаючі в ЕП машин і механізмів з нелінійним тертям фрикційні автоколивання іноді бувають корисні для технологічного процесу, однак, як правило, явище проковзування і фрикційні автоколивання породжують негативні ефекти, а саме, погіршення якості технологічного процесу, зниження продуктивності, точності, надійності, якості обробки поверхні і т.п.

Режими ковзання бувають нормальні та аномальні. Під нормальним передбачається режим ковзання, необхідний для виконання даного технологічного процесу, а під аномальним – режим з небажаною для даного



технологічного процесу з надлишковою швидкістю ковзання (під час волочіння, шліфуванні, токарної обробки, проштовхуванні злитків в нагрівальній печі).

Режим ковзання є нормальним, якщо забезпечує виконання технологічного процесу. Буксування і юз коліс електровозів, механізмів пересування кранів, пробуксовки металу в валках прокатних станів, злитків на рольгангах – є проявами аномального характеру режиму прослизання, при якому знижується продуктивність машини і безпека руху, виникають додаткові втрати енергії, підвищуються динамічні навантаження в кінематичних ланках і конструкціях, погіршуються показники технологічного процесу. Режим прослизання визначає принцип організації управління системою ЕП. Якщо режим прослизання нормальний, то усунення автоколивальних можна розглядати як головну мету синтезу ЕМС. При аномальному характері режиму придушення фрикційних автоколивальних супроводжується рішенням основного завдання – усунення надмірного ковзання, яке має місце при буксуванні і юзі.

Вибір способу усунення залежить також від виду ЕП. Для розімкнених ЕМС завдання слід вирішувати на стадії конструювання або експлуатації, а також шляхом правильного вибору параметрів технологічного процесу. Наприклад, придушення фрикційних автоколивальних можна досягти збільшенням електромеханічної сталої ЕМС, наприклад, за рахунок зниження жорсткості механічної характеристики ланцюга «Перетворювач-двигун», збільшення моменту інерції ЕП за рахунок передавального числа редуктора і вибору відповідного електродвигуна, зниження електромагнітної інерційності силового ланцюга «перетворювач-двигун», за рахунок усунення з нього дроселів, реакторів.

Наявність пружних елементів, зазорів та люфтів в механічній частині ЕП металургійних машин і механізмів також призводить до деформації елементів ЕМС у наслідок збуджувальних коливань, що у свою чергу сприяє перевищенню динамічних навантажень номінальних значень, на які розрахована система в статичному стані. Пружні механічні ланки приводів машин, як накопичувачі енергії, при прийомі і скиданні навантаження робочим органом, збуджують коливання його координат з відхиленням процесів від запропонованих технологією і зростанням динамічних навантажень на передачі і електродвигун. Внаслідок наявності в реальних виробничих установках зазорів у передачах та зчленуваннях робочого обладнання динамічні навантаження мають тенденцію до зростання, що взагалі може мати загрозливий характер для функціонування ЕП в цілому.

Механічна частина піддається впливу зовнішніх та внутрішніх збурень. Зовнішні збурення пов'язані із зміною зовнішніх моментів, які впливають механічну систему – це зміна моменту двигуна та моментів опорів, що діють у механічній системі. Внутрішні ж збурення пов'язані з зміною внутрішніх параметрів механічної частини під час її руху і їх називають параметричними, оскільки вони переважно пов'язані з мінливістю передавального числа і радіусу приведення передавальних механізмів».

Зокрема навантаження механічного обладнання визначають його зношування; причому найбільш несприятливий вплив мають навантаження, що

містять знакозмінну складову. Тому обмеження максимальних навантажень та зменшення динамічних коливальних навантажень, зумовлених пружними зв'язками, забезпечує підвищення надійності та довговічності технологічних машин.

Таким чином, обмеження максимальних навантажень і зменшення динамічних коливальних навантажень, зумовлених пружними зв'язками, забезпечують підвищення надійності і довговічності механічної частини приводу і механізму. Хоча, динамічні коливальні процеси в середньому не впливають на тривалість перехідних процесів пуску, реверсу і гальмування ЕП, проте вони у багатьох випадках негативно позначаються на умовах виконання технологічних операцій, особливо на точності роботи металургійної машини.

Удосконалення ЕП останніми роками призвело до створення нових високопродуктивних машин, які працюють із частими пусками, реверсами в умовах значної навантаженості приводів. Для підвищення швидкодії таких механізмів прагнуть максимально знизити тривалість перехідних процесів. З цією метою збільшують перевантажувальну здатність електродвигунів, забезпечуючи високі пускові та гальмівні динамічні моменти. Однак, як свідчить аналіз, перевантажувальна здатність приводу значної частини виробничих машин (ножиць заготівельних станів, натискних пристроїв, маніпуляторів, механізму перекидання конвертера та інших) невиправдана необхідною потужністю, не викликаючи при цьому суттєвого збільшення швидкодії. Збереження практики вибору двигуна, прагнення до підвищення його перевантажувальної здатності, випередження темпів зростання потужності при незначному збільшенні швидкодії не можуть забезпечити ефективного виконання збільшених вимог виробництва.

Підсумком аналітичного огляду є розуміння того, що організація технологічних процесів за мінімумом питомої витрати електроенергії викликає з одного боку необхідність застосування більш економічних режимів пуску та гальмування, а з іншого – мінімізацію впливу пружних механічних коливань, оскільки реальний автоматизований ЕП завжди містить пружні механічні зв'язки між масами системи, що рухаються. Впливи керування та збурення викликають у механічній частині ЕП пружні механічні коливання, а коливання швидкості ротора двигуна залучають до єдиного електромеханічного коливального процесу всю систему, загалом викликаючи підвищення динамічних навантажень, зменшення точності роботи механізму, появу механічних вібрацій та небезпечних резонансних явищ. Пружні механічні зв'язки погіршують стійкість автоматизованого ЕП та ускладнюють отримання необхідної якості ПП у системі. Загалом все це вимагає проведення подальших досліджень структур та алгоритмів енергоефективного керування динамічних систем на основі принципу електромеханічної симетрії [3].

**Література:** 1. Ключев В.И. Теория электропривода. – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с. 2. Целиков А. И., Морозов Б. А. Исследование вибраций методических печей станов горячей прокатки // Сталь. – 1973. – № 10. – С. 947–949. 3. Оптимізація та взаємозв'язок параметрів двомасових електромеханічних систем: монографія / І. М. Задорожня, М. О. Задорожній. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 216 с.

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ЗА РАХУНОК КОРЕКЦІЇ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ

<sup>1</sup>Заковоротний О.Ю., <sup>2</sup>Анциферова О.О., <sup>2</sup>Шаповалов М.В., <sup>2</sup>Степанов Р.І.  
(<sup>1</sup>НТУ «ХПИ», м. Харків, Україна, <sup>2</sup>ДДМА, м.Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Розвиток і вдосконалення прогресивних прийомів металообробки в сучасному машинобудуванні нерозривно пов'язано з використанням автоматизованих верстатних комплексів, основою яких є верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Такі верстати забезпечують високу ступінь автоматизації, що є критично важливим для сучасного виробництва, адже дозволяє досягати високої точності, підвищувати продуктивність і знижувати людський фактор.

При токарній обробці, використання верстатів з ЧПК забезпечує ефективне управління процесом обробки металів. Це особливо важливо, оскільки токарні роботи часто вимагають високої точності та якості обробленої поверхні. Автоматизація таких процесів дозволяє зменшити час налаштування і підготовки до роботи, що в кінцевому підсумку знижує вартість станко-годин.

Вибір режимів різання є критичним фактором, що впливає на машинне (основне) час обробки. Правильно підібрані режими різання, такі як швидкість обертання шпинделя, швидкість подачі і глибина різання, дозволяють оптимізувати процес обробки, зменшити зношування інструментів і забезпечити високу якість кінцевого продукту. Це також має значний вплив на змінну величину собівартості обробки та рівень продуктивності процесу різання.

Зокрема, оптимізація режимів різання може призвести до суттєвого зниження витрат на обробку за рахунок підвищення швидкості обробки та зниження зношування інструментів. Це, в свою чергу, зменшує потребу в частій заміні інструментів і дозволяє зменшити простої верстатів.

Незважаючи на високий рівень технічного оснащення, питання призначення і оптимізації режимів різання для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) досі вирішуються поза робочим місцем. Кожне нове покоління металообробних верстатів і систем ЧПК відрізняється більш високим рівнем автоматизації, але поки що жодне з них не оснащено програмним забезпеченням та технічними засобами, які б дозволяли надійно вибирати оптимальні режими різання.

При високому ступені автоматизації у підготовці геометричної інформації в сучасних системах ЧПК, технологічна інформація, що стосується вибору режимів обробки, в більшості випадків готується вручну. Для цього використовуються методики розрахунку елементів режиму різання, розроблені для універсальних верстатів. Це означає, що оператори і технологи змушені вручну розраховувати оптимальні режими обробки, спираючись на досвід і стандартизовані методики, що може призводити до помилок та неефективностей.

Потреба у підвищенні продуктивності автоматизованого верстатного обладнання через скорочення машинного (основного) часу диктує необхідність виконання операцій розрахунку оптимальних режимів обробки безпосередньо системою ЧПК. Це дозволило б значно знизити витрати часу на налаштування і підвищити точність обробки.

Аналіз прийнятих методик призначення оптимальних режимів різання виявив значні похибки у визначенні складових сили різання і швидкості різання, які можуть досягати 50 - 200%. Такі похибки призводять до недотримання заданого часу стійкості інструменту і точності обробки. Це значно впливає на якість кінцевого продукту та ефективність виробничого процесу.

Запропоновано шляхи підвищення точності і достовірності математичних моделей процесу токарної обробки на основі скоригованих розрахункових залежностей, які використовують оперативну інформацію із зони різання. Це може включати інтеграцію датчиків і систем зворотного зв'язку, що дозволяють реєструвати реальні умови різання і оперативно коригувати режими роботи верстата. Таким чином, система ЧПК може автоматично адаптувати режими різання у режимі реального часу, забезпечуючи оптимальні умови для обробки.

Розглядаючи процес оптимізації обробки металів різанням, були виведені цільові функції і нерівності технологічних обмежень, що накладаються на процес точіння. У сукупності вони представляють собою математичну модель процесу різання на токарних верстатах, основою якої є достовірні, фізично обґрунтовані розрахункові залежності. Така модель враховує всі ключові аспекти процесу і дозволяє більш точно визначати оптимальні режими різання, зменшуючи похибки та підвищуючи ефективність обробки.

Однією з інноваційних розробок у цій сфері є методика корекції швидкості різання при зміні однієї зі складових природної термопари (інструменту або деталі). Зазвичай, при зміні інструменту або деталі потрібно проводити повторні пробні проходи на фіксованих режимах, щоб забезпечити необхідну точність і якість обробки. Це витратний і тривалий процес, який збільшує машинний час і витрати виробництва.

Запропонована методика дозволяє уникнути необхідності проведення повторних пробних проходів, оскільки корекція швидкості різання здійснюється безпосередньо в процесі точіння. Це досягається за рахунок постійного моніторингу і аналізу стану інструменту і деталі, що обробляється, з використанням даних з датчиків і систем зворотного зв'язку. Такі системи можуть оперативно реагувати на зміну умов різання і коригувати режими роботи верстата в реальному часі.

Таким чином, впровадження методики корекції швидкості різання при зміні складових природної термопари є важливим кроком у підвищенні ефективності та конкурентоспроможності сучасного машинобудування. Це дозволяє значно підвищити продуктивність процесу точіння, знизити витрати і забезпечити високу якість кінцевого продукту.

## БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР ВИХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ ШЛІЦЕВОГО ВАЛА

**Зубань Е.Ю.**

(НУ «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, Україна)

На виробництві однією з важливих задач є вибір найефективнішого та економічно-доцільного технологічного процесу у відповідності до виробничої програми. Використання методу багатокритеріального вибору вихідних заготовок дозволяє вибрати найдоцільніший метод для конкретного випадку, враховуючи найважливіші показники шляхом використання коефіцієнтів переважності. Такий підхід дозволяє приймати обґрунтовані рішення, враховуючи всі показники, забезпечуючи ефективність, стабільність та мінімізацію впливів негативних факторів в процесі виробництва.

Метою роботи є просування методики багатокритеріального вибору вихідної заготовки на прикладі вибору заготовки для шліцевого вала редуктора.

Для вибору заготовки проведено аналіз можливих технологічних процесів виготовлення вала та вибрані наступні способи отримання заготовок:

- штампування на молотах ( $X_1$ );
- кування на молотах ( $X_2$ );
- прокат круглого перерізу ( $X_3$ ).

Оцінка перелічених способів здійснюється за наступними показниками:

- коефіцієнт використання матеріалу ( $P_1$ );
- витрати на отримання заготовки в заготівельному виробництві ( $P_2$ );
- витрати на механічну обробку ( $P_3$ );
- точність розмірів або геометричної форми заготовки ( $P_4$ ).

Для одержання цих показників для кожного з методів спроектовано заготовки вала. Заготовка з прокату круглого перерізу вибрана за ГОСТ 2590-88, кованка отримувана, куванням на молотах спроектована за ГОСТ 7829-70, штампована заготовка спроектована за керівними рекомендаціями ГОСТ 7505-89.

Проектування дало змогу поррахувати всі необхідні показники для проведення багатокритеріального вибору, результати розрахунку яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахованих параметрів

Варіант	i	Коефіцієнт використання матеріалу ( $P_1$ )	Витрати на отримання заготовки ( $P_2$ )	Витрати на механічну обробку ( $P_3$ )	Точність діаметральних розмірів ( $P_4$ )
		j			
		1	2	3	4
Прокат ( $X_1$ )	1	0,78	454,03грн	1154,3грн	2

Кованка (X <sub>2</sub> )	2	0,656	295,4грн	599,25грн	4
Штамповка (X <sub>3</sub> )	3	0,498	165,4грн	347,65грн	1,32

Розраховано коефіцієнти вподобання та побудовано матриці суміжності з графами для кожного показника (рис. 1).

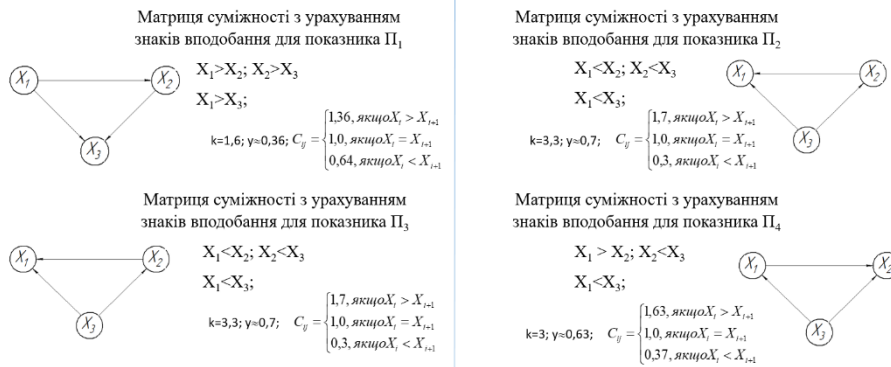


Рис. 1. Результати розрахунків коефіцієнтів вподобання

Побудовано матриці суміжності з урахуванням коефіцієнтів вподобання для кожного з показників, рис. 2.

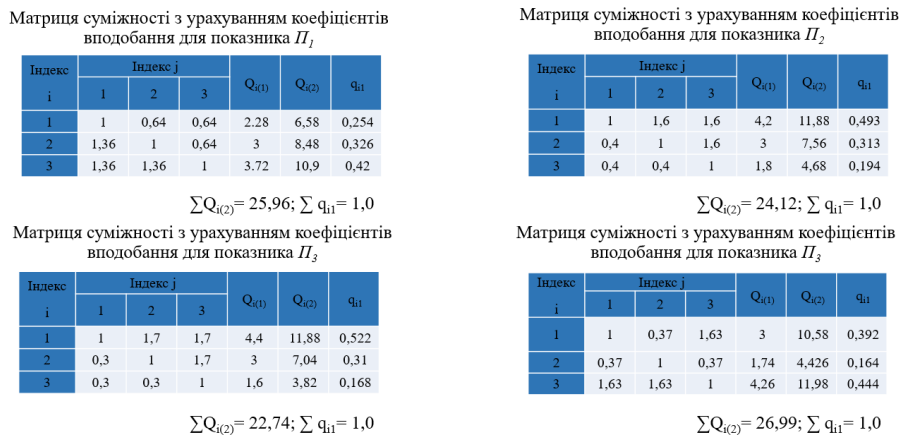


Рис. 2. Таблиці суміжності з урахуванням коефіцієнтів вподобання

При складанні системи порівнянь і матриці суміжності для параметрів, за якими проводять оцінку ефективності варіантів отримання заготовки, що зрівнюються, необхідно враховувати інтереси виробництва, наприклад:

**Варіант 1.** Якщо потрібно вибрати варіант отримання заготовки, найкращим по всім параметрам, то в такому випадку  $\Pi_1 = \Pi_2 = \Pi_3 = \Pi_4$ .

**Варіант 2.** Якщо потрібно визначити спосіб отримання заготовки, що дає максимальну економію матеріалів при умові врахування решти параметрів, то  $\Pi_1 > \Pi_2 = \Pi_3 = \Pi_4$ .

**Варіант 3.** Якщо потрібно визначити спосіб отримання заготовки, що забезпечує мінімальну трудомісткість механічної обробки з врахуванням решти параметрів, то  $\Pi_1 = \Pi_2 = \Pi_4 < \Pi_3$ .

Таблиця 2 – Матриця суміжності для варіанту 1

Індекс i	Індекс j				$\Sigma$	$\rho$	$\rho_j$
	1	2	3	4			
1	1,0	1,0	1,0	1,0	4	12	0,33
2	1,0	1,0	1,0	1,0	4	12	0,33
3	1,0	1,0	1,0	1,0	4	12	0,33

Результатом всіх розрахунків є значення комплексного критерію (К), за яким визначається найдоцільніший метод отримання заготовки відповідно до вибраного варіанту та який є сумою значень показників для кожного варіанту отримання заготовки ( $X_1, X_2, X_3$ ) результат розрахунку наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Розрахунок значення комплексного критерію

Варіант	Номер варіанта	Показник				К	«Місце», займане способом отримання заготовки
		$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	$\rho_4$		
	I	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$		
$X_1$	I	0,084	0,163	0,172	0,129	0,548	1
$X_2$	I	0,108	0,103	0,102	0,054	0,367	3
$X_3$	I	0,139	0,064	0,055	0,147	0,405	2

На основі виконаних розрахунків вибору встановлено, що найвигіднішим способом отримання заготовки за 1 варіантом для даного вала є заготовка з прокату. Перевагою використання багатокритеріального методу вибору є гнучкість, яка дозволяє адаптувати показники та їх вагу відповідно до вимог або пріоритетів виробництва.

#### Література:

1. Афонькин М.Г., Магницкая М.В. Производство заготовок в машиностроении.– Ленинград: Машиностроение, 1987. – 256с.

# ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕСУВАННЯ КОЗЛОВОГО КРАНУ ПРИ ДІЇ ВІТРОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

<sup>1</sup>Іваненко О.І., <sup>2</sup>Єрмакова С.О., <sup>2</sup>Таровик М.Г.

(<sup>1</sup>ХНАДУ, м. Харків, Україна; <sup>2</sup>ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Дослідження впливу вітрових навантажень на працездатність вантажопідійомних кранів, незважаючи на багаточисельні наукові розробки, залишається і сьогодні предметом обговорень.

Розв'язання проблеми зі скорочення простоїв вантажопідійомних кранів при дії інтенсивного вітру можливе за рахунок виявлення резервів кранів і їх використання при швидкості вітру більше 20 м/с. Це може бути досягнене розробкою науково-обґрунтованих методів підвищення ефективності використання і безпеки вантажопідійомних кранів, що розширюють діапазон швидкостей вітру для їх робочого стану.

Відсутність відомостей про фактичні швидкості руху кранів під дією вітрового навантаження різної інтенсивності з врахуванням технічного стану крану ускладнює розробку заходів, що сприяють подальшому розширенню діапазонів вітрового навантаження, за яких можлива експлуатація кранів.

Відомо, що навіть невеликий вітер робочого стану впливає на експлуатаційну надійність вантажопідійомних кранів, працюючих на відкритих майданчиках. При угоні вітром кран рухається з наростаючою швидкістю до зіткнення з сусідніми кранами або кінцевими упорами. До угону крану вітром можуть привести навіть окремі короткочасні пориви вітру в поєднанні з дією інерційних сил при гальмуванні.

Динаміка руху вантажопідійомного крану при дії інтенсивного вітру до останнього часу залишається невивченою, що пов'язано з певними труднощами формалізації випадкового характеру вітру, змінного в часі, в розмірі та напрямку.

Дослідження дії вітрових навантажень на інженерні споруди задача багатопланова потребує розгляду різноманітних аспектів наукової діяльності: математичного опису пересування повітряних мас; опису основних характеристик вітру та їх розподілу на території України; рішення прикладних задач дії вітру на різноманітні споруди тощо. Пошук рішень прикладних задач виконується, як правило, на межі різних наук: математики, прикладної метеорології та відповідних інженерних дисциплін. Багато вітчизняних та зарубіжних вчених займалися цими питаннями. Оpubліковано значну кількість робіт, в яких розглядаються окремі питання руху та гальмування вантажопідійомних кранів при дії вітрових навантажень під час експлуатації. Значний внесок в дослідження цієї проблеми внесли праці Гайдамаки В.Ф., Єрофеева М.І., Зубка М.Ф., Спіциної Д.М. та ін. З останніх робіт треба визначити публікації Подобєда В.О..

Мета експериментального дослідження полягає в оцінці точності та достовірності результатів теоретичних досліджень, що досягається проведенням



експерименту на фізичній моделі, що забезпечує необхідний діапазон зміни факторів впливу для кінцевого виводу точності та достовірності результатів роботи по вивченню динаміки переміщення козлового крану вітром. Для цього були проведені попередні теоретичні дослідження, де були визначені параметри пересування крану в залежності від швидкостей вітру, а саме: відстань пересування, час набору швидкості до максимального значення і прискорення крану.

Експериментальна установка, створена відповідно до критеріїв подібності і масштабів моделювання, призначена для проведення комплексних випробувань по дослідженню параметрів козлового крана під дією інтенсивного вітру.

При визначенні критеріїв подібності в якості досліджуваного параметру, обрана швидкість пересування крану при дії на нього вітру. У загальному випадку, ця швидкість залежить від наступних факторів: сили вітру; маси крану; опору переміщенню крану; прискорення руху; аеродинамічних факторів; довжини шляху угону крану; часу, за який кран набере максимальну швидкість.

Дослідження параметрів угону козлового крану під дією інтенсивного вітрового навантаження проводилося по загальноприйнятій методиці.

Програмою експериментальних досліджень передбачено визначення довжини шляху розгону крану, часу розгону, прискорення крану при різних швидкостях вітру.

Комутаційна схема визначення параметрів приведена на рисунку 1.

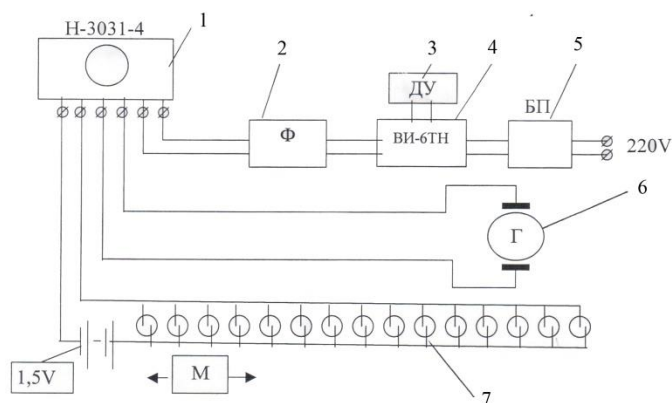


Рис. 1. Комутаційна схема визначення параметрів руху вантажопідійомних кранів під дією вітру: 1 – реєструюча апаратура; 2 – фільтр; 3 – датчик прискорень; 4 – вимірювальна апаратура; 5 – блок живлення; 6 – мікродвигун анемометра; 7 – герметичні контакти

Аналіз впливу основних факторів на похибку швидкості угону доречно виконати за допомогою поліноміальної моделі, складеної з перших членів розкладу в ряд Тейлора функції, яка може бути отримана за допомогою повного факторного експерименту, що є одним з найбільш розроблених і часто використаних методів оптимального планування експериментів, в задачі якого входить побудова локально-інтегральної моделі досліджуваного процесу.

Реалізація повного факторного експерименту (ПФЕ) втілювалася за стандартною методикою.

Позначимо  $x_i$  –  $i$ -й фактор в натуральному вигляді; (+1) і (-1) – відповідно, верхній та нижній рівні зміни  $i$ -го фактора;  $x_i^0$  – номінальне значення  $i$ -го фактора.

Для дослідження впливу швидкості вітру та взаємовпливу різних факторів на величину шляху і швидкості угону крана вітром скористаємося формулою визначення швидкості  $X$  угону крана вітром.

В таблиці 1 представлені умови планування та результати розрахунків.

Таблиця 1 – Умови планування експерименту

	Код	$X_1 = V_b,$ м/с	$X_2 = m,$ кг	$X_3 = \omega,$ м/с <sup>2</sup>	$X_4 = I,$ кг/м
$x_i^B$	+1	2	91	0,05	0,029
$x_i^H$	-1	1	75	0,003	0,027
$x_i^O$	0	1,5	83	0,0265	0,028
$\lambda_i$	-	0,5	8	0,0235	0,001

Точність вимірювань отриманого ряду оцінок  $S_{y_i}$  визначалась по  $G$  - критерію Кохрена. Так при обраному рівні значущості  $\alpha = 0,05$  експериментальне значення відношення максимальної оцінки дисперсії до суми всіх оцінок дисперсії  $G^E = 0,216 < G_{f_1, f_2}^T = 0,3311$ , що свідчить о рівноточності експерименту. Помилка експерименту склала  $S_y = 0.0058$ .

Помилка при обчисленні коефіцієнтів регресії для ПФЕ типу  $2^4$  внаслідок ортогональності плану однакова і складає  $S\{b_i\} = 0,0145$ .

Перевірку значущості коефіцієнтів рівняння регресії проводили за  $t$  - критерієм Стьюдента.

Перевірка адекватності отриманої регресійної моделі по  $F$  – критерію Фішера показала, що експериментальне значення  $F^E = 0,2$ , тоді як табличне  $F_{f_1, f_2}^T = 1,99$ , де за умовами адекватності  $f_1 = 11, f_2 = 64$ .

Таким чином, при обраному рівні значущості  $\alpha = 0,05$ , гіпотеза про адекватність підтверджується, так як  $F^E < F_{f_1, f_2}^T$ .

Істинні же коефіцієнти регресії знаходяться всередині довірчих інтервалів з рівнем надійності 95%.

Проведені дослідження дозволили встановити:

1. Регресійний аналіз результатів експерименту підтвердив коректність прийнятої математичної моделі руху крана під дією вітру.

2. Розбіжність між результатами експериментального і теоретичного дослідження становить, в середньому, 11%.

3. Результати теоретичних і експериментальних досліджень можуть бути основою для проведення комп'ютерного моделювання процесу пересування крана при вітрових навантаженнях.

## СУЧАСНІ ІТ-ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІНИ «ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА»

**Кабацький О.В., Хорошайло В.В.**

(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

На сьогоднішній день стрімкий розвиток техніки потребує від спеціалістів із вищою освітою досконалої підготовки, зокрема, у різних аспектах створення й розуміння технічних креслеників реальних деталей та вузлів. Однак, слід відмітити, що в рамках дисципліни «Інженерна графіка», а в подальшому і в дисциплінах, пов'язаних з системами автоматизованого проектування, при виконанні робочих креслеників в процесі деталювання виникає проблема недостатнього розуміння здобувачами конструкції та принципу функціонування пристроїв, наданих як індивідуальні завдання. Причинами цього є недостатність досвіду і, низька початкова підготовка студентів (зокрема, недостатній рівень розвитку навичок просторового уявлення й просторового мислення), неможливість наочно продемонструвати здобувачам принцип роботи окремих деталей в умовах дистанційного навчання та ін.

В якості інструменту, що може допомогти у розв'язанні вказаної проблеми можуть бути використані сучасні ІТ-технології. Для більш досконалого уявлення про принцип роботи складальної одиниці, місце та функції в ній окремих деталей студентам рекомендується самостійно розглянути віртуальну модель наданої складальної одиниці із використанням додатку доповненої реальності (AR) *AR for Engineering Graphics* [1]. Вказаний додаток інсталується на смартфон або планшет із системами OS Android або iOS.

При роботі додатку із складальними креслениками індивідуальних завдань, у які вставлене зображення, потрібне для активації програми, з'являється можливість відтворити наданий вузол у тривимірному вигляді в цілому та згенерувати його перерізи (опція *Cross-Sectional Mode*) у вибраних місцях для чіткого уявлення внутрішньої конфігурації. Також додаток дозволяє імітувати роботу вузла за його призначенням (опція *Working Mode*), знайти серед деталей вузла кожен деталь відповідно до специфікації (опція *Specification*), відстежити послідовність складання та розкладання вузла (опції *Disassembly Mode* та *Assembly Mode*).

Таким чином, використання додатку AR суттєво поглиблює інформацію яку отримують здобувачі про конструктивні особливості окремих деталей та вузлів виробів машинобудування, закріплює теоретичні відомості про утворення видів з'єднань деталей у складі виробів, а також дає уявлення про склад та функціонування поширених у виробництві пристроїв, що слід вважати дуже корисним при подальшому засвоєнні спеціальних дисциплін за відповідними спеціальностями.

### Література:

1. Vitalii Ivanov, Ivan Pavlenko, Artem Evtuhov et al. *Augmented Reality for Engineering Graphics*. – Springer : 2024. – 89 p.

# ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ДАНИХ ДІАГНОСТИКИ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Калініченко В.В., Мельник М.С.

(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Прогресивні процеси механічної обробки (ПМО) деталей мають базуватись на використанні оптимальних режимів різання, що забезпечують поєднання високих показників продуктивності обробки та працездатності різального інструменту, низького рівня енерговитрат у технологічній системі, гарантуючи досягнення необхідних точності обробки та якості обробленої поверхні. Відтак, вдосконалення методів та процедур визначення оптимальних режимів різання є ключовою умовою підвищення ефективності обробки.

У реальній інженерній практиці призначення режимів механічної обробки здійснюється за рекомендаціями нормативів режимів різання та довідкової літератури, які базуються на емпіричних формулах ступеневих залежностей  $v = f(T, S, t)$  та  $P_z = f(v, S, t)$ , де  $v$ ,  $S$ ,  $t$  – відповідно швидкість різання, подача, глибина різання;  $T$  – період стійкості різального інструменту;  $P_z$  – тангенціальна складова сили різання. Ці формули отримані за результатами значного обсягу проведених достатньо давно статистичних досліджень ПМО. На сьогодні вони суттєво застаріли; зокрема, вони не враховують появи значної кількості нових оброблюваних та інструментальних матеріалів, покриттів для різальних інструментів, можливостей розширення діапазону використовуваних режимів різання при впровадженні нового верстатного обладнання [1]. Рекомендації інформаційних ресурсів виробників інструменту щодо режимів різання теж стосуються здебільшого обробки розповсюджених груп матеріалів.

Зростання вимог до функціональних властивостей виробів зумовлює розширення використання нових конструкційних матеріалів (складнолегованих сталей та чавунів, спеціальних сплавів, композитних матеріалів та ін.) з низькими показниками оброблюваності різанням. Ефективна обробка таких матеріалів потребує сучасного інструменту, оснащеного різальними пластинами з прогресивних марок інструментальних матеріалів, як правило з багатошарово-композиційним покриттям; у окремих випадках перспективним є введення додаткової енергії до зони обробки (зокрема, за схемою різання з електроконтактним нагріванням матеріалу заготовки). Відомі довідкові джерела не надають необхідних рекомендацій з режимів різання при обробці нових важкооброблюваних матеріалів, а проведення серії експериментів з метою отримання оптимізаційних моделей ПМО при обробці зазначених матеріалів є дуже витратною і для багатьох підприємств неможливою задачею.

З метою виходу з даної ситуації автори у [1] пропонують вирішувати задачу розробки моделей для визначення оптимальних режимів різання на базі використання результатів аналізу даних діагностики реальних ПМО за допомогою створеної для цього самонавчальної інформаційно-дослідницької

системи. Сучасні системи ЧПК на базі промислових комп'ютерів дозволяють встановлення додаткових програмних продуктів та апаратних засобів, а також інтеграцію до локальної (глобальної) комп'ютерної мережі. Відтак, на базі кількох верстатів з ЧПК з необхідними наборами датчиків можна створити мережу дослідницьких комплексів з моніторингу ПМО, які будуть збирати дані про характеристики реальних процесів різання безпосередньо під час обробки. У даному контексті кожен випадок обробки трактуємо як експеримент у режимі реальної виробничої ситуації. Результати експериментів у вигляді масивів діагностичних сигналів про вихідні параметри ПМО (силові, температурні, вібраційні, знос та стійкість інструменту та ін.) поступово накопичуються у централізованій базі знань (БЗ) створюваної самонавчальної системи (СНС).

Можливості запропонованої у [1] СНС дозволяють використовувати її як для створення нових, так і для корекції раніше розроблених оптимізаційних моделей (ОМ) ПМО. До БЗ СНС заздалегідь вноситься інформація, необхідна для автоматизованого визначення оптимальних режимів різання (включно з виразами ОМ, розробленими на базі апріорної інформації, характеристиками оброблюваного та інструментального матеріалів та ін.). При розробці цільових функцій та систем обмежень ОМ широко використовуються залежності стійкісних параметрів різального інструменту, силових, температурних, інших вихідних параметрів ПМО від режимів різання та вхідних параметрів процесу обробки. Ці залежності, як правило, мають ступеневий характер та створюються на основі широковідомих рівнянь регресії. Корекція ОМ ПМО передбачатиме корекцію використовуваних при її розробці ступеневих залежностей, що полягатиме в уточненні коефіцієнтів та показників ступеня залежностей за підсумками регресійного аналізу вибірки з  $N$  діагностованих випадків обробки. Можливості сучасних комп'ютерних пристроїв дозволяють отримувати за допомогою регресійного аналізу ступеневі залежності зі значною кількістю змінних факторів. Відтак, може бути збільшена кількість факторів у створюваній моделі для визначення оптимальних режимів різання порівняно з моделями, традиційно використовуваними для призначення режимів різання у довідковій літературі. Ще однією перспективною можливістю запропонованого підходу є можливість збільшення порядку моделі для визначення оптимальних режимів різання [1]. Постійний характер накопичення отримуваної датчиками інформації про вихідні параметри реальних ПМО забезпечує неухильне зростання точності та області адекватності створюваних моделей.

Відповідно до [1], найкращі перспективи реалізації запропонованого підходу до створення моделей для визначення оптимальних режимів різання за результатами аналізу даних діагностики реальних ПМО забезпечуються за умов інтеграції до СНС верстатних комплексів кількох підприємств різного профілю, особливо в одиничному та дрібносерійному виробництві.

**Література.** 1. Мельник, М. С. Самонавчальна інформаційно-дослідницька система для автоматизованого визначення оптимальних режимів різання / М. С. Мельник, В. В. Калініченко // Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 6–7 грудня 2023 р., м. Одеса. – Одеса. 2023. – С. 227–229.

# КОМБІНОВАНЕ ГАРЯЧЕ ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТОГО ВИРОБУ ТИПУ ГЛИБОКОГО КОНІЧНОГО СТАКАНУ

<sup>1</sup>Калюжний В.Л., <sup>2</sup>Марков О.Є., <sup>3</sup>Левченко В.М., <sup>1</sup>Ярмоленко О.С.,  
<sup>2</sup>Чепеленко О.Ю.

(<sup>1</sup>НТУ України, м. Київ, Україна; <sup>2</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна;

<sup>3</sup>ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна)

Для виробництва осесиметричних порожнистих виробів використовують процеси гарячого зворотного видавлювання на гідравлічних пресах, які забезпечують високу швидкість деформування [1]. Тому актуальними задачами є визначення впливу швидкості деформування на параметри гарячого зворотного видавлювання порожнистих виробів [2, 3]. Застосування методу скінченних елементів (МСЕ) для визначення параметрів гарячого штампування дозволяє суттєво зменшити час та витрати на підготовку виробництва.

Метою роботи є встановлення впливу швидкості деформування на параметри видавлювання порожнистого виробу із високовуглецевої сталі.

Моделювання гарячого зворотно-прямого видавлювання виконували з використанням скінчено-елементної програми Deform для заготовки з діаметром  $D_0 = 150$  мм та висотою  $H_0 = 157$  мм, які дозволяють отримати потрібні форму та розміри виробу. Температура видавлювання заготовок була  $T = 1000^\circ\text{C}$ . Досліджено вплив швидкості деформування на силові режими та формоутворення виробу. Швидкість переміщення пуансону становила  $V_0 = 70$  мм/с,  $V_0 = 100$  мм/с та  $V_0 = 150$  мм/с. Тертя враховували за Зібелем з коефіцієнтом тертя  $\mu = 0,3$ . Деформуючий інструмент, спроектований за розмірами виробу, вважався абсолютно жорстким.

Вплив швидкості деформування на осьові сили  $P$  видавлювання на пуансоні, матриці та виштовхувачі представлено на рис. 1.

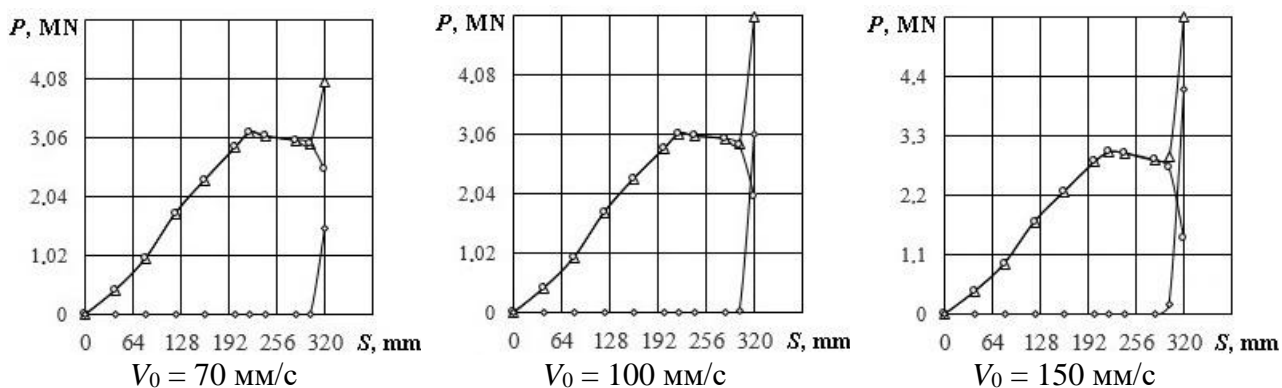


Рис. 1. Вплив швидкості деформування на осьові сили  $P$  на деформуючому інструменті: пуансоні (-▲-), матриці (-○-), виштовхувачі (-◊-)

На переміщенні пуансона  $S$  до 300 мм вид графіків сил практично однаковий. При збільшенні швидкості  $V_0$  сили зменшуються до цього переміщення. На кінцевій стадії видавлювання сили на пуансоні зростають. Це

пов'язано з переходом до процесу зворотного видавлювання. Також при видавлюванні зі швидкостями  $V_0 = 70$  мм/с та  $V_0 = 100$  мм/с має місце незаповнення металом кута між матрицею та виштовхувачем.

На рис. 2 показано заповнення цієї кутової частини заготовки залежно від швидкості деформування, при якому переміщення пуансона становить 320 мм. При видавлюванні зі швидкістю  $V_0 = 70$  мм/с має місце суттєве незаповнення кута в нижній частині заготовки, при цьому на пуансоні отримано мінімальне зусилля (4 МН). При видавлюванні зі швидкістю  $V_0 = 100$  мм/с заповнення кута відповідає вимогам до форми виробу, а за швидкості деформування  $V_0 = 150$  мм/с незаповнення практично відсутнє. Осьові зусилля, що сприймаються виштовхувачем та матрицею при видавлюванні, досягають максимальних значень 3,03 МН та 3,06 МН відповідно (див. рис. 1). Хоча при швидкості деформування  $V_0 = 150$  мм/с забезпечується повне заповнення кута, при цьому значно зростає сила на пуансоні на кінцевій стадії, досягаючи 5,5 МН. Тому з погляду силового режиму процесу навантаження на пуансон видавлювання зі швидкістю деформування, що перевищує 100 мм/с, проводити не рекомендується.

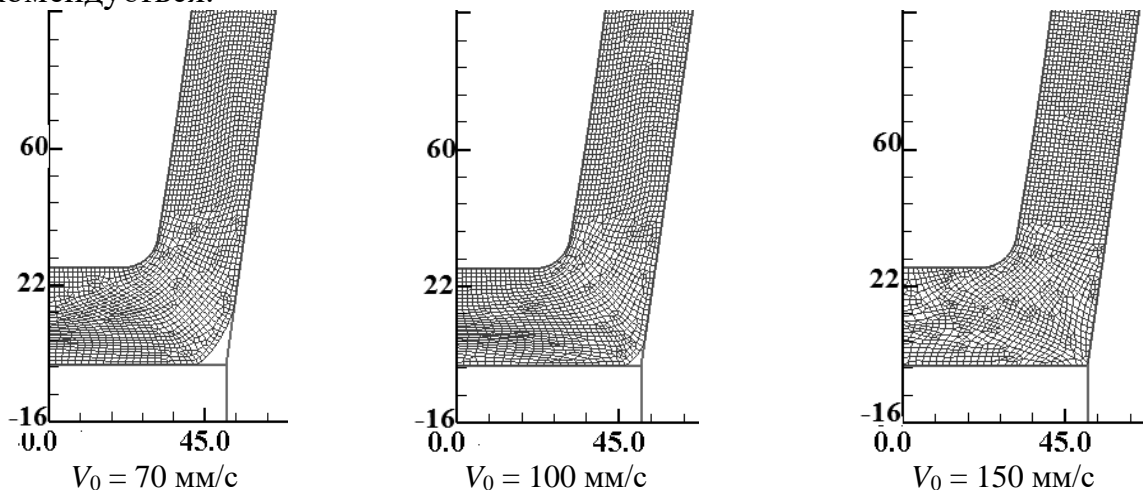


Рис. 2. Вплив швидкості деформування на заповнення кута донної частини виробу (за результатами моделювання МСЕ)

В результаті проведеного моделювання МСЕ процесу комбінованого гарячого видавлювання порожнистого виробу встановлено, що збільшення швидкості деформування з 70 до 100 мм/с забезпечує заповнення донної частини виробу. Подальше збільшення швидкості деформування призводить до суттєвого збільшення зусилля деформування на кінцевій стадії. Отримані результати дозволяють надати науково обґрунтовані рекомендації щодо вибору пресового обладнання для гарячого видавлювання таких виробів.

**Література:** 1. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х. т. Москва: Машиностроение. 1986. Т.2. Горячая объемная штамповка. Под ред. Е.И. Семенова. 1986. 592 с. 2. Kalyuzhnyi V. L., Aliieva L. I., Kartamyshev D. A., Savchinskii I. G. Simulation of cold extrusion of hollow parts, *Metallurgist*. 2017. 61. 5–6, pp. 359–365. 3. Aliiev I., Kaliuzhnyi V., Levchenko V., et al. The Determination of deformation velocity effect on cold backward extrusion processes: collective monograph “Mechatronics”. Vol. II. London: Taylor & Francis Group. 2021, pp. 81–100. ISBN: 978-1-032-10585-7.

# ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТА СИЛОВОГО РЕЖИМУ ПРОЦЕСУ ВІДБОРТУВАННЯ ОТВОРУ У ВИТЯГНУТОМУ ВІСЕСИМЕТРИЧНОМУ НАПІВФАБРИКАТІ

<sup>1</sup>Калюжний О.В., <sup>1</sup>Калюжний В.Л., <sup>2</sup>Левченко В.М.

(<sup>1</sup>НТУ України, м. Київ, Україна; <sup>2</sup>ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна)

Раціональна технологія виготовлення ємностей різного об'єму для нагрівання води включає наступні операції. Шляхом витягування за один перехід з листових заготовок отримують порожнисті напівфабрикати з подальшою обрізкою торців стінок. В одному із напівфабрикатів на вісі донньої частини виконують отвір та здійснюють відбортування – операцію по утворенню борта по контуру отвору (рис. 1, а). Потім за допомогою зварювання порожнистого напівфабрикату і напівфабрикату з бортом їх з'єднують між собою для утворення ємності (рис. 1, б).



Рис. 1. Напівфабрикати після відбортування отворів у дні (а) та готова ємність для нагрівання води після зварювання напівфабрикатів (б)

Визначення параметрів відбортування на основі виробничого досвіду достатньо добре описано в джерелах [1–3]. Але науково обґрунтований підхід до розробки технологічного процесу, вибору обладнання та створення конструкції штампу для відбортування вимагає вирішення задач щодо встановлення впливу геометрії інструменту на зусилля відбортування і вилучення пуансону із заготовки, напружено-деформованого стану (НДС) заготовки при відбортуванні та визначення форми і розмірів бортів, і тому існуючих емпіричних даних недостатньо. Використання методу скінченних елементів (МСЕ) для моделювання відбортування дозволяє вирішити ці задачі та встановити параметри такого процесу. Так, наприклад, в роботі [4] МСЕ був використаний для розрахунку відбортування отворів у круглих заготовках із маловуглецевої сталі.

Метою даної роботи є визначення за допомогою МСЕ силових характеристик та параметрів НДС процесу відбортування отвору у вісесиметричному порожнистому напівфабрикаті із маловуглецевої сталі.



Розрахунки були проведені за допомогою моделювання з використанням скінченно-елементної програми DEFORM, циліндричної системи координат та пружно-пластичної моделі металу (рис. 2, а). Швидкість деформування складала  $V_0 = 2$  мм/с. Тертя на контактуючих поверхнях з абсолютно жорстким деформуючим інструментом було враховано за законом Кулона з величиною коефіцієнту тертя  $\mu = 0,08$ . Матеріал заготовки – сталь AISI-1010COLD.

Досліджено вплив радіусу матриці на силові режими при відбортуванні (рис. 2, б). Встановлено, що збільшення радіусу матриці призводить до зменшення зусиль відбортування та вилучення пуансону та зростання переміщення пуансону, при якому зусилля відбортування досягає максимального значення.

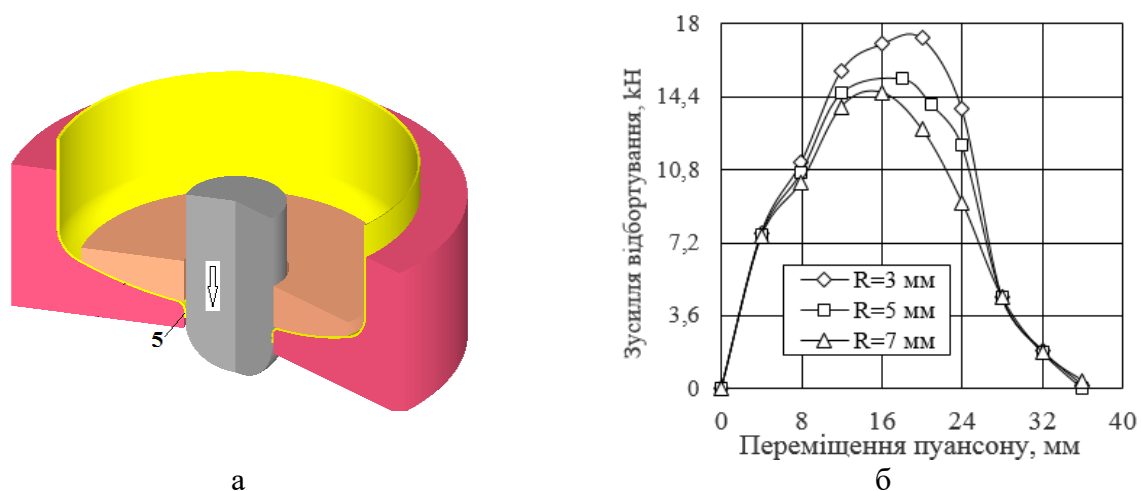


Рис. 2. Розрахункова схема в розрізі при відбортуванні в кінці відбортування (а) і графік зусиль відбортування за результатами моделювання МСЕ (б)

Також отримано розподіли компонент напружень при максимальному зусиллі відбортування та компонент деформацій для кінцевої стадії процесу. Оцінено ступінь використання ресурсу пластичності у металі борта та пропрацювання структури металу пластичною деформацією за розрахунковими значеннями показника інтенсивності деформацій після відбортування. Із врахуванням пружної деформації після вилучення пуансонів визначено форму і розміри бортів.

На основі даних моделювання спроектовано і виготовлено деформуючий інструмент для виконання відбортування в існуючому штампі для витягування. Проведені експериментальні дослідження по відбортуванню узгоджуються з даними розрахунків МСЕ.

**Література:** 1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1979. 520 с. 2. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. Т. 4: Листовая штамповка. Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.). Москва: Машиностроение. 1987. 544 с. 3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка. Ред. Л.И. Рудман. Москва: Машиностроение. 1988. 496 с. 4. Huang Y., Chien K. Influence of the punch profile on the limitation of formability in the hole-flanging process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2001. 117. 1-2, pp. 43–51. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01060-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01060-3).

## УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ РІЗАННЯ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ

**Кассов В.Д., Бородай Р.А.**

(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Температура різання при обробці на важких верстатах є основним параметром, що впливає на інтенсивність контактних процесів у зоні обробки, зносостійкість інструменту та якісні характеристики обробленої поверхні деталі. Це визначає необхідність створення системи управління температурою різання. Вимога до статичної точності системи автоматичного управління впливає із завдань, розв'язуваних під час керування температурним режимом оброблення, до яких, насамперед, належать характеристики якості поверхневого шару заготовки та інтенсивність зносу різального інструменту.

Аналіз наявних систем автоматичного управління процесом різання за температурою різання показав, що вони переважно є системами статичної оптимізації і не забезпечують необхідних показників в умовах важкого різання. Під час оброблення деталей на важких верстатах допустима статична похибка підтримання температури різання, прийнята під час дослідження в розмірі 5%, у сучасних системах управління є достатньою. Це, своєю чергою, зумовить коливання інтенсивності зносу інструменту менше ніж 50%, наклепу не більше ніж 10%, зниження тривалої міцності (жароміцності) не більше ніж 5%. Створення статичних та інваріантних до зміни коефіцієнта передачі процесу різання систем автоматичного управління не забезпечує потрібного алгоритму керування за високої частоти ( $f > 100 \text{ Гц}$ ) збурювального впливу (переривчасте різання, обробка з ексцентриситетом), що перевищують частоту зрізу сучасних приводів верстатів ( $f_{cp} = 20 \text{ Гц}$ ).

Розроблено більш ефективний алгоритм керування, який дасть змогу забезпечити максимальну швидкодію, точність і якість керування шляхом застосування алгоритмів логічного керування. На першому кроці визначається об'єкт керування, його математичні залежності, на другому кроці - основні стани і ситуації, у яких може перебувати об'єкт керування, на третьому кроці - подання технологічних параметрів процесу різання у вигляді логічних змінних і на четвертому кроці - розроблення алгоритмів керування.

В умовах невизначеності процесу різання особливі вимоги висуваються до датчиків зворотного зв'язку. Запропоновано використовувати датчик термоЕДС, для ідентифікації значення температури в зоні різання. Системи автоматичного управління термоЕДС різання повинна задовольняти, в умовах переривчастого різання, таким вимогам:

1) нечутливість до зниження  $E$  відносно заданого  $E_z$  упродовж одного обороту деталі, а якщо  $E < E_z$  витримуватиметься більше часу одного обороту, то системи автоматичного управління повинна відновити рівність  $E = E_z$  з максимальною швидкодією;

2) забезпечити максимальну швидкодію на обробку будь-якого перевищення  $E$  відносно  $E_z$ ;

3) у разі переривчастого різання, коли зміна глибини різання має прямокутний вигляд, середнє значення  $E$  необхідно підтримувати тільки під час різання, а в період відсутності контакту інструменту з деталлю управління  $E$  має бути відсутнім.

Доцільність застосування алгоритмів логічного управління полягає в можливості застосування керуючих обчислювальних пристроїв та єдиного підходу до формальної побудови алгоритмів ситуаційного управління.

Під час складання діаграми переходів, що характеризує процес функціонування алгоритму управління, необхідно виділити й визначити кількість станів, у якому може перебувати об'єкт управління в поточний момент. Після проведеного дослідження виявлено основні стани, у яких може перебувати об'єкт керування. У кожному стані здійснюється контроль поточного значення температури різання через параметр термоЕДС, за яким оцінюється оптимальна умова процесу різання. Під час складання діаграми переходів важливим завданням є визначення функцій переходу. Функції переходів складаються на основі математичних залежностей, які необхідно представити у вигляді формальних змінних. Формалізація відбувається шляхом виділення формальної змінної, аналогічно тій, яка використовується в математичній залежності, і присвоєння їй певної величини, залежно від характеру процесу проєктованого блоку. Для підсистеми управління температурою в зоні різання діаграма переходів представлена на рис. 1.

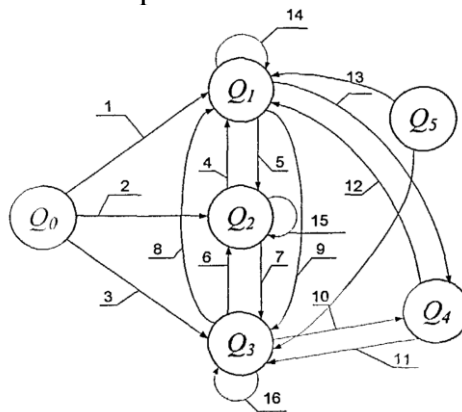


Рис.1. Діаграма переходів логічного блоку керування за температурою різання величини.

$Q_0$  - Початковий стан;  $Q_1$ - Стан розгону;  $Q_2$  - Стан постійної швидкості;  $Q_3$  - Стан гальмування;  $Q_4$  - Стан режиму переривчастого різання;  $Q_5$  - Стан системи в період припрацювання.

Після формування діаграми переходів і взаємозв'язку між вершинами описані функції переходів, отримані аналітичним шляхом і реалізовані засобами алгебри логіки. Модель системи логічного керування температурою різання реалізована в програмі Matlab simulink. У моделі логічного керування вхідною величиною є значення сигналу зворотного зв'язку за температурою різання, а вихідною - сигнал «1» за одним з каналів, залежно від стану, що визначається блоком логічного керування. Вхідні та вихідні величини описані в пакеті Stateflow. У підсумку виходить діаграма переходів, що описує роботу підсистеми відповідно до алгоритму, який націлений на підтримку оптимальних режимів за температурою різання  $\theta$ .

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Кізима Р.І.**

*(НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)*

В умовах трансформаційних процесів національної економіки та зміни глобальних тенденцій соціального розвитку спостерігається зростання цифрової трансформації та інформатизації всіх бізнес-процесів. Насамперед ця тенденція має стосуватися галузей, які мають високу інноваційну складову, до яких безпосередньо належить машинобудування. Однак в умовах економічної кризи та реструктуризації виробничих зв'язків вітчизняні підприємства часто не встигають переорієнтуватися відповідно до вимог суспільства, інноваційних технологій, які визначають конкурентоспроможність підприємства в сучасних умовах інноваційного ринку. Питання конкурентоспроможності визначають організаційно-економічне обґрунтування діяльності машинобудівних підприємств. Отже, проектування ефективної системи організаційно-економічного забезпечення бізнес-процесів є актуальним і потребує подальших досліджень. Нові вимоги конкурентного ринку визначили пріоритети організаційно-економічних систем управління. Одним із фундаментальних елементів організаційно-економічних систем машинобудівних підприємств є логістика. Актуальним питанням є створення збалансованої логістичної системи з урахуванням перспектив її потенційного розвитку.

Економічний ефект логістичної діяльності машинобудівного підприємства може бути отриманий двома шляхами: по-перше, це підвищення якості обслуговування споживачів, по-друге, за рахунок зниження операційних витрат на ведення логістичної діяльності. Раціоналізація витрат може здійснюватися за рахунок підвищення ефективності роботи виробничих, збутових, транспортних, постачальних та інших логістичних підрозділів. Аналіз логістичної діяльності на підприємстві повинен бути комплексним, тобто включати не тільки визначення можливостей раціоналізації витрат, а й пошук шляхів підтримки ефективності та якості надання логістичних послуг. Таким чином, необхідно підтримувати баланс між раціональними витратами на логістичну діяльність та якістю надання логістичних послуг. У зв'язку з цим доцільно ввести поняття логістичної ефективності. Ефективність логістики можна оцінити двома способами. По-перше, шляхом визначення її продуктивності, тобто визначення загального обсягу проходження продукції в пропускній спроможності самої системи. По-друге, показником надійності, який визначає можливість ефективного функціонування логістичної системи при різних умовах і зовнішніх факторах, які можуть впливати на її роботу.

Розробка організаційно-економічного механізму базується на визначенні ієрархічних структур і систем взаємодії та обміну інформацією при здійсненні

операційних процесів, що має бути підтверджено економічною стійкістю підприємства до ведення господарської діяльності. Організаційна складова операційної системи визначає можливості підприємства щодо реалізації оперативних та стратегічних завдань і цілей підприємства. Економічна складова визначає потенціал досягнення цілей і завдань підприємства шляхом визначення фінансового потенціалу, можливостей забезпечення фінансової стійкості фінансових операцій, як в поточній діяльності, так і в перспективі. Таким чином, організаційно-економічний механізм - це система реалізації можливостей підприємства щодо ведення операційної діяльності та забезпечення стратегічних цілей розвитку підприємства. Метою розробки організаційно-економічного механізму логістичної діяльності є ідентифікація окремих елементів логістики та їх опрацювання з точки зору впровадження в операційні процеси, забезпечення ефективності та визначення можливостей, у тому числі економічних і фінансових, для їх реалізації. Акумулюючи описані методи оцінки ефективності логістичної діяльності та певні засади побудови організаційно-економічних механізмів, можна представити наступну схему реалізації організаційно-економічних засад управління логістичною діяльністю машинобудівних підприємств

Визначивши процеси логістичної діяльності, можна виділити конкретні цілі стратегічного розвитку підприємств, які лежать у площині розвитку логістичних процесів:

1. проектування раціональної логістичної системи, яка покликана забезпечити планування поставок, складування, транспортування та розподіл, визначити можливі корективи та надати можливість оперативного автоматизованого втручання в логістичну систему у відповідь на зміну зовнішніх або внутрішніх факторів;
2. технологічне та технічне оснащення логістичної системи;
3. раціоналізація організаційної структури логістичної системи;
4. економічне обґрунтування впровадження логістичної системи в операційні процеси.

Досягнення визначених цілей функціонування логістичної системи можливе за умови виконання наступних завдань: забезпечення операційних процесів, що визначають можливість досягнення кінцевих стратегічних цілей розвитку шляхом реалізації функцій логістичної системи; забезпечення збільшення обсягів дистрибуції за рахунок підвищення ефективності організації логістичної системи; раціоналізація виробничих потужностей складів і потужностей зі збуту готової продукції; орієнтація на конкретні результати дистрибуції, спрямування на ці цілі різних напрямів логістичної діяльності та операційних процесів.

## ЗМІНА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СВЕРДЕЛ ЗІ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ Р6М5 ПІСЛЯ ІМПУЛЬСНОЇ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ

**Кінденко М. І.**

(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Проблема зносостійкості та довговічності інструменту набула в машинобудуванні надзвичайно великого значення. Актуальність зносостійкості і довговічності інструменту зростає в сучасних умовах, коли в машинобудуванні особливу роль набуває якість інструментів, у тому числі сверدل, що визначають багато в чому надійність процесів, продуктивність обладнання і собівартість обробки в цілому [1].

Застосовуючи магнітну обробку можна значно зменшити надмірну енергію матеріалу, пов'язану з концентрацією внутрішніх і поверхневих напруг в інструменті, і знизити до мінімуму ймовірність його поломки. При магнітній дії речовина змінює свої фізичні і механічні властивості [2].

Першопричиною поліпшення експлуатаційних характеристик осьового інструменту, підданого магнітній обробці, є зміна властивостей інструментального матеріалу. Воно відбувається за рахунок магнітострикційного зміцнення швидкорізальної сталі.

Встановлено, що дія імпульсних магнітних полів на осьовий інструмент зі швидкорізальних сталей є ефективною тільки при певних (оптимальних) режимах магнітної обробки (напруженості магнітного поля, часу обробки інструменту і часу витримки після обробки).

Доведено, що оптимальні режими магнітної обробки, при яких досягається найбільше підвищення стійкості різального інструменту і максимальне поліпшення властивостей інструментального матеріалу співпадають.

В результаті магнітної обробки швидкорізальна сталь зазнає об'ємне зміцнення, дисперсійне тверднення, стає одноріднішою по структурі і покращує свої фізико-механічні властивості.

### **Література:**

1. Кінденко Н.И. Магнитострикционное упрочнение и магнитно-дисперсионное твердение быстрорежущих сталей в импульсных магнитных полях [Электронный ресурс] // Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии [Электронный ресурс]. - Краматорск, 2017. - № 2 (23Е). - С. 31-35. Режим доступа: [http://www.dgma.donetsk.ua/science\\_public/science\\_vestnik/%E2%84%962\(23%D0%95\)\\_2017/article/8.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vestnik/%E2%84%962(23%D0%95)_2017/article/8.pdf).

2. Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Хищенко Л.Т. Физические основы возможных направлений развития магнитноимпульсной обработки тонкостенных металлов. *Електротехніка і електромеханіка*. 2004. № 2. С. 80–84.

## **ЗМІЦНЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ ВИГОТОВЛЕНОГО ЗІ ШВИДКОРІЗАЛЬНИХ СТАЛЕЙ, ОБРОБКОЮ В ІМПУЛЬСНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ З ПОДАЛЬШИМ НАНЕСЕННЯМ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ**

**Кінденко М. І.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Найбільшого значення як змащувальні речовини набули поверхнево-активні речовини, що володіють внаслідок своєї кристалічної структури низьким коефіцієнтом тертя

На поверхні інструменту, зануреного в епіламувальний склад, адсорбуються поверхнево-активні речовини у вигляді мономолекулярного або близького до нього шару. Фізичні властивості тонких поверхневих плівок, адсорбованих на твердих тілах, сильно відрізняються від звичайних властивостей рідини. Вони наближаються до властивостей твердих тіл. Молекули плівки, розташовуючись у певному порядку, утворюють ніби кристалічну решітку. При цьому утворюється надзвичайно міцний зв'язок між поверхнею твердого тіла й адсорбованим шаром [1].

Плівка, що утворилася, оберігає робочу поверхню інструменту і оброблюваної деталі від безпосереднього контакту, що сприяє значному зниженню сил тертя і поверхневої енергії в процесі обробки. Епілам міцно утримується на поверхні, має високі антифрикційні властивості, запобігає розвитку мікротріщин, підвищує втомну міцність і зносостійкість.

З метою підвищення експлуатаційної надійності та довговічності антифрикційних шарів і виходячи з фізичних властивостей епілами було запропоновано операцію обробки епіламувальною сумішшю вести на інструменті, попередньо обробленому методом ОІМП.

Нанесення антифрикційного покриття на робочу поверхню інструменту після його оброблення в імпульсному магнітному полі сприяє тому, що адсорбуючись на твердій поверхні у вигляді тонкого шару, антифрикційне мастило різко знижує мікротвердість, поверхневі напруження, а отже, і поверхневу енергію. Це викликано тим, що під час імпульсних електромагнітних впливів перехідний шар твердої фази стає більш активним у фізико-хімічному відношенні, зі збільшенням енергії впливу молекул мастил з адсорбентом збільшується міцність антифрикційного покриття.

Порівняльні стійкісні випробування з дослідження впливу епілами на стійкість магнітообробленого інструменту проводилися на операції свердління отворів. Доведено, що свердла оброблені в імпульсному магнітному полі, та застосування поверхнево-активних речовин, уповільнюють розвиток ділянок зношення передньої та задньої поверхонь інструменту.

**Література:** 1. Овчаренко А. Г. Комбинированная магнитно-импульсная обработка режущего инструмента/ А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин // Технология машиностроения. –М., 2010. –9. –С.26–29.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДИ РУЙНУВАННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КОНЦЕПЦІЇ ТЕОРІЇ РОЗВИТКУ ТРІЩИН

**Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Пікільняк А.В., Зуєв І.О.**

*(Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна)*

**Постановка проблеми.** Розробка наукової бази технологій зменшення швидкості спрацювання та адаптивного відновлення ресурсу за критеріями мінімізації енергетичного рівня взаємодії елементів механізмів відповідно до переважаючих процесів пошкодження[1,2].

**Метою дослідження** є розробка засобів технічного обслуговування, які стануть значним резервом зниження швидкості спрацювання ресурсу на підставі оцінки і зниженню енергетичного навантаження деталей механізмів гірничо-металургійного обладнання, а відповідно і інтенсивності спрацювання їх ресурсу, за критерієм приросту примусових сил у рівнянні його динамічної рівноваги, визначеного за принципами Д'Аламбера, тому що ресурс механізму має квадратичну залежність від енергії навантаження деталей механізмів.

Поява і розвиток пошкодження у вигляді тріщини при напруженнях нижче межі текучості здійснюється, якщо швидкість визволення енергії пружної деформації перевершує приріст поверхневої енергії тріщини. Наприклад, умова росту тріщини для плоскої пластини:

$$\frac{\sigma^2 \pi l^2}{E} \geq 4l(W_n + W_p), \quad (1)$$

де  $\sigma$  – напруження у пластині;  $E$  – модуль пружності;  $l$  – довжина тріщини у напрямку перпендикулярному до вектора напруження;  $W_n$  – енергія поверхневого натягу тріщини;  $W_p$  – робота пластичної деформації.

Попередження таких руйнувань можливе при навантаженнях за якими робочі напруження нижче приведенного рівня:

$$|\sigma| \geq 2 \sqrt{\frac{E(W_n + W_p)}{\pi l}}. \quad (2)$$

Об'ємні руйнування від втоми відбуваються при циклічних навантаженнях деталей, при яких пружні деформації перевищують межу витривалості. Локальні об'ємні руйнування від втоми відбуваються при сполученні дії робочих навантажень і напруженого стану поверхневого шару матеріалу.

### **Висновки:**

Для прискорення рішення задачі побудови уніфікованих систем моніторингу у масштабах галузі, розроблено методики і умови інваріантного використання методу моніторингу технічного стану, який легко адаптується до конкретної технологічної або енергетичної машини, і забезпечує мінімізацію швидкості процесів спрацювання та відновлення ресурсу на основі:



– структурно-параметричної систематизації і уніфікації технологічних і енергетичних машин гірничо-металургійного комплексу за критеріями макроструктури, що дозволяє у процесах ідентифікації технічного стану обмежитись п'ятьма типовими діагностичними моделями (діагностична модель дефектів деталей роторного типу, діагностична модель дефектів опор ковзання, діагностична модель дефектів опор кочення, діагностична модель дефектів кінематичних передач, діагностична модель дефектів базових конструкцій);

– оцінки і зниженню енергетичного навантаження деталей механізмів обладнання, а відповідно і інтенсивності спрацювання їх ресурсу, за критерієм приросту примусових сил у рівнянні його динамічної рівноваги, визначеного за принципами Д'Аламбера, тому що ресурс механізму має квадратичну залежність від енергії неврівноважених мас, виявлення і усунення яких засобами технічного обслуговування є значним резервом зниження швидкості спрацювання ресурсу;

– моделюванні процесів втрати працездатності і побудова процесів відновлення обладнання за допомогою динамічних параметричних моделей відмов, як засобу збільшення на 30-90% використання індивідуальних ресурсів механізмів обладнання;

– використання динамічних реакцій взаємодії механізмів, як інформаційного критерію процесів втрати їх працездатності на основі оцінки параметрів їх коливальних рухів при виконанні функціональних дій, як найбільш чутливого засобу контролю появи і розвитку деградаційного(их) процесу(ів);

– застосуванні спектральних методів аналізу коливальних процесів та акустичних властивостей конструкцій для ідентифікації причин розвитку дефектів, попередженню аварійних станів і побудові регламентів технічного обслуговування «за станом», як найбільш надійного та швидкодіючого у режимі реального часу, так як множина дефектів технічного стану визначається у одновірному просторі прикмет;

– використання економічно обґрунтованих граничних рівнів визначальних параметрів технічного стану механізмів обладнання;

– безрозбірного контролю у режимі реального часу параметрів технічного стану без виводу обладнання з експлуатації.

**Література:** 1. М.В. Кіяновський, Н.І. Цивінда, О.В. Чернявська, Л.І. Лаухіна, І.О. Зуєв Пояснення процесів втрати працездатності машин за енергетичними прикметами їх фізичної природи/ Розвиток промисловості та суспільства: Збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції. 19 -21 травня 2021 р. /–Кривий Ріг : Криворізький національний університет, 2021.-С. 84. 2.Зуєв І.О. Підхід до проектування технологічних процесів ремонту промислового обладнання як до системи аналізу характеристик управління технічним станом їх механічних вузлів/ Сучасні аспекти та перспективні напрямки розвитку науки: матеріали IV Міжнародної студентської наукової конференції, м. Ужгород, 9 грудня, 2022 рік / ГО «Молодіжна наукова ліга». — Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2022. — С.155-157.

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ ДЛЯ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ

<sup>1</sup>Клименко Г.П., <sup>1</sup>Богатов Д.Е., <sup>2</sup>Лобур Ю.М., <sup>2</sup>Вівчар П.М.

(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна, <sup>2</sup>ТНТУ ім. І.Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Дослідження умов експлуатації збірних токарних різців важких верстатів дозволило виявити найпоширеніші технологічні фактори, які необхідно в першу чергу враховувати при дослідженні надійності інструменту. Встановлено, що для верстатів з  $D_{max} = 1250\text{--}2500$  мм серед оброблюваних матеріалів 59% складають леговані сталі, найбільш часто використовують конструкції різців типів Р, S, Н (рис.1) до 79% відмов інструментів припадає на руйнування, сколи та викрашування (рис.2). Найпоширеніші глибини різання (62%) – 10–19 мм, подачі – 0,9 мм/об. (47%). Тому ці умови повинні бути охоплені при плануванні випробувань інструментів.



Рис. 1. Основні типи різальних інструментів, які використовуються на важких токарних верстатах

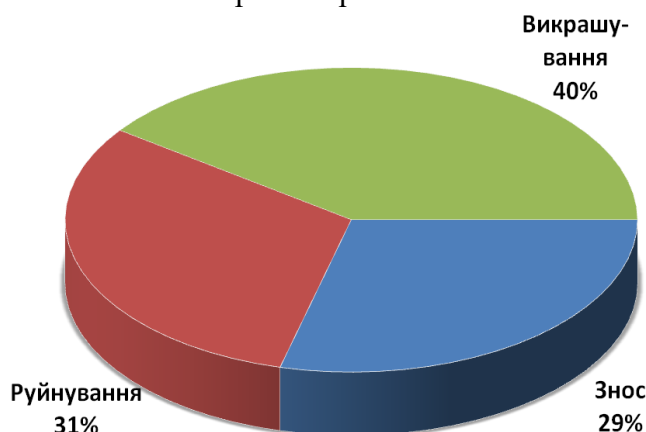


Рис. 2. Розподіл відмов різальних інструментів при обточуванні деталей на важких верстатах

Розроблено математичну модель надійності збірного різця з використанням теорії напівмарківських процесів у вигляді залежності коефіцієнту готовності різця як системи від параметрів законів розподілу періоду

стійкості різця (Вейбула) і експоненціального закону, що не заперечує розподілу часу відновлення працездатності збірного різця.

$$K_{\Gamma} = \left( 1 + \frac{\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(1/t_1)^{nb_1+1}}{a_1^{nb_1} (nb_1 + 1)n!} + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(1/t_2)^{nb_2+1}}{a_2^{nb_2} (nb_2 + 1)n!}}{t_{B4} e^{-(0,3t_{B4})} \int_0^{\infty} t_{B4} e^{-(0,3t_{B4})} dx + t_{B5} e^{-(0,3t_{B5})} \int_0^{\infty} t_{B5} e^{-(0,3t_{B5})} (x) dx} \right)^{-1}.$$

Залежність можна використовувати для розподілу заданого рівня надійності всього токарного різця даної конструкції між його елементами, маючи апріорну інформацію про інтенсивність їх відновлення. Якщо необхідно сконструювати різець для даних умов оброблення (тобто з заданою інтенсивністю відновлення), то для одержання заданого рівня надійності необхідно вибрати такі конструктивні рішення, які дозволять забезпечити певні показники ремонтпридатності.

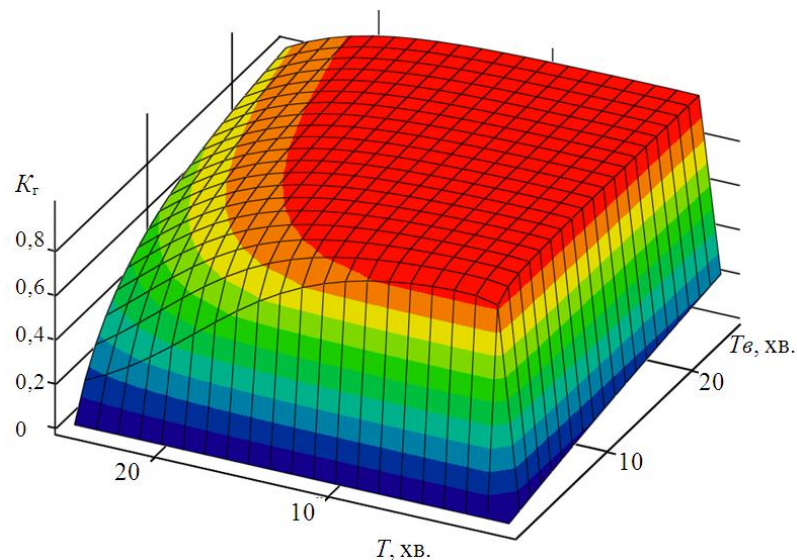


Рис. 3. Коефіцієнт готовності при експоненційному розподілу періоду відновлення працездатності, та періоду його стійкості за законом Вейбула

Обґрунтовано визначення раціонального рівня надійності збірного різця і його окремих елементів. Оптимізація здійснювалась за критерієм приведених витрат і витрати інструменту. Встановлено, що для збірних різців раціональний рівень надійності (коефіцієнт готовності) – 0,64-0,68, а для різальної пластини (імовірність безвідмовної роботи) – 0,75-0,82. Подальше підвищення рівня надійності призводить до необґрунтованого підвищення витрат. Досліджено ремонтпридатність збірних різців найпоширеніших конструкцій, які застосовують на верстатах з  $D_{max} = 1250-2500$  мм.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

<sup>1</sup>Клименко Г.П., <sup>1</sup>Хроменкова А.Я., <sup>2</sup>Винник В.В., <sup>1</sup>Гарбар А.С.

(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна, ДП КХП м. Харків, Україна)

У сучасному машинобудуванні спостерігається тенденція до багатомононклатурного виробництва, яке обумовлене виготовленням продукції за індивідуальними замовленнями, невеликими партіями або зразками. Це визначає, що виробництво характеризується частими змінами виробів. Продукція, яка виготовляється в таких умовах, має оригінальні конструкції, що призводить до підвищеної конструктивної складності. Внаслідок цього збільшуються терміни виготовлення продукції.

Одне із завдань роботи полягає в тому, щоб запропонувати технологічні рішення, що є оптимальними при обробці типових деталей машинобудівної галузі. Така пропозиція повинна включати не тільки трудомісткість і продуктивність обробки на важких верстатах з ЧПК, а й раціональні методи їх застосування з урахуванням конструкції деталей.

Необхідною і достатньою умовою отримання оптимального ефекту є перетин безлічі напрямків підвищення ефективності з правильним підбором об'єкта обробки (деталі). Оптимальний ефект обробки буде отримано при найбільш раціональному вирішенні, при цьому за критерії оптимальності можуть бути прийняті: мінімум собівартості обробки на верстаті з ЧПК, максимум продуктивності праці, мінімум приведених витрат.

Для підвищення ефективності обробки деталей на важких верстатах з ЧПК ще на стадії проектування необхідно враховувати технологічність конструкції деталей. Цей підхід забезпечує досягнення високих техніко-економічних показників при впровадженні та експлуатації верстатів з ЧПК. Для цього розроблено методику раціонального вибору типу обладнання, яка враховує конструкцію деталей, трудомісткість, продуктивність і собівартість їх виготовлення.

Методика раціонального вибору типу обладнання:

1. Конструктивний аспект. Аналіз конструкції деталей з точки зору їх технологічності – оцінка елементів конструкції: визначення, які елементи конструкції (отвори, пази, поверхні складної форми) впливають на вибір обладнання; спрощення конструкції – внесення змін в конструкцію для зменшення кількості технологічних операцій та підвищення її технологічності; уніфікація елементів – стандартизація окремих елементів деталей, що дозволяє використовувати універсальні пристосування і зменшити час переналаштувань.

2. Технологічний аспект. Оцінка точності обробки та наявності уніфікованих елементів: точність обробки – визначення вимог до точності

виготовлення кожної деталі та відповідного обладнання; уніфікація процесів – використання стандартних технологічних процесів і пристосувань для обробки уніфікованих елементів.

3. Економічний аспект. Розрахунок трудомісткості, продуктивності і собівартості виготовлення деталей: трудомісткість – оцінка кількості технологічних операцій, часу на їх виконання та трудових витрат; продуктивність – аналіз можливості підвищення продуктивності за рахунок використання автоматизації та оптимізації процесів; собівартість – розрахунок вартості матеріалів, інструментів, енергії та інших витрат, пов'язаних з виготовленням деталей.

Наведено приклад застосування даної методики:

1. Конструктивний аналіз деталі

– Деталь має складну геометрію з численними отворами та пазами.  
– Внесення змін в конструкцію для спрощення деяких елементів та уніфікації отворів.

2. Технологічна оцінка

– Вимоги до точності обробки високі, тому обираються верстати з ЧПУ, здатні забезпечити необхідну точність.  
– Використання стандартних технологічних процесів для обробки уніфікованих елементів.

3. Економічний розрахунок

– Оцінка трудомісткості процесу обробки: визначення часу, необхідного для кожної операції, і відповідних трудових витрат.  
– Аналіз продуктивності: визначення можливостей підвищення продуктивності за рахунок автоматизації та оптимізації рухів інструментів.  
– Розрахунок собівартості: врахування всіх витрат, пов'язаних з обробкою, включаючи витрати на інструменти, енергію та інші ресурси.

Узагальнений критерій технологічності дозволяє комплексно оцінити технологічність деталей, враховуючи конструктивну складність, властивості матеріалів, а також вимоги до точності і якості обробки. Концентрація операцій і уніфікація конструктивних елементів значно впливають на якісну оцінку технологічності, що підтверджено практичним застосуванням. Цей підхід сприяє раціональному вибору обладнання і методів обробки, забезпечуючи високі техніко-економічні показники виробництва.

Запропонована методика дозволяє оцінити технологічність деталі з конструктивної, технологічної та економічної точки зору, що забезпечує раціональний вибір типу обладнання для обробки деталей на важких верстатах з ЧПК. Цей підхід сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, зниженню собівартості виготовлення і підвищенню продуктивності праці.

# АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРИ НА ПЕРЕДНЬОЇ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТУ ІЗ РСВН ПРИ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ

Клименко С.А., Клименко С.Ан., Копейкіна М.Ю., Манохін А.С.

(ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, Україна)

Температура на контактних ділянках різального інструменту, яка супроводжує процес обробки, є найважливішим показником контактної взаємодії у зоні різання, який обумовлює працездатність інструменту.

Метою цієї роботи є вивчення температури на передній поверхні інструменту із полікристалічного надтвердого матеріалу на основі кубічного нітриду бору РСВН при точінні загартованої сталі.

Дослідження проведено теоретично з використанням рекомендацій [1], а також експериментально при точінні сталь ШХ15 (60–62 HRC) різцем, оснащеним різальними пластинами RNMN 070300 із РСВН (вміст сBN – 97%). Інструмент був оснащений двома хромель-алюмелевими термопарами, встановленими під опорною поверхнею різальної пластини.

При виконанні досліджень розглянуто два етапи процесу контактування інструменту зі стружкою.

На першому етапі теоретично визначена температура на плямах спалаху на передній поверхні інструменту. Для чого визначено розміри ділянки контактну інструменту зі стружкою, розподіл пружних і пластичних напружень на контактній ділянці, показники топографії контактної ділянки інструменту (середній діаметр плям  $d$  та фактична площа контакту  $A_r$ ), а також використано значення коефіцієнтів теплопровідності ( $\lambda$ ) та теплоємності ( $c$ ) контактуючих матеріалів, коефіцієнту тертя ( $\mu$ ) та густини ( $\rho$ ) матеріалів пари тертя «стружка-інструмент».

З урахуванням розподілу контактного навантаження та площі контакту при обробці загартованої сталі інструментом із РСВН на пластичну і пружну складові, вираз для оцінки температури на плямах спалаху (рис. 1) набуває вигляду

$$T_{\text{сп}} = 0,85 \frac{\mu U_{ij} P d v \sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1}}{M_{ij} A_r \xi \lambda_2 \left( \sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1} + \sqrt{\lambda_2 c_2 \rho_2} \right)},$$

де  $U_{ij}$ ,  $M_{ij}$  – коефіцієнти, які визначають розподіл навантаження на пластичній ( $i$ ) та пружній ( $j$ ) ділянках контакту, відповідно (для нашого випадку:  $U$  – 0,7 і 0,3,  $M$  – 0,6 і 1,4);  $v$  – швидкість різання;  $\xi$  – усадка стружки.

На другому етапі експериментально визначено температуру різання (рис. 2) у залежності від режимів різання.

Виконаний розрахунок температури на плямах спалаху показав, що максимальна величина температури на плямах спалаху на ділянці пластичного контакту перевищує 2000 °С, пружного контакту – 1000 °С.

У досліджених умовах обробки температура різання монотонно зростає з підвищенням швидкості різання і досягає 1180 °С. Відповідно до зменшення

температури на плямах спалаху при обробці зі швидкістю різання понад 120 м/с, інтенсивність наростання температури різання, яка характеризує середню температуру на контактній ділянці інструменту, зменшується.

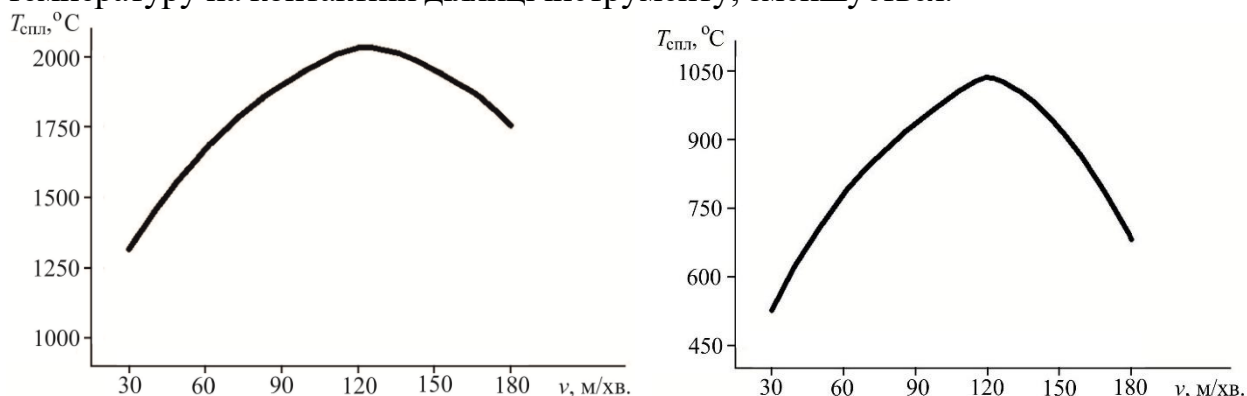


Рис. 1. Температура на плямах спалаху на пластичній (а) та пружній ділянках контакту (б) на інструменті в залежності від швидкості різання

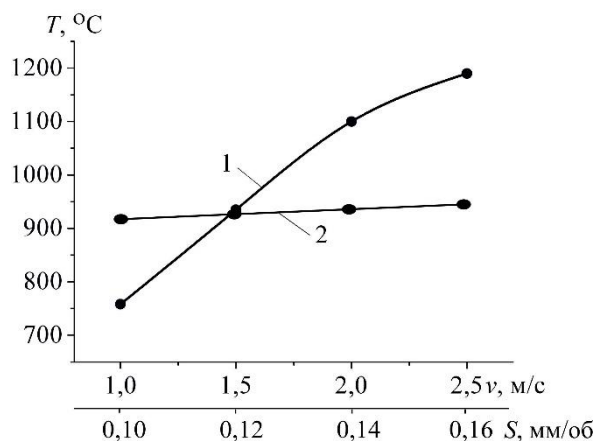


Рис. 3. Залежність температури різання від швидкості різання (1) та подачі (2)

Величина температури на плямах спалаху забезпечує умови протікання хімічної взаємодії між складовими контактуючих матеріалів і формування бориду заліза, подальше контактування якого з нагрітою поверхнею стружки на контактній ділянці призводить до ефекту формування і плавлення евтектики типу Fe-Fe<sub>2</sub>V, що інтенсифікує зношування інструменту [2].

Достатній рівень температури для протікання хімічних реакцій взаємодії є тільки на пластичній ділянці контакту інструменту, при цьому продукти хімічних реакцій взаємодії виносяться із зони різання, а протікання хімічних реакцій взаємодії на пружній ділянці контакту неможливе через недостатній рівень температури.

Потрібно відмітити, що враховуючи значну кореляцію між швидкістю різання та температурою різання, значення останній 1180 °C є атрактором, якій обмежує підвищення швидкості різання.

**Література:** 1. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.; 2. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / С.А. Клименко, А.С. Манохин, М.Ю. Копейкина и др. – К. : ИСМ им. В.М. Бакуля НАН Украины, 2018. – 304 с.

## НОВИЙ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОГО ГОЛОВНОГО ЗАДНЬОГО КУТА ТОКАРНОГО РІЗЦЯ

Кобельник В.Р., Крупа В.В., Петречко І.Р., Войцещук Н.Т.  
(ТНТУ, м. Тернопіль, Україна)

Здійснено аналіз існуючих способів вимірювання, контролю та визначення значень статичного головного заднього кута токарного різця.

Встановлено ряд недоліків цих способів, а найважливішим недоліком є те, що не забезпечується необхідна точність вимірювання та визначення головного заднього кута і похибка при цьому може скласти близько 50%.

Запропоновано новий спосіб визначення статичного головного заднього кута токарного різця з умовою, що головна задня поверхня різця є частково-циліндричною.

Спосіб реалізується наступним чином.

На першому етапі (рис. 1, а) із частково-циліндричної головної задньої поверхні 1 токарного різця 2, твірна якої паралельна головній різальній кромці на рисунку не показана знімали, використавши полісилікований полімерний відтискний матеріал, зліпок 3 і отримали дзеркальний відбиток.

На другому переході (рис. 1, б) зліпок сканували і отримували у головній січній площині слід 4 частково-циліндричної головної задньої поверхні у вигляді дуги, яку масштабували, а кінці цієї дуги з'єднували хордою  $AKB$ . яку ділили на дві рівні частини і через точку  $K$  поділу цієї хорди проводили першу нормаль  $KCL$  – 5, до дуги.

На третьому етапі (рис. 1, в) кінці половини дуги  $AC$  з'єднували іншою хордою  $AFC$ , яку також розділили на дві рівні частини і через точку  $N$  провели другу нормаль  $DFN$  – 6 і на перетині цих нормалей  $KCL$  і  $DFN$  отримували точку  $O$ , яка є центром кола з радіусом, що дорівнює миттєвому значенню радіуса  $R_x$  сліду частково-циліндричної головної задньої поверхні 1 (рис. 1, а) різця у головній січній площині.

На четвертому етапі (рис. 1, г) проводили відрізок  $AO$ , який з'єднує вершину різця, що матеріалізується точкою  $A$  з центром цього кола в точці  $O$  і вимірювали, довжину цього відрізка  $R_x$ , а з вершини різця на горизонтальну пряму, проведену через центр кола ставили перпендикуляр  $AM$  і вимірювали його довжину  $\tau$  і визначили величину статичного головного заднього кута  $\alpha$  за формулою

$$\alpha = \arcsin \frac{\tau}{R_x}.$$

Запропонований метод надає можливість з високою точністю вимірювати та визначати величину статичного головного заднього кута токарного різця з частково-циліндричною головною задньою поверхнею.



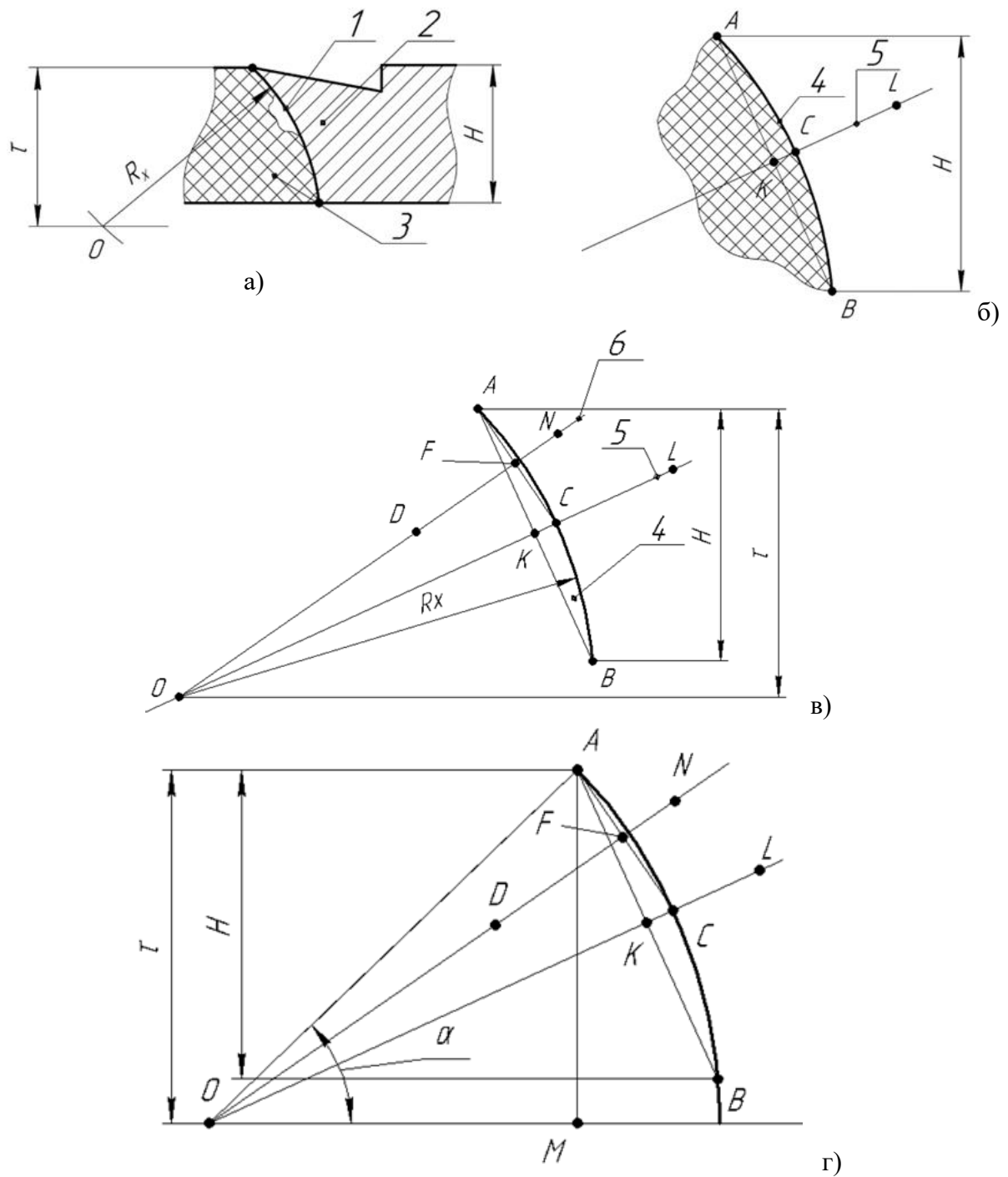


Рис. 1. Спосіб визначення статичного головного заднього кута токарного різця: а – переріз у головній січній площині токарного різця і зліпка з полісиліконового полімерного відтискного матеріалу з головної задньої поверхні різця; б – слід частково-циліндричної задньої поверхні різця у вигляді дуги  $AB$  і нормаль  $KCL$  проведена через точку  $C$  поділу на дві рівні частини дуги  $AB$  у головній січній площині; в – слід головної задньої поверхні у вигляді дуги  $AB$  у головній січній площині і нормалі  $OKC$  і  $ODN$ , проведені у точках  $C$  і  $N$  дуги  $AB$  та точку  $O$  перетину цих нормалей; г – розрахункова схема для визначення статичного головного кута  $\alpha$  токарного різця.

Слід зазначити, що на даний спосіб отримано патент України на винахід.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ СВЕРДЛІННЯ НАСКРІЗНИХ ОТВОРІВ ПРИ РЕГУЛЮВАННІ ПОДАЧІ НА ЕТАПАХ ВРІЗАННЯ ТА ВИХОДУ ІНСТРУМЕНТУ

<sup>1</sup>Кобельник О.С., <sup>2</sup>Лещук Р.Я., <sup>2</sup>Кобельник В.Р., <sup>2</sup>Ларочкін А.О., <sup>2</sup>Бей М.І.  
(<sup>1</sup>ВСП «ТФК ТНТУ», м. Тернопіль, Україна, <sup>2</sup>ТНТУ, м. Тернопіль, Україна)

Відомо, що в загальній трудомісткості обробки металів різанням свердлильні роботи в залежності від типу виробництва складають значну долю, яка сягає 30%. Це безперечно дозволяє стверджувати, що вартість свердлильних робіт має значний вплив на формування собівартості продукції.

Аналіз відомих літературних джерел і насамперед [1 – 5] вказує на те, що в процесі свердління під дією осьової сили різання виникають пружні деформації деталей та механізмів приводів свердлильних верстатів. Це явище викликає проблему зменшення подачі на етапі врізання інструменту та раптового значного збільшення подачі на етапі виходу свердла з тіла оброблюваної заготовки і, як наслідок, збільшення крутного моменту при свердлінні. Збільшення крутного моменту може складати майже в 2 рази. Тому відомо, що при свердлінні наскрізних отворів рекомендується здійснювати регулювання подачі на етапах врізання та виходу інструменту. Для цього використовують відомі пристрої та механізми, зокрема [6, 7]. Зазначені пристрої дозволяють здійснювати регулювання подачі та забезпечення свердління наскрізного отвору при усталеному різанні на значеннях подач, які використовуються при свердлінні глухих отворів. Максимальне зменшення основного часу на свердління наскрізних отворів та запобігання поломок інструменту безперечно дасть позитивний ефект у вартості обробки.

В роботах [1, 2] зазначено різні варіанти зменшення чи збільшення подачі на етапах свердління наскрізних отворів та ряд обмежень [5], які накладаються в залежності від використовуваного обладнання, розмірних параметрів інструменту, інструментального матеріалу і т.д.

В даній роботі запропоновано розглянути ефективність процесу свердління наскрізних отворів малого діаметру шляхом забезпечення зміни подачі на етапах врізання та виходу інструменту з тіла оброблюваної заготовки.

Такі процеси свердління наскрізних отворів мають місце при виготовленні отворів малих діаметрів, наприклад, у радіотехнічних платах, плунжерах форсунок, пневматичних струминних приладах, пневматичних орієнтуючих пристроїв, електротехнічному та гідравлічному обладнанні т.д.

Особливістю свердління отворів малих діаметрів у зазначених випадках є те, що їх діаметри не перевищують 2 – 3 мм.

В цьому випадку подача інструмента (свердла)  $S_c$  мінімізується його міцністю на поздовжній згин і приймемо, що регулюванню подачі на етапах врізання і виходу інструмента з тіла заготовки забезпечується рівноприскореним законом зміни подачі, на етапі виходу свердла з тіла заготовки подача різко збільшується.

Для визначення ефективності свердління наскрізних отворів малого діаметру із зазначеними обмеженнями та умовами використано підходи та методики запропоновані в [1, 2].

На рис. 1 показано схема свердління наскрізного отвору за вказаною закономірністю зміни подачі.

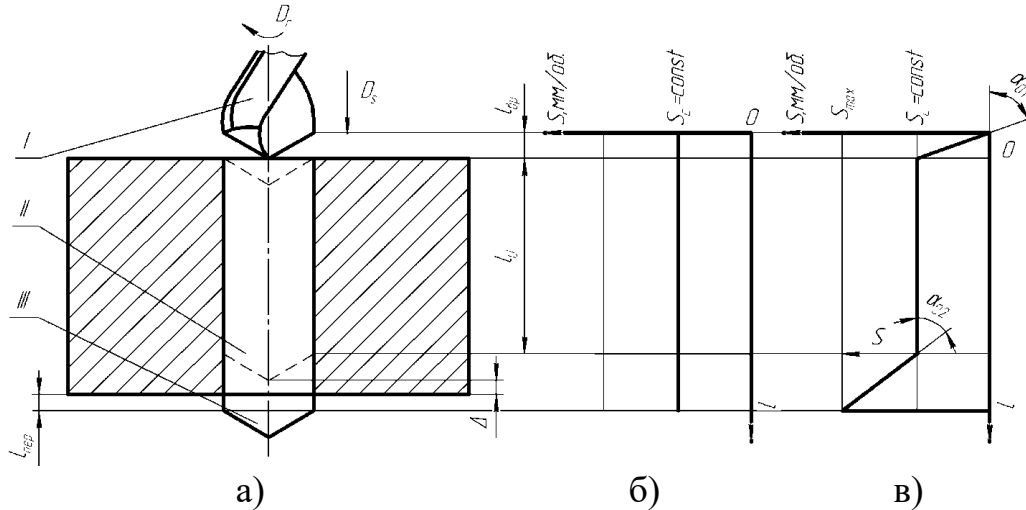


Рис. 1. Схематичне зображення процесу свердління наскрізних отворів малого діаметру з регульованою подачею: а – взаєморозміщення свердла: I – початок етапу врізання; II – закінчення етапу усталеного процесу різання; III – кінцеве положення свердла; б – подача постійна  $S = const$ ; в – подача змінна

Ефективність такого технологічного процесу порівняно із існуючими буде значимою тоді, коли глибини наскрізних отворів співрозмірні з довжиною різальної частини свердла, що виражається умовою:

$$l_o \approx l_{ep} = \frac{D(1 - k \cdot \sin \psi) \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{2} \quad (1)$$

де  $D$  - діаметр свердла;  $k \approx 0,2 - 0,25$  - коефіцієнти, що враховують ширину перемички свердла відносно  $D$ ;  $\psi$  - кут нахилу перемички свердла;  $\varphi$  - половина кута при вершині свердла.

В загальному основний час при свердлінні наскрізних отворів з регулюванням подачі (рис. 1, в) виражається залежністю:

$$t_{oz} = \frac{l_{ep}}{S_{ep} \cdot n_{ун}} + \frac{l_0 - \Delta_{н.н.}}{S_c \cdot n_{ун}} + \frac{l_{ep} + \Delta_{н.н.} + l_{nep}}{S_{вих} \cdot n_{ун}} \quad (2)$$

де  $n_{ун}$  – частота обертання шпинделя свердлильного верстату, об/хв.;  $l_o$  – глибина наскрізного отвору, мм;  $l_{ep}$  – величина врізання свердла в тіло заготовки, мм;  $l_{nep}$  – величина перебігу свердла, після виходу інструменту із тіла заготовки,  $l_{nep} = 0,08 \dots 0,15D$  мм;  $\Delta_{н.н.}$  – величина пружно-пластичної зони, яка визначається віддаллю від нижнього торця заготовки до зони початку пружного випучування оброблюваного матеріалу,  $\Delta = f(S, D)$ , мм;  $S_{ep}$  – змінна подача на етапі врізання,  $S_{ep} = k_{o1} \cdot l_{1x}$  при  $(0 \leq l_{1x} \leq l_{ep})$ ;  $k_{o1}$  - кутовий коефіцієнт прямої, що описується

залежністю  $S_{ep} = f_1(l)$  в системі координат  $SOl$ ,  $k_{o1} = tg\alpha_{o1}$ ;  $S_{aux}$  – змінна подача на етапі виходу свердла із тіла заготовки,  $S_{aux} = k_{o2} \cdot l_{2x}$  при  $(0 \leq l_{2x} \leq (l_{ep} + \Delta + l_{nep}))$ ;  $k_{o2}$  – кутовий коефіцієнт прямої  $S_{ep} = f_2(l)$  в системі координат  $S_1O_1l_1$ ,  $l_{2x} = l_{ep} + \Delta_{n.n.} + l_{nep}$ .

З врахуванням вищевказаного основний час при свердлінні наскрізних отворів за традиційною технологією визначається із залежності:

$$t_{om} = \frac{D(1 - k \cdot \sin\psi) \cdot ctg\varphi}{2S_c \cdot n_{un}} + \frac{l_0 - l_{nep}}{S_c \cdot n_{un}} \quad (3)$$

Основний час при свердлінні наскрізних отворів малих діаметрів з врахуванням (2) і вищеподаного виразиться формулою:

$$t_{oz} = \frac{2D(1 - k \cdot \sin\psi) \cdot ctg\varphi}{2 \cdot k_{o1} \cdot l_{1x} \cdot n_{un}} + \frac{2l_0 - 2\Delta_{n.n.} - D(1 - k \cdot \sin\psi) \cdot ctg\varphi}{2S_c \cdot n_{un}} + \frac{D(1 - k \cdot \sin\psi) \cdot ctg\varphi + 2(\Delta_{n.n.} + l_{nep})}{2 \cdot (S_c + k_{o2} \cdot l_{2x}) \cdot n_{un}} \quad (4)$$

Аналіз залежностей (3) і (4) показує, що умова  $t_{oz} < t_{ot}$  буде дотримана.

Економічний ефект за аналогією до [1, 2] визначається за формулою:

$$E = N_{dem} \cdot n_0 \cdot \left( (t_{om} - t_{oz}) \cdot \left( \frac{M \cdot n_{un} \cdot C_{el}}{974032 \cdot \eta} + C_{xs} \cdot K_p \right) + (t_{om.zd} - t_{oz.zd}) \cdot \left( \frac{M_{zd} \cdot n_{un.zd} \cdot C_{el}}{974032 \cdot \eta} + C_{xs} \cdot K_p \right) \right)$$

де  $N_{dem}$  – задана річна програма випуску деталей  $N_{dem}$ , шт.;  $n_0$  – кількість отворів одного діаметра в деталі –  $n_0$ , шт.;  $C_{xs}$  – годинна тарифна ставка свердлувальника першого розряду, грн.;  $M$  – крутний момент при свердлінні, Н·мм;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії верстата;  $K_p$  – коефіцієнт, що враховує розрядність роботи;  $C_{el}$  – вартість однієї кіловат-години електроенергії, грн.

**Література:** 1. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : зб. наук. праць. 2012. № 31. С. 47–56. 2. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль, 2013. 21 с. 3. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні. Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези доп., м. Київ, 22–25 жовт. 2012 р. Київ, 2012. Том 1. С. 71–73. 4. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : зб. наук. праць. 2011. № 28. С. 77–85. 5. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Кузьмін М.І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. *Вісник ТНТУ : Науковий журнал*. 2012. № 4 (68). С. 114–127. 6. Механізм подач свердильного верстату: пат. 33445 Україна: МПК В23В47/00. № u200801364 ; заявл. 04.02.2008 ; опубл. 25.06.2008, Бюл. № 8. 3 с. 7. Пристрій для свердління наскрізних отворів: пат. 77698 Україна, МПК(2013.01) В23 В47/00. № u201209347 ; заявл. 30.07.2012 ; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. 5 с.

## ДО СТРАТЕГІЇ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ

**Ковалевський С.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Адаптація до сучасних глобальних тенденцій, таких як цифровізація та сталі виробничі практики, є критично важливою для підвищення конкурентоспроможності України на міжнародному рівні. Аналіз інноваційного застосування біонічних принципів та цифрових технологій у виробництві надає цінну інформацію для розробки ефективних стратегій економічного зростання та сталого розвитку.

Моделювання та симуляція в контексті біонічного підходу та інтеграції цифрових технологій відіграють ключову роль у плануванні та оптимізації виробничих процесів. Ці інструменти дозволяють віртуально відтворити різні аспекти виробництва, включаючи інтеграцію біонічних принципів та цифрових технологій, що є важливим перед фізичним впровадженням інновацій.

Основні аспекти моделювання та симуляції пропонуються для прототипування біонічних рішень, що дозволяє розробляти та тестувати інновації перед їх реалізацією. Симуляції сприяють оптимізації виробничих процесів, визначенню оптимальних умов роботи та аналізу ризиків, що дозволяє знизити фінансові витрати та ризики для безпеки.

Важливим є також оптимізація логістичних ланцюгів, планування інфраструктури та управління потоками ресурсів і матеріалів за допомогою симуляцій. Переваги застосування моделювання та симуляції для машинобудування України включають здатність до ризикового аналізу та мінімізації ризиків, пов'язаних з впровадженням нових технологій, а також сприяють інноваційному розвитку промисловості.

Екологічний вимір біонічного підходу охоплює використання біонічних принципів та цифрових технологій для створення екологічно чистих виробничих процесів. Це включає біонічний дизайн, ефективне використання ресурсів, мінімізацію впливу на довкілля та використання цифрових технологій для моніторингу екологічних аспектів виробництва. У контексті України, це може бути інтегровано через енергоефективні технології та практики, що забезпечують мінімальний вплив на довкілля.

Для створення комплексної багатокритеріальної функції оптимізації  $F(X)$ , враховуючи показники та обмеження, кожен складову стратегії можна представити наступним чином:

Інноваційність  $X_1$  - розвиток і впровадження передових науково-технічних рішень.

Міждисциплінарність  $X_2$  - створення платформ для обміну знаннями між галузями.

Практичне застосування  $X_3$  - реалізація проектів з використанням наукових досягнень.

Соціальна важливість  $X_4$  - покращення якості життя населення.

Новаторство в управлінні  $X_5$  - впровадження інноваційних методів управління.

Екологічна стійкість  $X_6$  - розвиток і впровадження технологій для збереження довкілля.

Ці функції мають враховувати специфічні метрики та обмеження для забезпечення збалансованого рішення, яке відповідає всім аспектам. Використання платформи ScienceDirect для оцінки наукових публікацій допомагає у якісній оцінці кожної стратегії.

Оцінка сумарного впливу сценаріїв  $F(X)$  здійснюється на підставі їх рейтингів. Використання сценаріїв майбутнього сприяє стратегічному плануванню, оцінці ризиків, стимулюванню інноваційного розвитку та підготовці кадрів відповідно до майбутніх потреб промисловості.

Оцінка рейтингів сценарних напрямків кожної з шості стратегій проведена відповідно формулі:

$$X_{ji} = \frac{N_{23}}{\sum_{k=0}^{23} N_k}, \quad (1)$$

де:  $N_0, N_1, N_2, \dots, N_{23}$  - кількість публікацій в ScienceDirect за 2000, 2001, 2002, ..., 2023 роки відповідно;  $j=1 \dots 6$ ;  $i=0 \dots 23$ ;  $k=0 \dots 23$ .

Оцінка  $F(X)$  сумарного впливу сценаріїв  $X_{ji}$  може бути здійснена на підставі суми їх рейтингів:

$$F(X) = \sum_{i=0}^{23} X_{ji}. \quad (2)$$

Всього було задіяно для дослідження біля 6000 публікацій, індексованих в ScienceDirect. Окремі оцінки  $F(X)$  кожної з шості стратегій відповідають наступним показникам:  $\sum_{i=0}^{23} X_{1i} = 1,341$ ;  $\sum_{i=0}^{23} X_{2i} = 0,768$ ;  $\sum_{i=0}^{23} X_{3i} = 0,844$ ;  $\sum_{i=0}^{23} X_{4i} = 0,888$ ;  $\sum_{i=0}^{23} X_{5i} = 0,968$ ;  $\sum_{i=0}^{23} X_{6i} = 0,926$ . Ці показники залежать від кількості врахованих сценаріїв і їх публікаційної активності в рейтингових виданнях. Спираючись на наведені інтегральні оцінки можливо викласти пріоритетні стратегії розвитку промисловості, зокрема – машинобудування, наступним чином: 1) розвиток і впровадження передових науково-технічних рішень; 2) впровадження інноваційних методів управління; 3) розвиток і впровадження технологій для збереження довкілля; 4) покращення якості життя населення; 5) реалізація проектів з використанням наукових досягнень; 6) створення платформ для обміну знаннями між галузями.

Цей підхід об'єднує знання з технології, економіки та екології, надаючи нові перспективи та рекомендації для урядів і промислових лідерів.

Важливість цього висновку для політики та стратегії розвитку полягає у наданні конкретних даних для прийняття обґрунтованих рішень щодо розвитку промисловості, стратегічного планування, стимулювання інновацій та освітнього впливу, сприяючи залученню інвестицій та розвитку економіки.

## ВПЛИВ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ОБРОБКИ НА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ВИРОБІВ

**Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Сидюк Д.М.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

В умовах швидкої зміни ринкових умов та зростання вимог до виробничої гнучкості, інноваційні технологічні системи, здатні ефективно керувати життєвим циклом виробів, стають надзвичайно важливими в сучасному машинобудуванні. Використання методів магнітно-резонансної обробки робочих поверхонь значно покращує якість деталей, збільшує їх термін служби та покращує експлуатаційні характеристики, що дозволяє підтримувати високий рівень конкурентоспроможності на високотехнологічних ринках [1,2,3].

Життєвий цикл виробу машинобудування охоплює ключові етапи, такі як проектування, виробництво, експлуатація та утилізація. Кожен з цих етапів потребує інтеграції складних технологічних процесів. Реконфігурація технологічних систем має велике значення, оскільки вона дозволяє підтримувати весь життєвий цикл виробу, забезпечуючи не тільки виробництво, але й оптимальне використання ресурсів на кожному етапі [4]. Тому значення інноваційної технології магнітно-резонансної обробки, яка підвищує довговічність та ефективність робочих поверхонь виробничих деталей, є критично важливим для оптимізації життєвого циклу виробу. Завдяки цій технології можливе скорочення часу на підвищення загальної продуктивності, що сприяє сталому розвитку машинобудівної галузі [5].

Одним з ключових напрямків інновацій є розробка модульних технологічних платформ, що дозволяють швидко адаптувати виробничі лінії до нових видів продукції. Це включає інтеграцію автоматизованих роботизованих систем, що знижує вплив людського фактора та підвищує точність виробництва.

Застосування технологій цифрових двійників дозволяє проводити тестування та оптимізацію процесів у реальному часі, знижуючи ризики та витрати при впровадженні нових технологій. Впровадження екологічно чистих технологій та оптимізація використання ресурсів на всіх етапах життєвого циклу виробу допомагають зменшити вплив виробництва на довкілля.

Отже, підкреслюється важливість використання інноваційних технологічних рішень, таких як магнітно-резонансна обробка, для підтримки ефективності та довговічності виробничих процесів у машинобудуванні. Ці технології не тільки сприяють підвищенню продуктивності, але й забезпечують оптимальне використання ресурсів на кожному етапі життєвого циклу виробу, що є важливим для сталого розвитку галузі.

Пропонуються математичні моделі процесів, які відбуваються під час такої взаємодії:

**Магнітне поле і його вплив на матеріали:** неодимові магніти створюють дуже сильне магнітне поле, що може впливати на електронні та атомні структури матеріалів. Цей вплив залежить від магнітних властивостей матеріалу. В

феромагнітних або парамагнітних матеріалах магнітне поле може індукувати магнітні домени або вирівнювати магнітні моменти атомів, змінюючи таким чином їхні фізичні властивості.

**Резонансна частота вібрації:** коли зразок піддається вібрації на резонансній частоті, його атоми або молекули коливаються з максимально можливою амплітудою. Це призводить до збільшення внутрішнього енергетичного стану матеріалу, що може впливати на його механічні та термодинамічні характеристики.

**Широкосмугова наноамплітудна вібрація:** введення широкосмугових наноамплітудних вібрацій забезпечує рівномірний і постійний вплив на структуру матеріалу, що може впливати на дефекти в кристалічній ґратці, зміцнення матеріалу або навіть на його хімічні властивості через посилення дифузійних процесів.

**Термодинамічні ефекти:** під час резонансної вібрації в матеріалі можуть генеруватися теплові ефекти через внутрішнє тертя та інші процеси перетворення енергії. У поєднанні з сильним магнітним полем, це може призводити до зміни термічних властивостей матеріалу, його розширення або навіть до фазових перетворень.

Спільний вплив магнітного поля, резонансних вібрацій та широкосмугових коливань може призвести до складних, але контрольованих змін у матеріалі, включаючи зміцнення механічних властивостей, зміну електромагнітних властивостей, а також покращення зносостійкості та корозійної стійкості.

#### **Література:**

1. Friederich, J., & Lazarova-Molnar, S. (2024). Reliability assessment of manufacturing systems: A comprehensive overview, challenges and opportunities. *Journal of Manufacturing Systems*, 72, 38-58. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.11.001>.

2. Ковалевський, С., Ковалевська, О. (2022). Нові можливості для обробки матеріалів у сильному магнітному полі. // *Технічні науки та технології*, (4(26), 7–14. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-7-14](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-7-14).

3. Ковалевський, С. В., Ковалевська, О. С., Пелипенко, О. О. (2022). Магніторезонансна обробка металевих немагнітних зразків матеріалів. // *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2022): Матеріали тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції (Том 2, с. 46-47)*. Чернігів: Чернігівський національний технологічний університет. Доступно на: <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/wp-content/uploads/2023/03/Tezy-2022-Part-1-46-47.pdf>.

4. Andersen, R., Napoleone, A., Andersen, A.-L., Brunoe, T. D., & Nielsen, K. (2024). A systematic methodology for changeable and reconfigurable manufacturing systems development. *Journal of Manufacturing Systems*, 74, 449-462. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.04.008>

5. Zheng, X., He, Y., Liao, R., & Yu, S. (2024). Reliability oriented key quality characteristics driven integrated built-in reliability activity chain and approach for manufacturing process. *Computers & Industrial Engineering*, 191, Article 110166. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110166>.



## ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ЗАКОНІВ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РІЗАННЯ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ З УРАХУВАННЯ ЗМІННОГО НАВАНТАЖЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Щербакова А.Ю., Корчма Д.О.,  
Захаров Є.О. (ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Під час обробки реальних контурів деталей на важких верстатах інструмент працює зі змінним навантаженням по робочій траєкторії (глибина різання, діаметр заготовки та ін.). У цьому разі виникає проблема пошуку оптимальних законів керування частотою і подачею як реакції на змінне навантаження різального інструменту. Зважаючи на відсутність методів оптимізації, технологи під час обробки деталей складного контуру на верстатах із ЧПК призначають режими різання за лімітуючою ділянкою і зберігають їх постійними під час обробки всього контуру. При цьому не використовуються технологічні можливості верстатів з ЧПК і вони експлуатуються як верстати з ручним керуванням, підвищуючи витрати на оброблення. Предметом дослідження є розроблення математичних моделей економічних критеріїв, методів, алгоритмів і комп'ютерних програм для пошуку оптимального керування режимами різання та оптимізації режимів багатоінструментального й багатошпindelного оброблення деталей важкого машинобудування на сучасних верстатах з ЧПК. Керування режимами є реакцією технологічної системи на зовнішні збурення: зміна по робочій траєкторії інструменту діаметрів заготовки  $D_i$  та деталі  $d_i$ , глибини різання  $t_i$  й довжини оброблюваної ділянки контуру  $L_i$ , кутів в плані різця  $\phi, \phi_1$  та інших факторів. Знання навантаження на інструмент є основою для оптимізації режимів різання. Розроблено алгоритм і програму розподілу оброблюваного контуру, заданого опорними точками, на елементарні ділянки, для яких розраховуються глибини різання. У цьому дослідженні розглядається загальний випадок точіння заготовки довільного контуру (рис.1), радіус якого  $R = f_1(x)$  завдано поліномом 4 – го порядку. Радіус контуру деталі  $r = f_2(x)$  також описується поліномом 4 – го порядку. При цьому похибка апроксимації дискретно-заданих дискретно-заданих контурів не перевищує 2 %.

Для розв'язання задачі керування режимами методом редукування її до багатовимірної задачі нелінійного програмування необхідно замінити аналітично задані контури деталі й заготовки на їхні дискретні аналоги, допускаючи, що всередині кожної дискретної ділянки контуру вхідне навантаження ( $D_i, d_i, t_i, \phi, \phi_1$ ), залишається постійним. При цьому виникає завдання визначення практично прийнятної кількості ділянок  $u$ , на які поділяється кожен аналітично заданий контур.

Динаміка вхідних параметрів показана на рис. 2.

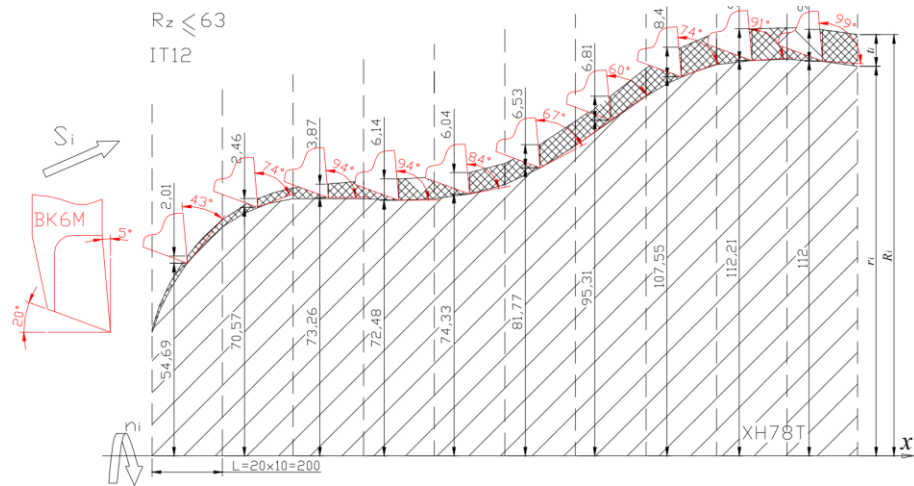


Рис. 1 Точіння вала зі змінним навантаженням на різальний інструмент

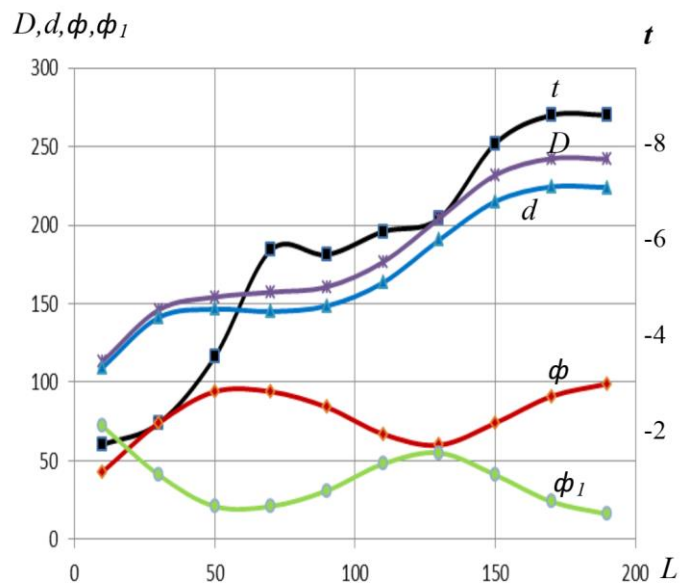


Рис. 2. Зміна вхідних параметрів по робочій траєкторії інструменту.

У разі апроксимації сполучених контурів заготовки і деталі поліномами 4-го порядку глибина різання для  $i$ -ї ділянки визначається виразом:

$$t_i = (A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2 + A_3 \cdot x^3 + A_4 \cdot x^4)_k - (a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4)_k,$$

де:  $A_k$  и  $a_k$  - коефіцієнти полінома відповідно для заготовки та деталі,  $k = 0 \dots 4$ .

Виконано аналіз оброблюваних контурів деталей і заготовок для розрахунку змінного навантаження, що діє на різальний інструмент на його робочій траєкторії. Розроблено залежності для розрахунку змінного навантаження на різальний інструмент для аналітично заданих контурів. Розкрито вплив ступеня дискретизації аналітично заданого контуру на якість оптимізації режимів різання за критерієм собівартості. Покращено алгоритм і розроблено програму розрахунку глибини різання по робочій траєкторії інструмента для аналітично заданих контурів деталі та заготовки. Отримані результати досліджень показали свою працездатність при оптимізації низки програмних операцій для підприємств важкого машинобудування.

## МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАЖКИХ ТОКАРНИХ І ГЛИБОКОРОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

**Ковальов В.Д., Коваленко А.В., Кметь І.А.**  
(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

При довгій експлуатації важких токарних верстатів з ЧПК для обробки деталей діаметром 800-6500 мм, довжиною 4000-32000 мм, масою 16-250 т (1К665Ф3х8000; 1К670Ф3; КЖ16Б60; 1Д655; 1М660.03; 1М665; 1М670; 1М675; 1Д655Ф3; 1К649Ф3; 1К650Ф3; 1К660Ф3; 1К665Ф3; 1А670Ф3; 1К675Ф3; КЖ16274Ф3; КЖ16275Ф3; КЖ16159Ф3; КЖ16165Ф2, виробництва ПрАТ «КЗВВ» м. Краматорськ), та глибокорозточувальних верстатів з ЧПК для свердління та розточування деталей діаметром 600-3400 мм, довжиною 1000-25000 мм, масою до 250 т (КЖ2850.410Ф1; КЖ 2880.301ПФ1; КЖ28100.400ПФ1; КЖ28160.600ПФ1, виробництва ПрАТ «КЗВВ» м. Краматорськ) виникає необхідність у збереженні та підвищенні точності обробки.

В процесі експлуатації важкого верстата відбувається поступове зниження точності обробки аж до втрати паспортних характеристик. В результаті зношування основних робочих поверхонь напрямних верстата, особливо у верстатів з довгими станинами та можливістю обробки деталей з великою масою, де на зниження точності також значною мірою впливають деформації та просідання фундаменту верстата.

При цьому, щоб усунути ці недоліки, як правило важкий верстат виводять з експлуатації на капітальний ремонт або модернізацію. Але це доцільно робити тільки коли зношування зазнають всі основні вузли верстата. А до цього моменту важкий верстат, що втратив паспортні показники точності, переводять в експлуатацію як черновий (тобто для швидкої грубої попередньої обробки – обдирки заготовок деталей).

Проміжним рішенням часткового повернення заданої точності напрямних станини важкого верстата є компенсація величини зносу підйомом зношеної ділянки станини, або опусканням випуклої ділянки станини відносно фундаменту шляхом регулювання клинових башмаків та анкерних болтів.

Мінусом цього рішення є більша трудомісткість процесу виставлення зношеної станини на фундаменті, порівняно з виставленням нової станини. А також неможливість повністю досягти паспортних геометричних характеристик (тільки локально зменшити відхилення від них).

Також спотворенню точності сприяють деформаційні, теплові та динамічні процеси, що виникають безпосередньо під час процесу обробки деталі на верстаті. Які викликають пружні деформації станин, вузлів та агрегатів важких верстатів, пружні деформації технологічного оснащення та інструменту. При обробці на важких токарних верстатах це деформації шпинделя, пінолі задньої бабки, різцетримача з різцем, прогин станини. При обробці на важких глибоко

розточувальних верстатах це значною мірою крутні деформації борштанг, які разом з прогином станини призводять до значних відхилень від осі деталі отвору, що розточується. В основі зазначених процесів лежать різні фізичні явища - пружні та контактні деформації, тертя, зношування, вимушені коливання, автоколивання, а також нерівномірність припуску та мікротвердості матеріалу оброблюваних заготовок від перерізу до перерізу. Вплив будь-яких факторів на точність обробки проявляється в кінцевому рахунку через розмірні верстатні зв'язки системи. Під дією цих факторів відбуваються зміни розмірів та відносних розташувань поверхонь. Таким чином, динамічне налаштування є етапом управління точністю обробки безпосередньо в умовах різання.

Підвищення ефективності важких токарних та глибокорозточувальних верстатів з ЧПК пов'язано з виникненням відхилень від заданої при статичному налаштуванні точності відносного положення та руху інструменту, баз верстата та оброблюваної деталі. Ці відхилення носять змінний характер і змінюються випадково або за певним законом в функції часу, у функції координат.

Таким чином, розміри деталей є функціями не тільки початкового встановлення та статичного налаштування, а й динамічного налаштування. Виходячи з цього, досягнення підвищення точності можливе за допомогою автоматичного керування в рамках початкового встановлення, статичного та динамічного налаштувань, тобто при адаптивному управлінні процесом різання.

При впровадженні адаптивного управління на важких токарних верстатах в процесі різання вимірюють параметри динамічного налаштування за допомогою датчиків сили різання, що встановлені в динамометричних різцетримачах, та крутного моменту на шпинделі, датчиків температури та вібрацій, датчиків деформацій та зсувів та ін.

При впровадженні адаптивного управління на важких глибокорозточувальних верстатах в процесі різання вимірюють параметри динамічного налаштування за допомогою датчиків крутного моменту на шпинделі, та датчиків крутного моменту на борштангах, і також датчиків вібрації, температури та деформацій.

Таким чином, якість (точність) обробки є керованим показником технологічного процесу, а досягнення якості – компонентом технологічного завдання системи ЧПК з адаптивним управлінням процесом обробки важких токарних та глибокорозточувальних верстатів.

#### **Література:**

1. Ратмиров, В.А. Программное управление станками / В. А. Ратмиров. – М. : Машиностроение, 1978.
2. Сосонкин, В.Л. Программное управление станками: учебник для машиностроительных вузов / под ред. В. Л. Сосонкина. – М. : Машиностроение, 1981.
3. Спиридонов, А.А., Федоров, В. Б. Металлорежущие станки с программным управлением / А. А. Спиридонов, В. Б. Федоров. – М.: Машиностроение, 1972.

## РОЛЬ СОЦІАЛЬНОЇ ПСИХОЛОГІЇ В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ

**Кондратенко О.О., Аненко Н.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Соціальна психологія в системі соціально-економічних відносин досліджує взаємозв'язки між психологічними процесами людей та соціально-економічною ситуацією. Вона вивчає, як соціальні чинники впливають на індивідуальне поведінку та як індивідуальні характеристики впливають на соціальні процеси у суспільстві. Такі дослідження допомагають краще розуміти, як економічні умови, культурні та історичні фактори впливають на міжособистісні взаємодії та розвиток суспільства в цілому.

Цілями дослідження є виявлення ролі, що відіграє соціальна психологія в публічному управлінні та задач, які вона вирішує в сучасних умовах.

Соціальна психологія грає важливу роль в публічному управлінні, оскільки вона допомагає розуміти психологічні аспекти у міжособистісних відносинах та процесах комунікації між державними службовцями, політиками та громадою. Знання соціальної психології допомагає в управлінні конфліктами, побудові ефективних комунікаційних стратегій, формуванні громадської думки та підтримці соціально активних ініціатив.

Задачі соціальної психології в публічному управлінні включають в себе:

- вивчення взаємодії між адміністраторами та громадянами: розуміння психологічних механізмів, які лежать в основі взаємодії між державними службовцями та громадянами для покращення комунікації та результативності управління;

- аналіз і підвищення ефективності комунікації: розробка стратегій спілкування, які сприяють побудові довіри між управлінцями та громадянами, підвищенню залучення громадськості до управлінських процесів і уникненню конфліктів;

- підвищення мотивації і залучення громадян до участі в громадських ініціативах: розуміння механізмів формування мотивації громадськості для активної участі в прийнятті рішень та впровадженні проектів в сфері публічного управління.

Соціальна психологія має важливе значення в органах державного управління. Вона допомагає розуміти психологічні аспекти у діяльності органів влади, сприяє вирішенню конфліктів, підвищенню ефективності комунікації між співробітниками та громадянами, а також сприяє взаємодії в рамках командної роботи [2].

На регіональному рівні використання соціальної психології може бути важливим для розв'язання різних соціальних проблем та вдосконалення взаємодії між громадськістю та органами влади. Ось деякі аспекти, де соціальна психологія може бути корисною на регіональному рівні:

- міжкультурне спілкування: допомога в управлінні міжетнічними конфліктами та побудові діалогу між різними культурними групами в регіоні;

– громадська участь: сприяння залученню громадян до процесів управління регіоном, підвищення їх участі та взаємодії з місцевими владними структурами;

– соціальна інклюзія: підтримка ініціатив та програм, спрямованих на включення всіх соціальних груп у розвиток регіону, незалежно від їхньої соціально-економічної позиції;

– психологічна підтримка: надання психологічної допомоги та підтримки мешканцям регіону під час кризових ситуацій або складних періодів.

Застосування соціальної психології на регіональному рівні може сприяти покращенню співпраці між різними соціальними групами, підвищенню якості управління та забезпеченню сталого соціального розвитку регіону.

Умови війни в Україні створюють складні ситуації, де соціальна психологія відіграє важливу роль у вирішенні різноманітних проблем та сприяє покращенню психологічного стану людей. Розглянемо практичне застосування соціальної психології в умовах війни в Україні:

– допомога у психологічному відновленні військових та цивільних осіб, які пережили воєнні події;

– розробка програм психологічної підтримки для дітей і підлітків, які пережили стресові ситуації внаслідок війни;

– організація тренінгів зі стресостійкості та психологічного захисту для військових, учасників воєнних дій та їх родин;

– розвиток програм з протидії травматичним наслідкам війни та психосоціальної реабілітації постраждалих.

Нині соціальні психологи, як і вся психологічна спільнота України, не лише готують відповідні практичні посібники та рекомендації, а й самі працюють на волонтерських засадах із постраждалими в зоні бойових дій, проводять виїзні консультації для поранених, телефонні консультування, індивідуальну та групову роботу із сім'ями загиблих, внутрішньо переміщеними особами та їхніми дітьми. Щодалі затребуванішими стають соціально-психологічні послуги і при вирішенні проблем суто мирного життя – у царинах управління, бізнесу, медицини тощо [1].

Ці приклади демонструють важливість соціальної психології у допомозі людям під час війни та покращенні їх психологічного та емоційного стану, сприяючи їхньому психологічному відновленню та адаптації до складних обставин.

Психологічні аспекти, такі як мотивація співробітників, прийняття рішень у стресових ситуаціях та вплив психології групи на прийняття управлінських рішень, важливі для успішного функціонування публічного управління. Тому врахування соціально-психологічних аспектів допомагає підвищити ефективність та якість діяльності в галузі публічного управління.

**Література:** 1. Соціальна психологія в Україні: довідник / за ред. М. М.Слюсаревського . К. : Талком, 2019. 324 с. 2. Сурякова М.В., Панфілова Г. Б., Склянська О. В. Соціальна психологія (з основами соціально-психологічного тренінгу): Навч. посібник [електронне видання]. Дніпро: Середняк Т. К., 2021. 150 с.

## СТВОРЕННЯ FEA-СИСТЕМ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ НА ОСНОВІ PYTHON, GMSH ТА CALCULIX

**Копей В. Б., Букатка Ю. С.**

*(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, Україна)*

Різьбове з'єднання є найрозповсюдженішим видом з'єднань у машинобудуванні. Проте чимало проблем їхньої якості залишаються невирішеними і досі [1, 2]. Ефективними засобами проектування, оптимізації та дослідження напружено-деформованого стану різьбових з'єднань є FEA-системи, основані на методі скінченних елементів. Використання таких комерційних систем обмежене їхньою високою вартістю. Проте відоме вільне програмне забезпечення, яке дозволяє створювати ефективні та гнучкі прикладні FEA-системи. Зокрема це генератор сітки Gmsh [3], що також здатний будувати геометричні моделі на основі геометричного ядра Open CASCADE Technology, скінченно-елементний розв'язувач Calculix [4] та мова програмування Python. За допомогою цього програмного забезпечення авторами розроблено простий шаблон-приклад вільної FEA-системи для моделювання напружено-деформованого стану різьбових з'єднань [5].

Головний Python-модуль main2.py [5] містить функції для створення сітки в Gmsh (mesh), перетворення вхідного файлу Abaqus у вхідний файл Calculix (elset2nset), створення остаточного вхідного файлу CalculiX (writeFinalINP) та запуску розв'язувача Calculix (runCCX). Першою викликається функція mesh, яка виконує Gmsh-скрипт в програмі Gmsh. Прикладом такого скрипту для створення геометричної моделі та сітки в форматі Abaqus є my.geo [5]. Нижче показано його частину для створення геометричної моделі з'єднання. Створюється прямокутна заготовка, в циклі створюються точки, лінії і поверхні вирізів. Останньою виконується булева операція вирізу.

```
SetFactory("OpenCASCADE");
Rectangle(1) = {0, 0.05, 0, 1, 1.8, 0};
p=0.0;
For t In {1:5}
    x=4*t;
    Point(1+x) = {0.5, 0.0+p, 0, 1.0};
    Point(2+x) = {0.4, 0.1+p, 0, 1.0};
    Point(3+x) = {0.6, 0.3+p, 0, 1.0};
    Point(4+x) = {0.7, 0.2+p, 0, 1.0};
    Line(1+x) = {1+x, 2+x};
    Line(2+x) = {2+x, 3+x};
    Line(3+x) = {3+x, 4+x};
    Line(4+x) = {4+x, 1+x};
    Curve Loop(1+t) = {1+x, 2+x, 3+x, 4+x};
    Plane Surface(1+t) = {1+t};
    p += 0.4;
EndFor
BooleanDifference{ Surface{1}; Delete; }{ Surface{2}; Surface{3};
Surface{4}; Surface{5}; Surface{6}; Delete; };
```

Створений файл `tu.inp` містить опис вузлів і елементів сітки (рис. 1а), проте є несумісним з Calculix. Розроблена авторами функція `elset2nset` конвертує його в формат Calculix. Далі викликається функція `writeFinalINP`, що додає у вхідний файл опис механічних характеристик матеріалів, граничних умов, навантажень та кроків навантажування. Отримуємо готовий вхідний файл `model.inp`, який можна передавати програмі-розв'язувачу `csx.exe`. Це робиться за допомогою функції `runCSX`. Результати зберігаються у файлах `model.frd` та `model.dat`. Перший можна відкрити за допомогою постпроцесора `csx.exe` для візуалізації результатів (рис. 1б). В другому текстовому файлі зберігаються компоненти напружень. Можна створити Python-функцію, яка читає цей файл, розраховує еквівалентне напруження та повертає його максимальне значення в конструкції або значення в конкретних елементах.

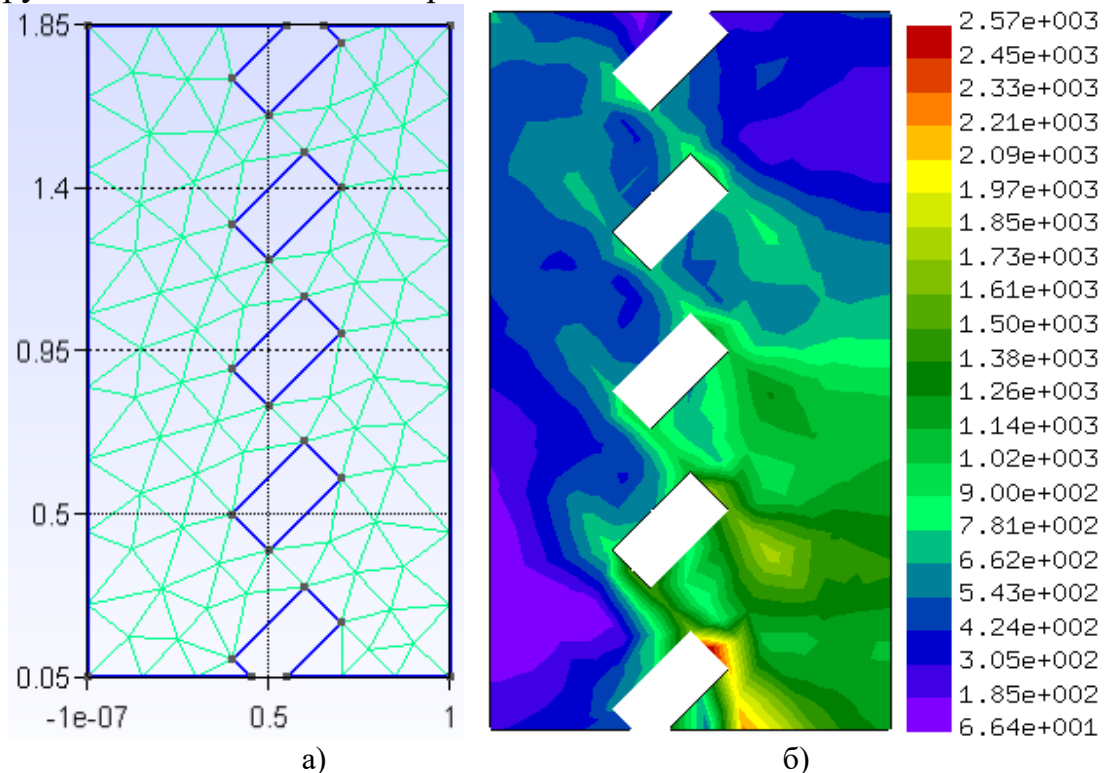


Рис. 1. Модель різбового з'єднання: сітка (а) і еквівалентні напруження, Па (б)

Розроблений шаблон можна легко модифікувати для іншого типу задач, удосконалити для моделювання різбових з'єднань іншого типу і розв'язування різноманітних оптимізаційних задач в автоматичному режимі.

#### Література:

1. Bickford J.H. An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints, 3rd ed.; Revised and Expanded; CRC Press: Taylor and Francis : Boca Raton, FL, USA, 2017. 992 p.
2. Fukuoka T. The Mechanics of Threaded Fasteners and Bolted Joints for Engineering and Design; Elsevier : Amsterdam, 2022. 382 p.
3. Geuzaine C., Remacle J.-F. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 79(11). 2009. P. 1309-1331.
4. Dhondt G. The Finite Element Method for Three-Dimensional Thermomechanical Applications; Wiley : Hoboken, NJ, USA, 2004. 355 p.
5. vkopey/ThreadsOCC. URL: <https://github.com/vkopey/ThreadsOCC> (accessed 26.05.24).



# РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАМКНУТИХ БАГАТОКУТНИХ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ЗА ДОПОМОГОЮ ВІБРОЗБУДНИКІВ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПУ

Корендій В.М., Паращин О.Я., Предко Р.Я.

(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Вібраційні технологічні машини є незамінними у багатьох сферах промисловості, таких як гірничодобувна, будівельна, харчова, хімічна, фармацевтична тощо [1]. Основними функціями вібраційних машин є сепарація, транспортування, змішування, очищення, просушування та механічна обробка матеріалів. Вібраційні сита і сепаратори, наприклад, широко застосовуються для класифікації та сортування сипких матеріалів за розміром часток [2]. Вібраційні конвеєри використовуються для ефективного переміщення сипкої, кускової і штучної продукції на виробничих і технологічних лініях, забезпечуючи її рівномірний розподіл і високі швидкості транспортування [3]. Вібраційні машини для обробки поверхонь виконують операції очищення, знежирення, просушування, полірування та зміцнення деталей [4]. Ці процеси є критичними для виробництва високоякісних деталей, що використовуються в автомобільній, авіаційній, медичній та інших галузях. Вібраційні ущільнювачі ґрунту і бетону забезпечують високу щільність і міцність будівельних конструкцій, що знижує ризик утворення порожнин і підвищує надійність цих конструкцій [5].

У залежності від конкретної технологічної операції, робочий орган вібраційної машини повинен здійснювати коливання за певною наперед визначеною траєкторією, наприклад, прямолінійною, коловою, еліптичною, багатокутною тощо [6]. Метою даної роботи є аналіз можливостей забезпечення саме багатокутної (трикутної, чотирикутної, шестикутної тощо) траєкторії робочого органу вібраційної технологічної машини за допомогою керованого інерційного віброзбудника планетарного типу.

Розглянемо одномасову коливальну систему вібраційної технологічної машини, робочий орган якої здатен здійснювати коливання у двох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 1). Система приводиться в рух під дією інерційних сил, що діють на незбалансоване тіло  $E$ , яке обертається навколо двох паралельних осей  $O$  та  $D$ . Ці сили виникають, коли сателіт (планетарна шестерня) знаходиться у зовнішньому зачепленні із сонячною шестернею, або у внутрішньому зачепленні із короною (епіциклом) (рис. 1). У розглянутих випадках відповідна сонячна шестерня або корона (епіцикл) закріплені на робочому органі, що коливається. Вал приводного двигуна розташований у шарнірі  $O$  та обертає водило  $OD$  за годинниковою стрілкою. Якщо розглядати симетричний віброзбудник планетарного типу, то відстань  $AO$  дорівнює радіусу ділильного кола  $R_1$  відповідного нерухомого зубчастого колеса. Якщо позначити радіус ділильного кола сателіта (планетарної шестерні) як  $R_2$ , то довжину  $l_{OD}$  водила  $OD$  можна визначити як  $l_{OD} = R_1 \pm R_2$ , де знак «плюс» використовується у випадку сонячної шестерні, закріпленої на робочому органі, а знак «мінус» застосовується, коли корона (епіцикл) закріплена на робочому органі. Маса останнього дорівнює  $m_1$ , тоді як  $m_2$ ,  $m_3$  позначають маси сателіта (планетарної

шестерні) та незбалансованого збурюючого тіла, жорстко приєднаного до сателіта на важелі довжиною  $l_{DE} = R_3$ , що відраховується від шарніра  $D$ .

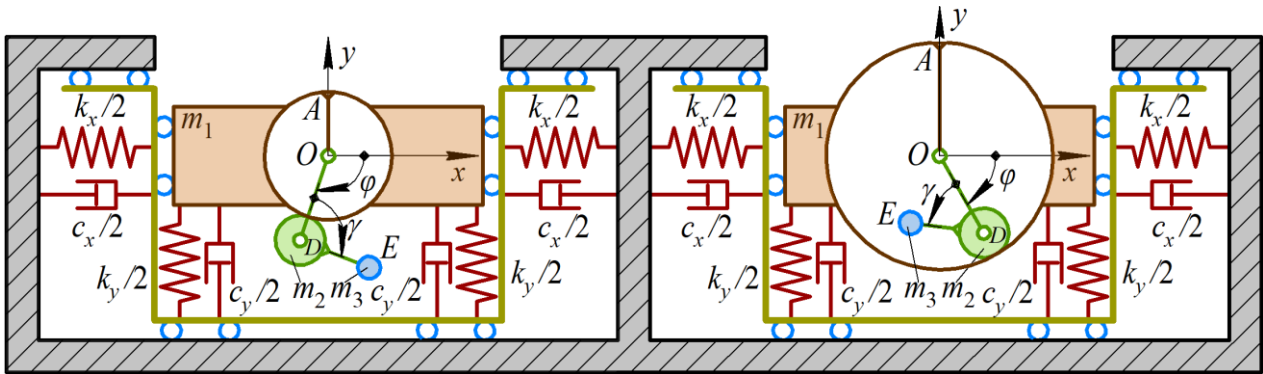


Рис. 1. Динамічні схеми одномасових коливальних систем вібраційних технологічних машин з вібробудниками планетарного типу

Робочий орган машини, що знаходиться у поступальному русі, утримується на нерухомій основі системою горизонтальних і вертикальних пружно-демпфувальних елементів, які характеризуються відповідними коефіцієнтами жорсткості та демпфування  $k_x, c_x, k_y, c_y$ . Якщо напрямок обертання водила  $OD$  описується кутом  $\varphi$ , який відкладається за годинниковою стрілкою, то напрямок обертання сателіта (планетарної шестерні) і збурюючого тіла  $E$  навколо шарніра  $D$  залежить від типу збудника: з приєднаною до робочого органу сонячною шестернею (тобто із зовнішнім зачепленням) або з приєднаною до робочого органу короною (епіциклом) (тобто із внутрішнім зачепленням). Відповідні напрямки обертання сателіта визначаються на рис. 1 кутом  $\gamma$ , який можна визначити за виразом:  $\gamma = \gamma_0 + \varphi \cdot R_1/R_2$ .

Розглядаючи кут  $\varphi$  як керований параметр, використаємо систему координат  $xOy$  для визначення положення шарніра  $O$  у вертикальній площині. При цьому вважаємо, що шарнір  $O$  збігається з центром ваги робочого органу, що коливається. Тому достатньо прийняти дві узагальнені координати  $x, y$ , щоб однозначно описати рух механічної коливальної системи вібраційної технологічної машини. Використовуючи рівняння Ейлера-Лагранжа, математична модель динаміки системи може бути отримана наступним чином:

$$\begin{aligned}
 & (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \ddot{x} + c_x \cdot \dot{x} + k_x \cdot x = (m_2 + m_3) \cdot (R_1 + k \cdot R_2) \times \\
 & \quad \times (\dot{\varphi}^2 \cdot \cos \varphi + \ddot{\varphi} \cdot \sin \varphi) - \frac{m_3 \cdot R_3 \cdot (k \cdot R_1 + R_2)}{R_2} \times \\
 & \quad \times \left( \frac{\dot{\varphi}^2 \cdot (k \cdot R_1 + R_2)}{R_2} \cos \left( \varphi + k \left( \gamma_0 + \frac{R_1}{R_2} \varphi \right) \right) + \ddot{\varphi} \cdot \sin \left( \varphi + k \left( \gamma_0 + \frac{R_1}{R_2} \varphi \right) \right) \right); \\
 & (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \ddot{y} + c_y \cdot \dot{y} + k_y \cdot y = (m_2 + m_3) \cdot (R_1 + k \cdot R_2) \times \\
 & \quad \times (\dot{\varphi}^2 \cdot \sin \varphi - \ddot{\varphi} \cdot \cos \varphi) + \frac{m_3 \cdot R_3 \cdot (k \cdot R_1 + R_2)}{R_2} \times \\
 & \quad \times \left( \frac{\dot{\varphi}^2 \cdot (k \cdot R_1 + R_2)}{R_2} \sin \left( \varphi + k \left( \gamma_0 + \frac{R_1}{R_2} \varphi \right) \right) - \ddot{\varphi} \cdot \cos \left( \varphi + k \left( \gamma_0 + \frac{R_1}{R_2} \varphi \right) \right) \right),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де  $k$  – коефіцієнт, що визначає тип планетарного зубчастого механізму:  $k = 1$  у випадку приєднаної до робочого органу сонячної шестерні (тобто в передачі з зовнішнім зачепленням);  $k = -1$ , коли приєднаною до робочого органу є корона (епіцикл) (тобто у випадку передачі з внутрішнім зачепленням).

Розглянемо випадок усталеного руху коливальної системи, оснащеної віброзбудником планетарного типу із зовнішнім зачеплення ( $k = 1$ ). Збурююча частота є постійною  $\omega = 157$  рад/с. Отже, рух водила здійснюється за законом:  $\varphi = \varphi_0 + \omega \cdot t$ . Для проведення чисельного моделювання прийемо наступні вхідні параметри:  $\varphi_0 = 0$ ,  $\gamma_0 = 3,14$ ,  $m_1 = 30$  кг,  $R_1 = 0,088$  м,  $R_3 = 0,04$  м,  $k_x = k_y = 3 \cdot 10^6$  Н/м,  $c_x = c_y = 100$  (Н · с)/м. Маса  $m_2$ ,  $m_3$  і радіус  $R_2$  розглянемо як керовані параметри, що визначають траєкторії руху робочого органу.

На рис. 2 побудовано траєкторії руху робочого органу при різних параметрах  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $R_2$ . Наприклад, трикутна траєкторія коливань отримана при  $m_2 = 0,8$  кг,  $m_3 = 0,03$  кг,  $R_2 = 0,088$  м (рис. 2(а)). Прямокутна траєкторія спостерігається при  $m_2 = 1,1$  кг,  $m_3 = 0,08$  кг,  $R_2 = 0,044$  м (рис. 2(б)). Шестикутна траєкторія має місце при  $m_2 = 1,3$  кг,  $m_3 = 0,04$  кг,  $R_2 = 0,022$  м (рис. 2(в)). Всі вони характеризуються найбільшими горизонтальними і вертикальними розмахами робочого органу на рівні близько 3 мм.

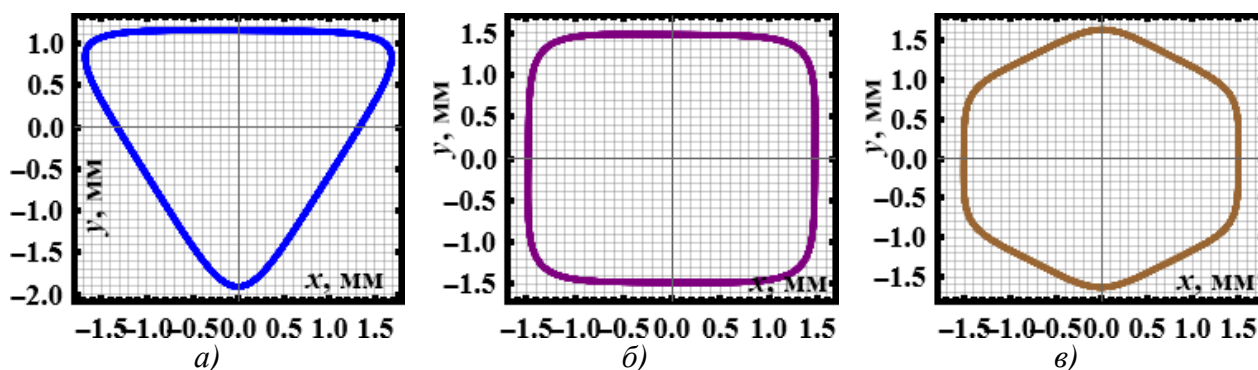


Рис. 2. Траєкторії руху робочого органу вібраційної технологічної машини за різних інерційних і геометричних параметрів віброзбудника планетарного типу

У підсумку доцільно зазначити, що запропонований віброзбуджувач планетарного типу може забезпечити різноманітні замкнуті багатокутні траєкторії робочих органів вібраційних технологічних машин, які можуть бути використані для виконання широкого кола технологічних операцій.

**Література:** 1. Korendiy V., Kachur O. Locomotion characteristics of a wheeled vibration-driven robot with an enhanced pantograph-type suspension // *Frontiers in Robotics and AI*. – 2023. – № 10. – pp. 1–13. 2. Korendiy V., Kachur O., Dmyterko P. Kinematic analysis of an oscillatory system of a shaking conveyor-separator. – *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. – № 1. – 2022. – pp. 592–601. 3. Korendiy V. et al. Modelling and experimental investigation of the vibratory conveyor operating conditions // *Vibroengineering Procedia*. – 2022. – № 47. – pp. 1–7. 4. Korendiy V. et al. Studying the dynamics of a vibratory finishing machine providing the single-sided lapping and polishing of flat surfaces // *Engineering Proceedings*. – 2022. – № 24. – pp. 1–6. 5. Korendiy V. et al. Kinematic and dynamic analysis of three-mass oscillatory system of vibro-impact plate compactor with crank excitation mechanism // *Vibroengineering Procedia*. – 2022. – № 40. – pp. 14–19. 6. Korendiy V. et al. Dynamic analysis of three-mass vibratory system with twin crank-slider excitation mechanism // *Vibrations in Physical Systems*. – 2023. – № 2 (34). – pp. 1–9.

# СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ НА БАЗІ ОДНОПЛАТНОГО КОМП'ЮТЕРА RASPBERRY PI

**Королюк Р.І., Булич І.В., Микитишин А.А.**  
(ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Основою більшості приводів для станків, виконавчих механізмів є асинхронні двигуни. Найбільш ефективне управління даними двигунами є керування на базі частотного перетворювача [1]. Для задання програми роботи частотного перетворювача можна використати одноплатний комп'ютер.

Метою роботи є розробка системи управління асинхронними двигунами на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi. Розроблена система лягла в основу навчального стенду, що складається з наступних елементів: пари гвинт-гайка (на яку крутний момент передається пасовою передачею від трифазного двигуна), асинхронного двигуна АІР80В4, частотного перетворювача Simphoenix 500, адаптера USB to RS485 та одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 4 [2].

На рис.1 зображена фотографія навчального стенду управління асинхронним двигуном.



Рис. 1 Фотографія навчального стенду управління асинхронним двигуном

Розроблений стенд використовується при підготовці за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегрованні технології та робототехніка.

## Література:

1. Р. Слободян, А. С. Васюра Методи та засоби управління виконавчими трифазними асинхронними двигунами, Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2017/paper/view/2289>.
2. M. Heimgartner, I. Pendharkar, Control engineering kit for power electronics with cloud connectivity, IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 17, 2022, Pages 43-48, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.311>.

# ВИКОРИСТАННЯ ОДНОПЛАТНОГО КОМП'ЮТЕРА RASPBERRY PI В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ

**Корольок Р.І., Булич І.В., Смолій О.В.**  
(ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

При автоматизації виробничих процесів на малих підприємствах та розробці систем керування для спеціалізованого і одиничного обладнання часто виникає проблема високої вартості систем керування, розроблених на базі контролерів відомих фірм, у порівнянні з вартістю обладнання виробничого процесу. Для вирішення цієї проблеми та розширення бази компетентностей студентів пропонується при підготовці спеціалістів з автоматизації включити в освітній процес вивчення систем керування на базі одноплатних комп'ютерів.

Метою роботи є розробка системи управління трифазним кроковим двигуном 86BYGH350C-14 з використанням драйвера 3ND2283 на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 4 [1, 2]. Для розробки програми керування роботою двигуна можна використати мову високого рівня Python.

На рис.1 зображена структурна схема управління кроковим двигуном на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 4.



Рис. 1 Структура управління кроковим двигуном

Розроблений стенд управління кроковим двигуном застосовується при вивченні наступних дисциплін: проектування прикладного програмного забезпечення для автоматизованих систем, основи керування електроприводом, програмування систем управління технологічним обладнанням та інших

## Література:

1. Sudha Ellison Mathe, Hari Kishan Kondaveeti, Suseela Vappangi, Sunny Dayal Vanambathina, Nandeesh Kumar Kumaravelu, A comprehensive review on applications of Raspberry Pi, Computer Science Review, Volume 52, 2024, 100636, ISSN 1574-0137, <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2024.100636>.
2. M. Heimgartner, I. Pendharkar, Control engineering kit for power electronics with cloud connectivity, IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 17, 2022, Pages 43-48, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.311>.

# МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РАДІАЛЬНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ФЛАНЦІВ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ

Косарєв В.С., Фоменко А.В., Олійник Д.С.  
(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Видавлювання порожнистих деталей у холодному об'ємному штампуванні є важливою технологією в сучасній виробничій промисловості. Цей процес дозволяє отримати складні вироби зі зниженою вагою та збереженням високої міцності.

Метою даної роботи є дослідження процесу радіального видавлювання фланців порожнистих виробів. Основними завданнями є визначення оптимальних параметрів штампування, а також розробка рекомендацій щодо покращення процесу виготовлення деталі [1]. Дослідження буде проведене у програмі DEFORM 2D/3D. Обрані наступні параметри для моделювання процесу  $L_z$  – висота заготовки ( $L_z=109$  мм),  $R_0$  – зовнішній радіус заготовки ( $R_0=25$ мм),  $R_1$  – внутрішній радіус заготовки ( $R_1=10$ мм),  $R$  – радіус фланця ( $R=60$ мм),  $t = R_0 - R_1$ ,  $r$  – радіус заокруглення кромки інструменту ( $r=2$ мм),  $L_d$  – висота деталі ( $L_d=65$ мм),  $h$  – висота приймальної порожнини для видавлювання фланця ( $h=20$  мм). Силкові параметри процесу:  $P$  – сила видавлювання процесу,  $V$  – швидкість процесу видавлювання (рис 1). Був узятий матеріал 1070А (алюмінієвий сплав).

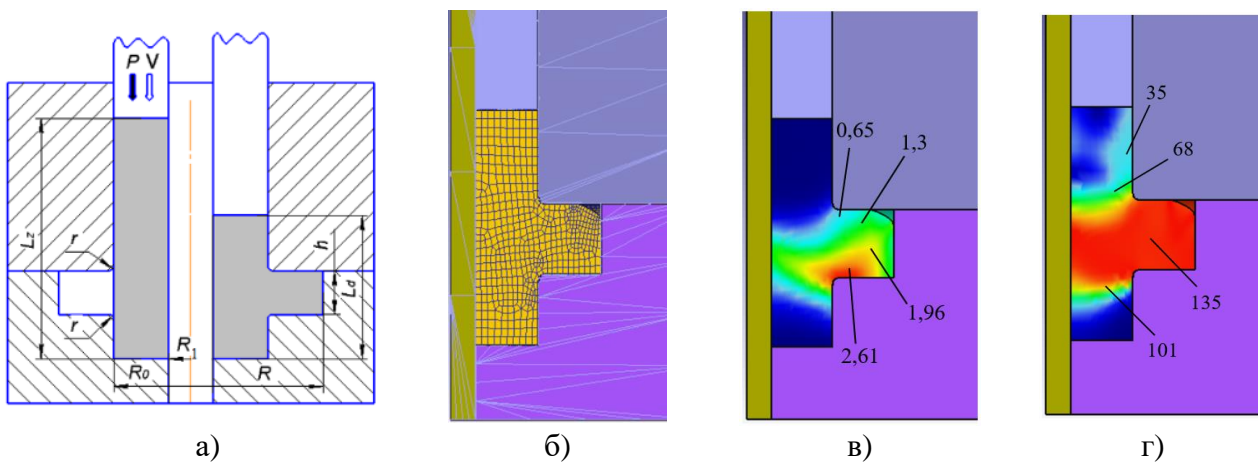


Рис. 1. Схема процесу радіального видавлювання фланця (а), викривлення діляльної сітки (б), розподіл інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  (в), розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$ , МПа (г)

Як видно з рис. 1, можна спостерігати, що найбільша інтенсивність деформації зосереджена в області біля заокруглення у матриці і має значення  $\epsilon_i = 2,61$ . Додатково, розподіл інтенсивності напружень також показаний на цьому рисунку, де максимальне значення становить  $\sigma_i = 135$  МПа.

## Література:

1. Абхарі П. Б. Аналіз напруженого стану порожнистих деталей в процесі зворотно-радіального видавлювання / Абхарі П. Б., Малій Х. В., Кузенко О. А. // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2019. – No 2 (49). –С. 123–127.

## СПОСІБ ФОРМУВАННЯ МІКРОРЕЛЬЄФІВ НА БІЧНИХ ПОВЕРХНЯХ АРХІМЕДОВИХ ЧЕРВ'ЯКІВ

**Крупа В.В., Захарій А.В.**

*(ТНТУ ім. Іван Пулюя, м. Тернопіль, Україна)*

Черв'ячні передачі широко використовуються у машинобудуванні, наприклад в редукторах чи приводах подач металорізальних верстатів. Головною їхньою перевагою є забезпечення великого передатного відношення (до 80) з мінімальними габаритами, безшумність, точність переміщень а також передачі крутного моменту під кутом [1]. Це зумовило їх масове використання та розвиток технологій їх виготовлення [2]. Проте у них є ряд недоліків, до яких можна віднести: порівняно низький ККД, значне виділення теплоти в зоні зачеплення та підвищене зношування.

Однією із головних причиною недоліків передачі є тертя ковзання у парі черв'як-черв'ячне колесо. Коефіцієнт корисної дії черв'ячної пари визначиться із відомої [2] залежності:

$$\eta = \frac{tg\gamma}{tg(\gamma + \varphi)}$$

де  $\gamma$  – кут підйому гвинтової лінії черв'яка

$\varphi$  – приведений кут тертя

$$tg\varphi = f$$

де  $f$  – приведений коефіцієнт тертя пари черв'як-колесо.

Для однозахідної передачі ККД становить 0,7-0,75 [2]. Для його підвищення є два способи: збільшити кут підйому гвинтової лінії, що зумовлює збільшення габаритів, або зменшити коефіцієнт тертя.

Для зменшення коефіцієнту тертя при виготовленні черв'ячних коліс використовують дорогі антифрикційні матеріали.

Одним із можливих способів вирішення завдання зменшення коефіцієнту тертя є нанесення мікрорельєфу на бокову поверхню черв'яка, що підвищить маслоємність його поверхні і зменшить коефіцієнт тертя, що підтверджується дослідженнями на інших поверхнях [3-5].

Суть способу зводиться до нанесення мікрорельєфів на бічну поверхню черв'яка методом поверхневого пластичного деформування. Даний спосіб подано на рис. 1.

Для застосування способу використовують дисковий інструмент 1, з профілем зубів, який відповідає профілю впадин черв'яка 2. На бічних поверхнях зубів інструменту розміщені кульки 3 з різними радіальними та однаковими вильотами за бокову поверхню зуба  $\delta$ . Кульки на зубах розміщені по архімедовій спіралі, крок якої  $a$  відповідає висоті профілю оброблюваного черв'яка.

Максимальний виліт кульки за бокову поверхню зуба визначається за формулою:

$$\delta = R_{max} + \mu ,$$

де  $R_{max}$  – параметр шорсткості бічної поверхні черв'яка;  
 $\mu$  - величина відпружинювання матеріалу черв'яка при пластичній деформації.

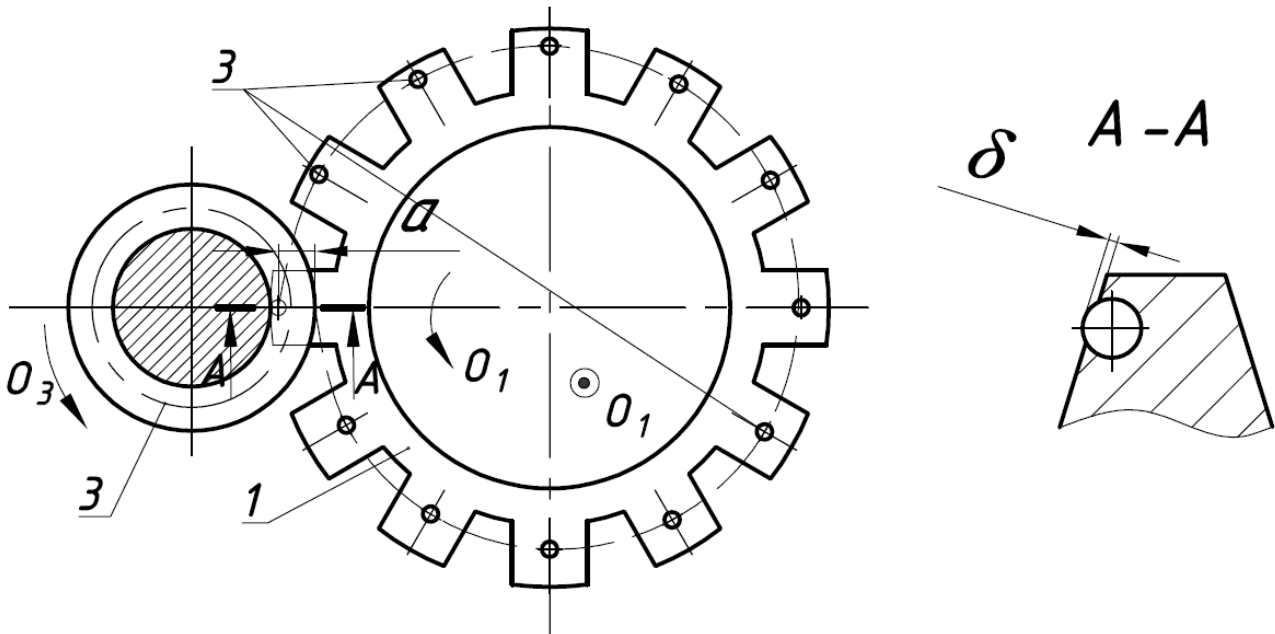


Рис. 1. Схема способу

При обробці застосовується 2 рухи : головний рух  $\Phi_v(O_1)$  та складний рух подачі  $\Phi_s(\Pi_2; O_3)$ . (рис. 1). Комбінацією швидкостей рухів формуються канавки на бічних поверхнях черв'яків глибиною, не більшою, ніж шорсткість обробленої поверхні.

Використання даного способу дозволить сформувати на бічних поверхнях архімедових черв'яків систему канавок (на рівні шорсткості обробленої поверхні), значно підвищити маслоємність поверхонь та знизити коефіцієнт тертя пари черв'як-черв'ячне колесо.

#### Література:

1. Чернишова Д.С., Аналіз сучасних методів обробки циліндричних черв'ячних поверхонь валів, Молода наука – роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, Краматорськ : ДДМА, 2019. С. 190-194.
2. Павлице ВТ Основи конструювання та розрахунок деталей машин, Львів: Афіша, 2003. 558 с.
3. Дзюра В.О. Наукові основи забезпечення параметрів якості робочих поверхонь тіл обертання технологічними методами: Дис... докт. техн. наук: 05.02.08. – Львів, 2021, 412 с.
4. Киричок Т. Ю. Олійник В. Г. Керування технологічними процесами оздоблювально-зміцнюючої обробки деталей поліграфічного обладнання, Технологія і техніка друкарства НТУУ «КПІ». 2007. № 3–4. С. 74–80.
5. Кусий Я.М. Технологічне забезпечення фізико-механічних параметрів поверхневих шарів металевих довгомірних циліндричних деталей 358 вібраційно-відцентровим зміцненням: Дис... канд. техн. наук: 05.02.08. – Львів, 2002. – 260 с.



## СУЧАСНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ

**Кузнєцов Ю.М.**

*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна)*

Раніше для відновлення зношених великогабаритних деталей типу зубчастих коліс, валів, лопаток турбін та інших вимагало розборку, завантаження на транспортний засіб і перевезення на підприємство важкого машинобудування з відповідним обладнанням, наплавлення на зношені ділянки металу, відвантаження і перевезення до місця збірки, збірка і перевірка працездатності. Все це вимагає багато часу і матеріальних витрат, а також залучення великої кількості працівників.

Найбільш розповсюдженими методами відновлення, які пропонує ІЕЗ ім. Є.О. Патона [4], є електродугове зварювання і наплавлення; електрогазозварювання габаритних виробів великої товщини; автоматичне дугове наплавлення; електрошлакове наплавлення чавунних прокатних валків, деталей і корпусів штампів і ковальсько-пресового устаткування. Для виготовлення великогабаритних деталей потрібно також великогабаритне обладнання, спеціальні інструменти і технологічне оснащення [3].

Сьогодні використовуються сучасні методи відновлення, а саме адитивні технології [1], а для відновлення без розбірки обладнання мініроботи (павучки), що побудовані на основі механізмів паралельної структури [2] і оснащені різними робочими органами-інструментами.

### **Література:**

1. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования: Монография /Под ред. Л.Л.Таважнянского, А.И.Грабченко.-Харьков: ОАО «Модель Вселенной», 2002. – 140 с.
2. Кузнєцов Ю.М., Дмитрієв Д.О., Діневич Г.Ю. Компонувки верстатів з механізмами паралельної структури /Під ред. Ю.М.Кузнєцова.-Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009.- 456 с.
3. Пуховський Є.С., Приходько В.П., Гладський М.М. Оброблення великогабаритних деталей гідро-пресового та гірничного обладнання //Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія “Механізація та автоматизація виробничих процесів”, вип.1(51), 2023.-с.66-74.
4. <http://dzse.com.ua/uk/service/remont-i-vidnovlennya-tekhniki>

## ПОРІВНЯННЯ АГЛОДОМЕННОГО ПЕРЕДІЛУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗА MIDREX H2 У КОНТЕКСТІ ПЕРЕХОДУ ДО ЗЕЛЕНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

Кухар В.В., Тимошенко Д.О.

(ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя, Україна)

В умовах сучасної металургії перехід на екологічно чисті технології стає все більш актуальним, що дає вектор розвитку підприємствам-виробникам металургійного устаткування на проектування та виготовлення обладнання для зеленої металургії. Однією з ключових задач металургії є зниження викидів парникових газів та зменшення споживання енергії. У цьому контексті важливо порівняти традиційну технологію аглодоменного виробництва з перспективною «зеленою» технологією прямого відновлення заліза Midrex H2.

Аглодоменний переділ – це традиційний метод виробництва чавуну, який включає два основних етапи:

I. Підготовка шихти полягає у агломерації залізорудної сировини для покращення її фізико-хімічних властивостей.

II. Виплавка чавуну це процес, що проходить у доменній печі:

1) при температурі понад 2000 °С, з використанням коксу як відновника.

2) основними екологічними проблемами аглодоменного переділу є:

а) високі викиди CO<sub>2</sub> – значна частина парникових газів утворюється в процесі спалювання коксу.

б) забруднення повітря – викиди пилу, оксидів сірки та інших шкідливих речовин.

в) високе енергоспоживання – процес потребує великої кількості енергії для підтримки високих температур [1].

Чорна металургія є значимим промисловим джерелом викидів газу CO<sub>2</sub> у атмосферу через енергоємність металургійного виробництва, залежність його від вуглецевого та вуглеводного палива і відновників, а також великих обсягів виробництва [2]. При цьому, доменна піч разом з повітрянагрівачами є найбільшим джерелом викидів вуглекислого газу з-поміж усіх агрегатів металургійного заводу [2, 3]. При виробництві 1 т рідкого чавуну утворюється 1–1,5 т CO<sub>2</sub>, при цьому менше половини цієї кількості утворюється безпосередньо в доменній печі і виходить з неї у складі колошникового газу (містить 17–25 % CO<sub>2</sub> і 20–30 % CO). Решта утворюється при спалюванні колошникового газу у повітрянагрівачах [2]. Однак, існують певні резерви для зниження викидів CO<sub>2</sub> доменними печами і повітрянагрівачами шляхом поліпшення якості сировини, технології та обладнання, що зменшує витрати палива на одиницю продукції [2].

Окрім власне доменної печі і допоміжних об'єктів доменного цеху забруднювачами навколишнього середовища є також інші підприємства, що є

ланками доменного виробництва — фабрики грудкування і коксохімічні заводи, причому з-поміж них аглофабрики за забрудненням посідають перше місце [3].

Ці викиди спричиняють кислотні дощі, погіршують якість повітря, негативно впливають на здоров'я людей і екосистеми.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця викидів

Викиди при використанні аглодеменного виробництва + Мартен	Викиди при застосуванні технології Midrex H2 + ДСП
2430 кг/т	613 кг/т

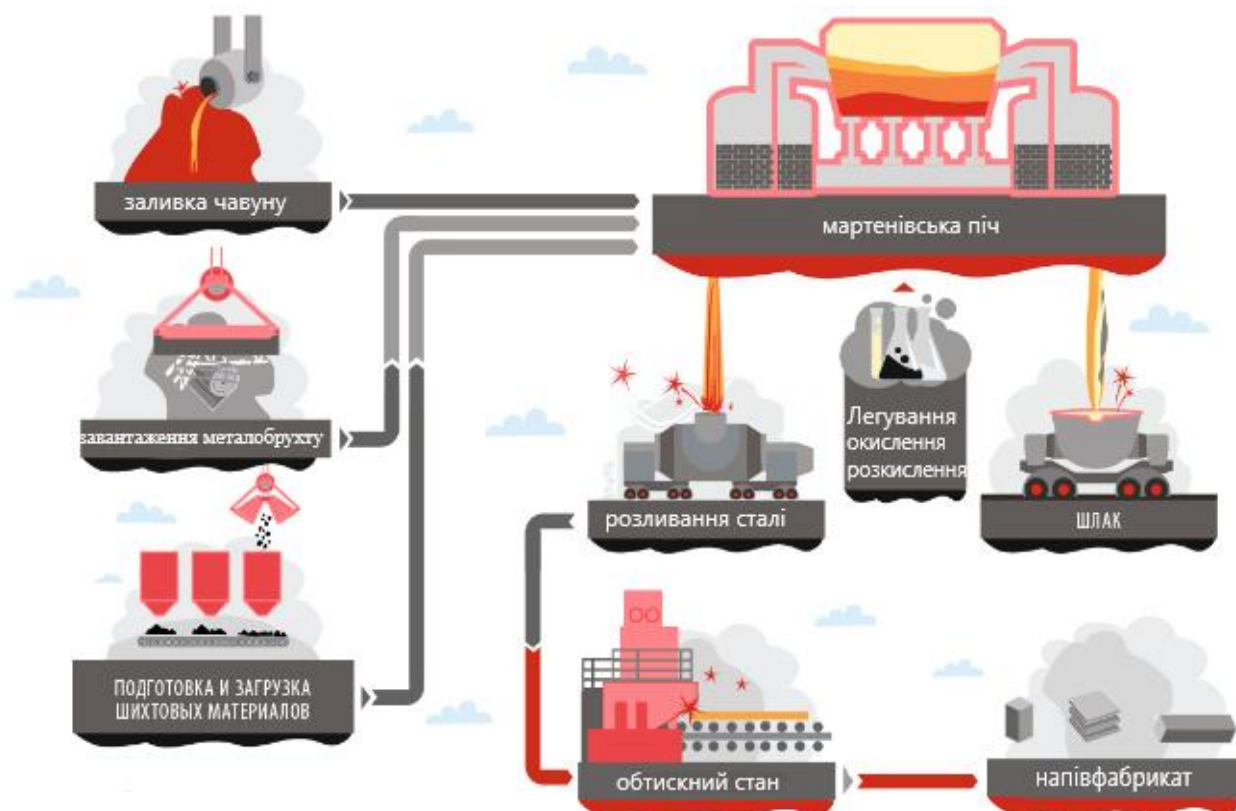


Рис. 1. Схема мартенівського виробництва сталі [5]

Технологія Midrex H2 є однією з найсучасніших у сфері зеленої металургії. Вона заснована на прямому відновленні заліза з використанням водню як відновника замість коксу. Основні етапи технології Midrex H2 [4]:

- а) підготовка залізорудної сировини: збагачення та гранулювання руди.
- б) пряме відновлення заліза: відновлення руди у спеціальних реакторах при температурах 800-1000 °С з використанням водню.

Переваги технології Midrex H2:

а) низькі викиди CO<sub>2</sub>: використання водню замість коксу значно знижує викиди парникових газів [3].

б) чистіший процес: відсутність викидів оксидів сірки та зниження забруднення повітря.

в) енергоефективність: нижчі температури процесу та використання відновлюваних джерел енергії для виробництва водню.

г) поліпшення якості металу: водень забезпечує кращу якість металу завдяки зменшенню домішок і покращенню властивостей готового продукту.

д) стабільність процесу: використання водню дозволяє досягти більш чіткої умови виробництва, що сприяє підвищенню продуктивності.

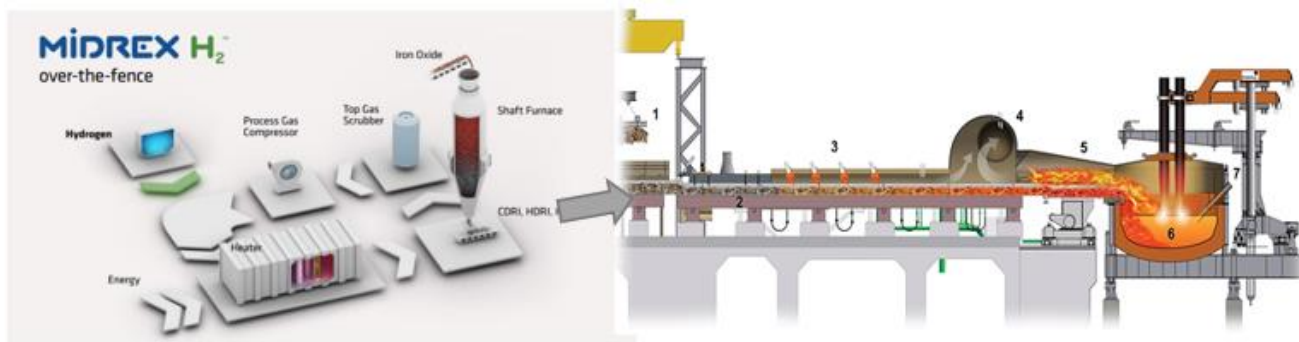


Рис. 2. Процес Midrex H2 [4] + ДСП [6]

**Висновок.** Порівняння аглодоменного переділу та технології Midrex H2 показує явні переваги останньої в контексті переходу металургії на зелені технології з низьким вуглецевим слідом. Використання водню як відновника дозволяє значно знизити екологічний вплив виробництва, що відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки та сталого розвитку.

Впровадження технології Midrex H2 потребує значних інвестицій у модернізацію виробничих потужностей та розвиток інфраструктури для виробництва та транспортування водню. Проте, ці інвестиції є виправданими, враховуючи довгострокові екологічні та економічні вигоди.

Таким чином, перехід від традиційного аглодоменного переділу до технології прямого відновлення заліза Midrex H2 є ключовим кроком на шляху до зеленої металургії. Це дозволить знизити викиди парникових газів, покращити якість повітря та підвищити енергоефективність виробництва, забезпечуючи відповідність сучасним екологічним стандартам та вимогам сталого розвитку.

**Література:** 1. Доменна Піч. *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Доменна\\_піч](https://uk.wikipedia.org/wiki/Доменна_піч) (дата звернення: 14.05.2024). 2. Carpenter A. CO2 abatement in the iron and steel industry. USA : IEA CLEAN COAL CENTRE, 2012. 119 с. URL: [https://usea.org/sites/default/files/012012\\_CO2%20abatement%20in%20the%20iron%20and%20steel%20industry\\_ccc193.pdf](https://usea.org/sites/default/files/012012_CO2%20abatement%20in%20the%20iron%20and%20steel%20industry_ccc193.pdf) (дата звернення: 18.05.2024). 3. The industrial ecology of steel / T. J. Considine etc. Office of Scientific and Technical Information (OSTI), 2001. URL: <https://doi.org/10.2172/810269> (дата звернення: 21.05.2024). 4. Midrex H2™. The MIDREX® plant is extremely flexible and can accommodate the initial transitions from a carbon to a hydrogen economy. *midrex.com*. URL: <https://www.midrex.com/technology/midrex-process/midrex-h2/> (дата звернення: 18.05.2024). 5. Metinvest.Media. "КАК ЗАКАЛЯЕТСЯ СТАЛЬ". ПРОИЗВОДСТВО. СТАЛИ. МАРТЕН. *metinvest.media*. URL: <https://metinvest.media/ru/page/proizvodstvo-stali-marten>. 6. ISUNSTEEL. EAF steelmaking electric arc furnace 50 tons continuous charging. *isunsteel.com*. URL: <https://www.isunsteel.com/sale-27230688-eaf-steelmaking-electric-arc-furnace-50-tons-continuous-charging.html> (дата звернення: 21.05.2024).

## СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ГАЛУЗІ ЗМІЦНЕННЯ КОМПОЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ КОНЦЕНТРАТОРІВ НАПРУЖЕНЬ

**Лампіцький О.С.**

*(НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)*

Сучасні технології виробництва та надійність конструкцій вимагають постійного вдосконалення методів зміцнення композитних матеріалів з урахуванням концентраторів напружень. Питання підвищення міцності та тривалості таких конструкцій у вимогливих умовах експлуатації визначає основні напрямки сучасних досліджень у цій галузі.

Вивчення механізмів руйнування: дослідження спрямовані на розуміння процесів появи та поширення тріщин в композитних матеріалах з урахуванням концентраторів напружень. Це включає аналіз впливу геометрії та розташування концентраторів напружень на міцність конструкцій.

Розробка нових методів зміцнення: дослідження спрямовані на створення нових технологій та матеріалів, які забезпечують ефективне зміцнення зони концентраторів напружень. Це можуть бути методи локального підсилення, застосування спеціальних композитних матеріалів або модифікація структури матеріалу.

Вплив різних факторів на міцність: дослідження вивчають вплив різних факторів, таких як температура, вологість або хімічні середовища, на міцність композитних конструкцій з концентраторами напружень.

Моделювання та чисельні методи: використання комп'ютерного моделювання та чисельних методів дозволяє вивчити поведінку композитних конструкцій з урахуванням концентраторів напружень під різними умовами навантаження та середовища.

Експериментальні дослідження: проведення експериментальних випробувань з метою підтвердження та перевірки результатів моделювання та теоретичних розрахунків.

Усі ці напрямки досліджень спрямовані на розробку нових технологій та методів, що сприятимуть підвищенню міцності та тривалості композитних конструкцій у різних умовах експлуатації.

Аналіз механізмів утворення та розповсюдження напружень у зоні концентраторів напружень у композитних матеріалах є ключовим етапом у дослідженні зміцнення таких конструкцій. Детальне вивчення цих процесів дозволяє краще розуміти механізми руйнування та розробляти ефективні методи зміцнення. Нижче розглянемо кілька аспектів цього аналізу: формування концентраторів напружень: у композитних матеріалах концентратори напружень можуть утворюватися через різні механічні або термічні впливи, такі як отвори, тріщини, гострі кути, або зміна товщини. Аналіз цих процесів дозволяє розуміти,

які фактори сприяють формуванню концентраторів та їх геометричним характеристикам.

**Концентрація напружень:** У зоні концентраторів напружень відбувається концентрація напружень, що може призводити до місцевого підвищення напруження та появи тріщин. Аналіз механізмів цієї концентрації дозволяє прогнозувати руйнування та визначати оптимальні шляхи зміцнення.

**Поширення тріщин:** Розуміння механізмів поширення тріщин у зоні концентраторів є важливим для визначення міцності конструкції. Аналізується вплив різних чинників, таких як напруження, напрямок навантаження, та властивості матеріалу на процес поширення тріщин.

**Взаємодія фаз:** У композитних матеріалах можуть бути різні фази, такі як матриця та армуючі волокна. Аналіз механізмів утворення та розповсюдження напружень у зоні концентраторів з урахуванням взаємодії цих фаз допомагає зрозуміти, як ця взаємодія впливає на міцність та тріщиностійкість матеріалу.

Зміцнення композитних елементів конструкцій у зонах концентраторів напружень є важливим завданням і може бути досягнуте за допомогою різноманітних методів та технологій. Ось деякі з них:

**Удосконалення дизайну конструкцій:** Один з ефективних підходів - це врахування концентраторів напружень в процесі проектування. Застосування оптимальних форм та геометрій дозволяє зменшити напруження в цих зонах та підвищити міцність конструкцій.

**Використання армуючих вставок:** Вставки з армуючих матеріалів, таких як карбонові або скловолоконні волокна, можуть бути використані для підвищення міцності в зонах концентрації напружень. Вони можуть бути розташовані в окремих шарах або вбудовані безпосередньо в матрицю.

**Застосування комбінованих матеріалів:** Комбінація різних видів композитних матеріалів у конструкції може підвищити її міцність та тріщиностійкість в умовах концентраторів напружень. Наприклад, комбінація скловолокон та карбонового волокна може забезпечити оптимальний баланс міцності та вагою.

**Використання додаткових підкладок та армування:** Додаткові підкладки або армування у зонах концентрації напружень можуть допомогти розподілити навантаження та зменшити ризик появи тріщин. Наприклад, розташування волокон під кутом до напрямку навантаження може підвищити міцність в цих зонах.

**Використання напрямленого армування:** Використання напрямленого армування в зонах концентрації напружень дозволяє підсилити матеріал у напрямку основного навантаження, що забезпечує кращу міцність та тріщиностійкість.

Ці методи та технології зміцнення композитних конструкцій з концентраторами напружень можуть бути успішно застосовані в різних галузях, включаючи авіаційну, автомобільну та будівельну промисловість, забезпечуючи підвищену міцність та тривалість експлуатації таких конструкцій.

## ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГАЙКОНАРИЗНОГО АВТОМАТА

**Латинін І.В., Люта А.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Вимоги до продуктивності, точності, надійності верстатів і висока якість продукції досягається завдяки великому накопиченому досвіду, постійному вдосконаленню конструкції верстатів, а також застосуванням сучасних методів конструкторської розробки і передової технології їх виготовлення [1,2].

Тому підвищення ефективності функціонування гайконарізного автомата моделі TOP-CUT 33 D шляхом дослідження та розробки системи керування механізмом завантаження заготовок є актуальним завданням [3].

Для вирішення поставленого завдання в роботі зроблено вибір оптимального типу завантаження гайконарізного автомата моделі TOP-CUT 33D, розрахунок завантажувального пристрою для нього та зроблена відповідна модернізація його системи управління.

Базова комплектація гайконарізного автомата моделі TOP-CUT 33 D не передбачає будь-якого завантажувального пристрою.

При масовому використанні верстатів даного типу використовується завантаження краном з магнітною плитою. Спочатку передбачалося встановити даний верстат безпосередньо біля гайкоковочного пресу і робити завантаження вручну невеликими порціями, аналогічно завантаженню гайконарізних автоматів типу МН, що становлять основу парку гайконарізних автоматів підприємства. Однак значна вібрація, що виникає при роботі пресів, а також несприятливий мікроклімат пресового відділення, могли негативно позначитися на точності і надійності автомата.

Прийнято рішення встановити верстат на експериментальній ділянці, де вищевказані несприятливі умови були зведені до мінімуму. В цьому випадку застосування існуючого завантажувального пристрою показав, що він має ряд недоліків:

- наявність рухомих деталей приводу, що призводить до їх інтенсивного зносу;
- відсутній контроль ваги завантажувальних заготовок;
- потрібне постійне обслуговування завантажувального пристрою працівником ділянки;
- відсутній апаратний контроль наявності заготовок в приймальному бункері, потрібний візуальний контроль;
- зона завантаження не огорожена; має місце розсипання заготовок при завантаженні.

Отже, у процесі аналізу роботи гайконарізного автомата моделі TOP-CUT 33 D з'ясувалося, що нестабільним і недопрацьованим є технологічний процес завантаження накопичувального бункера заготовками.

Тому модернізація або доопрацювання існуючого устрою завантаження не усуває виявлені недоліки. Це, в свою чергу, вимагає застосування іншого виду завантаження.

Таким варіантом може бути, наприклад, вібробункерний завантажувальний пристрій із скіповим підйомником типу LTD фірми SKAKO Vibration, що рекомендований для наповнення заготовками застосованого вібраційного бункерного живильника типу FVE.

Висоту скіпового підйомника і підставки для накопичувального бункерного пристрою, а також інші параметри завантажувального пристрою визначають виходячи з висоти гайконарізного автомата, загальної маси заготовок та його продуктивності.

Сполучення обраного скіпового підйомника, накопичувального бункерного пристрою і гайконарізного автомата показано на рис. 1.

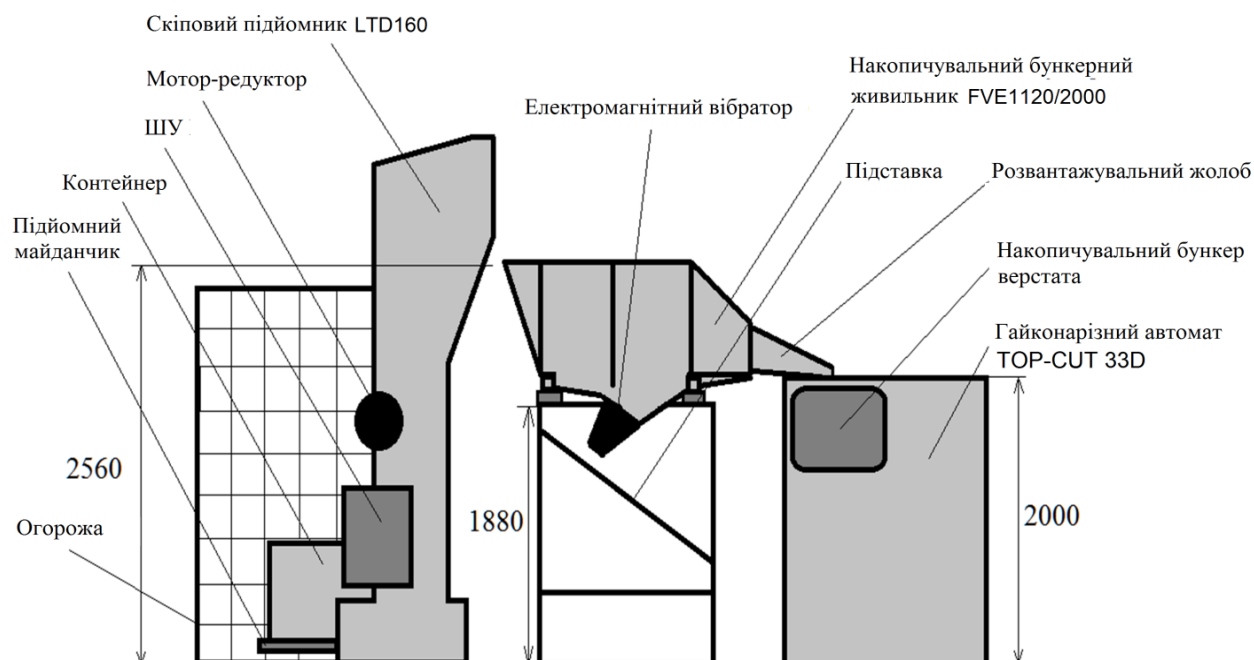


Рис. 1. Сполучення скіпового підйомника, накопичувального бункерного пристрою і гайконарізного автомата

Отже, підвищення продуктивності, точності, надійності гайконарізного автомату і висока якість продукції досягається завдяки вибору оптимального типу завантаження. Для цього виконано проектування завантажувального пристрою гайконарізного автомата моделі TOP-CUT 33 D та розробка його системи керування для підвищення ефективності його функціонування. Також розроблено методику розрахунку завантажувального пристрою.

**Література:** 1. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. Кіровоград: КНТУ, 2010. - 392с.; 2. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. -357с.; 3. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер; під заг.ред. Л.І. Цвіркуна; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224с.



## ВИКОРИСТАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ МОДУЛІВ ТРИКУТНОЇ ФОРМИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ШТАМПУВАННЯ

<sup>1</sup>Левченко В.М., <sup>2</sup>Алієва Л.І., <sup>3</sup>Тітов А.В., <sup>2</sup>Марков О.Є., <sup>2</sup>Абхарі П.  
(<sup>1</sup>ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна; <sup>2</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна; <sup>3</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна)

В останні роки перевагам та проблемам використання штампів з роз'ємними матрицями присвячена увага дослідників. Основною вимогою при створенні таких пристроїв є забезпечення жорсткого замикання складової матриці при робочому ході і легкого розмикання при знятті навантажень. Вузли затиску (замикання) повинні подолати сили, що спрямовані на розкриття складової матриці і виконувати функції затиснення напівматриць, що утворюють при змиканні робочу приймальну порожнину [1].

Основне обмеження досліджень способів поперечного та комбінованого поперечно-подовжнього видавлювання в тому, що аналіз силового режиму процесів проводиться без вивчення сил розкриття роз'ємних матриць, в яких реалізуються ці способи. Особливо враховуючи те, що геометрія інструменту та умови тертя відіграють важливу роль в формуванні силового режиму та саме в рівні зусиль розкриття роз'ємних матриць [2].

Для аналізу силових та деформаційних режимів і отримання розрахункових формул, необхідних для оперативних проектних розрахунків частіше використовують енергетичні методи верхньої оцінки [3, 4]. При цьому, побудовою осесиметричних кінематично можливих полів швидкостей різної конфігурації (кінематичних модулів), можна отримати розрахункові залежності для основних параметрів процесу. Ці рішення враховують особливості конструкції деталі і кінематику деформування, однак внаслідок складності кінематичних модулів розрахункові вирази виходять громіздкими [3].

Розробка інженерних розрахункових залежностей, що враховують особливості геометрії деталі, спосіб деформування та кінематику течії є актуальним завданням, важливим для проектування технологій і оснащення ТОШ видавлюванням в роз'ємних матрицях.

**Метою роботи** є аналіз силового режиму процесу видавлювання деталей складної конфігурації з відростками та фланцями за допомогою кінематичних модулів трикутної форми.

Для отримання інженерних залежностей енергосилових параметрів зручно використати метод кінематичних модулів (МКМ), що дозволяє описати складні схеми течії за допомогою елементарних модулів, рішення для яких уже відомо [3, 4]. Кінематичні модулі для обтиснення (зменшення поперечного перерізу) використовується для аналізу процесів редукування, прямого і зворотного видавлювання [3, 4]. Для визначення тиску деформування металу на перехідній кромці матриці, яка має різну конфігурацію (рис. 1), можна використати аналогію за схемою прямого видавлювання [5] і побудувати поля та годограф

швидкостей для отримання рішення і формули для розрахунку тиску деформування.

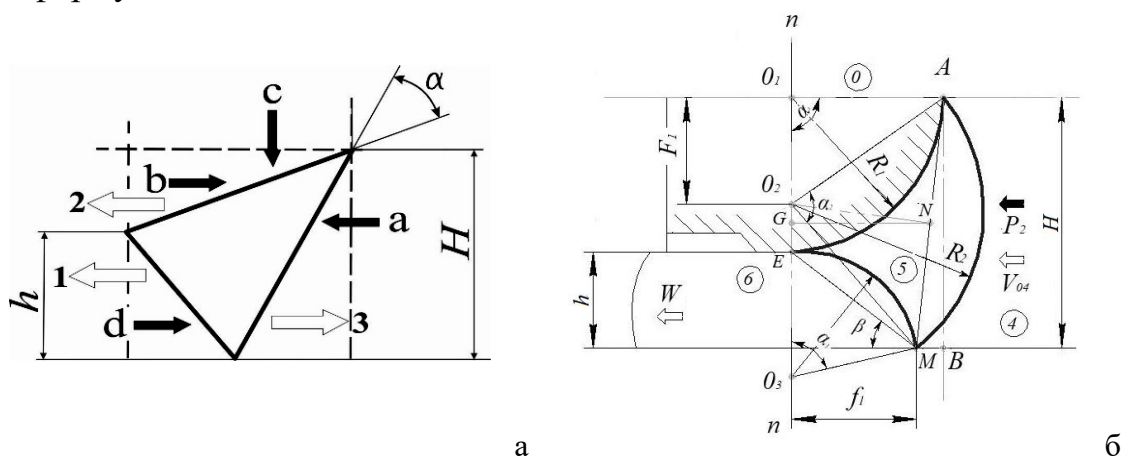


Рис. 1. Кінематичні модулі для деформування металу на перехідній кромці матриці

Що стосується сил і тисків розкриття роз'ємної матриці, то вони може бути знайдені користаючи підхід Степанського Л.Г. о можливості віртуального переміщення півматриці і встановлення положення також віртуальним поверненням в вихідне положення з певною швидкістю  $U_m$  [3]. При цьому, припускаючи віртуальне переміщення напівматриці, сили розкриття знаходять шляхом лінеаризації потужностей зовнішніх сил (відносно швидкостей переміщення пуансону і напівматриці), які входять в рівняння енергетичного балансу, що при плоскому деформуванні та при жорстких кінематичних елементах виконується автоматично. Кінематичні трикутні модулі з прямолінійними межами (див. рис. 1, а) для задач плоско-деформованого стану мають властивість інверсійності (оборотності), тобто здатність до визначення приведенного тиску при інверсії напрямів векторів вхідної швидкості по відношенню до швидкості виходу. В той же час, підхід у використанні властивості інверсійності модулів виявився неприйнятним для кінематичних трикутних елементів з криволінійними твірними (див. рис. 1, б), застосування яких доцільне для багатьох процесів точного штампування. Це пов'язане з неможливістю застосування криволінійного трикутного елемента, який використовується при поздовжньому видавлюванні, для аналізу зусилля розкриття півматриць, коли вплив під кутом, відмінним від  $180^\circ$ , викликає порушення принципу ортогональності, що використовується при побудові годографа швидкостей для даного елемента.

**Література:** 1. Абхари П.Б., Алиева Л.И., Алиев И.С., Еремина А.А. Разработка штампов для выдавливания в разъемных матрицах. *Обработка материалов давлением*. Краматорск: ДГМА. 2016. 1(42). С. 223-231. 2. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х. т. Москва: Машиностроение. 1987. Т.3. Холодная объемная штамповка. Под ред. Е.И. Семенова. 1987. 592 с. 3. Алиева Л.И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания: монография. Краматорск: ООО «Тираж-51». 2018. 352 с. 4. Унксов Е.П., Джонсон У., Колмогоров В.Л., Огородников В.А. [и др.]. Теория ковки и штамповки. Москва: Машиностроение. 1992. 720 с. 5. Алиева Л.И., Титов А.В., Корденко М.Ю. Моделирование процессов поперечного бокового выдавливания. *Обработка материалов давлением*. Краматорск : ДГМА. 2019. 1 (48). С. 35-44.

# РОЗРАХУНОК ДЕФОРМАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ВІД СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ЇХ НЕЛІНІЙНІЙ ЗМІНІ ШЛЯХОМ 3D МОДЕЛЮВАННЯ

Лещенко О. І.

(Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь, Україна)

Гвинтова поверхня циліндричних черв'яків, трапецеїдальних і прямокутних різьблень, залежно від серійності виробництва може бути нарізана за допомогою профільних різців на токарних верстатах з ЧПУ, при обробці на яких досягається найбільш точне значення кроку витків. Крім цього верстати цього типу дозволяють програмувати крок гвинта будь-якого значення або нарізати витки зі змінною подачею на циліндричній або конічній поверхні. Для зменшення похибки профілю витка остаточне нарізування гвинтової поверхні рекомендується виконувати різцями з ріжучою кромкою близькою до прямолінійної, що ускладнює процес стружкоутворення. Тому на ріжучій пластині виконується радіусна канавка  $R$  з певним положенням центру дуги.

Загальновідоме уявлення сил різання односпрямованими векторами, вздовж координатних осей, з точкою докладання до вершини різця. Насправді розподіл тиску різання на передню та задню поверхні різця підпорядкований нелінійним законам в координатній системі  $X_T, Y_T, Z_T$ . Таким чином, на поверхні різця діє нерівномірно розподілене навантаження – на передню  $P(x)$  і задню  $P(y)$ , максимальне значення яких спостерігається у ріжучій кромці та зменшується до нуля в місці припинення контакту поверхні леза з поверхнею на заготовці. Для вирішення ряду теоретичних і практичних завдань, наприклад, прогину, потрібне знання як значення сили різання, що діє, так і напрямки її дії.

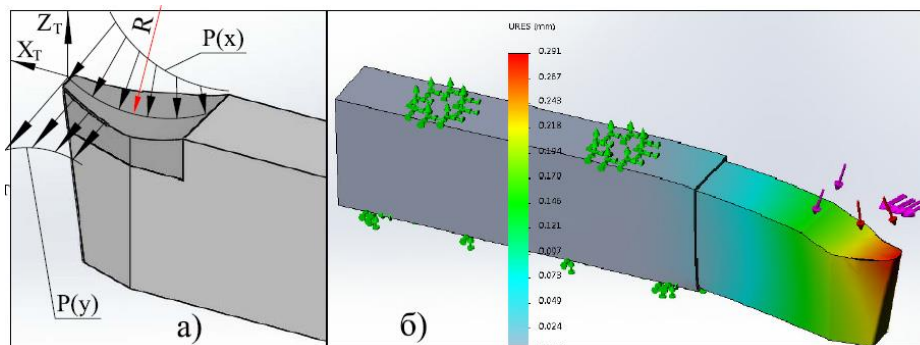


Рис. 1. Різець для нарізування черв'яків: розподілене навантаження на пластину (а), SW simulation деформації різця від сил різання (б)

Побудуємо засобами комп'ютерної графіки модель різця (рис. 1,б) і виконаємо розрахунок деформації різця додатком до пакету SolisWorks Simulation, при нелінійному завданні тиску від сил різання. Дослідно-експериментальне виробництво показало, що розрахункові результати при завданні нелінійно розподіленого навантаження більшою мірою відповідають реальній геометрії деталі.

## МАШИНОБУДУВАННЯ ДОНЕЧЧИНИ: ВІД СТРАТЕГІЇ СМАРТСПЕЦІАЛІЗАЦІЇ ДО ТАКТИКИ ТА ІНВЕСТИЦІЙ

<sup>1</sup>Лісовий С.В., <sup>2</sup>Шашко В.О.

(<sup>1</sup>ТОВ «Корум ДрМЗ», м. Дніпро, Україна, <sup>2</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Методологія смарт-спеціалізації регіонів передбачає концентрацію зусиль та ресурсів влади, науки і бізнесу на підтримці обмеженої кількості видів економічної діяльності регіонів для забезпечення їхньої конкурентоздатності на світових ринках. У 2021 році було закінчено процес аналізу економічного, інноваційного і наукового потенціалу Донецької області, результатом якого став визначений один з двох можливих напрямків смарт спеціалізації області - «Машинобудування з використанням сучасних інформаційних технологій (ІТ)». Наступний етап розробки стратегії смарт спеціалізації - процес підприємницького відкриття (Entrepreneurial discovery process – EDP) - передбачав генерацію нових та конкретних продуктів, технологій або послуг, що мають інноваційну складову. Поточний стан у країні завадив повноцінній реалізації методології, що полягає у розробці цілей та завдань щодо реалізації стратегії і переході до практичних спільних дій держави, науки та бізнесу.

Метою роботи є визначення переваг смарт підходу до планування регіонального розвитку, аналіз можливих шляхів відновлення EDP в умовах воєнного стану, надання пропозицій щодо кроків для створення регіонального плану дій обраного напрямку «Машинобудування з використанням ІТ», розробка підходів до реалізації практичних заходів узгодженого стейкхолдерами плану.

З практичної точки зору за поглядом авторів використання методології смарт-спеціалізації регіонів в українській моделі економічної системи дозволяє:

1) сконцентрувати суспільні зусилля на розвитку у кожному регіоні саме тих галузей економіки, які мають для цього достатній економічний, науковий, інноваційний та кадровий потенціал;

2) забезпечити тісну взаємодію регіональних бізнесу, науки та влади у спільній зоні цілей, залучивши їх до участі у реалізації єдиного плану;

3) збалансувати регіони за галузевою диференціацією, виключити деструктивну міжрегіональну конкуренцію як на ринку продуктів та послуг, так і на ринку інвестицій за рахунок інноваційної спеціалізації кожної області;

4) зареєструвати інноваційні стратегії смарт спеціалізацій регіонів на платформі S3 (майданчик для країн та регіонів із впровадження місцевих підходів з виявлення стратегічних галузей для смарт спеціалізації), що підтвердить їх визнання на рівні Європейської комісії і буде сигналом як для внутрішніх, так і для зовнішніх інвесторів;

5) сконцентрувати державні програми, наукові дослідження, інноваційну діяльність, стратегії бізнесів та інвестиційні ресурси у визначених пріоритетних напрямках смарт спеціалізації кожного регіону.

Отже є потреба відновлення процесу підприємницького відкриття у галузі машинобудування Донецької області з залученням до нього як діючих на

території громади, так і релокованих суб'єктів державного управління, науково-технічних установ, машинобудівних підприємств та суспільних організацій. І це відновлення можливе і, навіть, потрібне саме в даний час. Однак поточні умови вносять свої корективи до методів взаємодії, організації комунікацій, визначення пріоритетів спільної діяльності та складу учасників процесу, а також до стратегічного бачення та можливого набору цілей з огляду на військові дії на території нашої держави. Сучасний рівень глобалізації та інформатизації надає достатньо інструментів для спільної діяльності без залежності від місцезнаходження стейкхолдерів, але з огляду на відповідність організації взаємодії вимогам безперервності процесу «від розробки до впровадження та контролю» автори пропонують покроковий алгоритм діяльності щодо смарт-напрямку Донеччини «Машинобудування з використанням ІТ»:

1) Ревізія складу учасників – визначення працюючих у регіоні або релокованих науково-технічних установ, органів державної влади, підприємств, галузевих та міжнародних організацій, які були чи потенційно можуть бути учасниками EDP щодо машинобудування та ІТ у Донецькій області;

2) Залучення відповідних відомств централізованих органів влади, які керують процесами інтеграції до Європейського союзу, відновлення, розвитку промисловості, інновацій та інвестицій;

3) Створення єдиної інформаційної платформи з можливостями управління базами даних, проектного менеджменту, гнучкого керування задачами, спільної роботи з ресурсами та організації групових комунікацій;

4) Інтеграція зведених даних до платформи S3 для долучення до EDP додаткових європейських партнерів та інвесторів;

5) Проведення зустрічей з залученням держави, міжнародних організацій та ключових інвесторів для визначення цілей та завдань роботи команди з реалізації смарт-стратегії «Машинобудування з використанням ІТ» (формування бачення та постановка цілей);

6) Підготовка аналітичної інформації, методологічних матеріалів, інструкцій та рекомендацій по розробці стратегії, EDP, плануванню проекту;

7) Проведення загальної зустрічі всіх стейкхолдерів з метою обговорення очікувань, бачення та стратегічних планів, з подальшим розподілом на групи за деталізацією конкретних планів та завдань;

8) Робота у процесних, цільових, фахових та крос-функціональних групах - каскадування планів та завдань, організація відповідних дій та аналіз результатів кожного з етапів реалізації кроків проекту;

9) Міжгруповий діалог, підготовка та захист програми дій напрямку смарт-спеціалізації «Машинобудування з використанням ІТ» на загальній зустрічі стейкхолдерів;

10) Планування інновацій та залучення інвестицій – реалізація програми.

Використання наведеного у роботі алгоритму дозволить забезпечити збереження потенціалу та розвиток машинобудування Донеччини у довгостроковій перспективі.

# ТЕОРЕТИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ПОХИБОК ПАРАЛЕЛЬНОЇ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРТИКАЛЬНОМУ ДВОШПИНДЕЛЬНОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.  
(ТНТУ ім. І.Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Підвищення продуктивності токарної обробки таких деталей, як шестерні, зірочки, маховики, фланці, кільця підшипників та ін., досягається за рахунок паралельної токарної обробки поверхонь [1] на двошпиндельних вертикальних токарних верстатах з ЧПК. Точність цієї обробки значною мірою буде визначатися похибками, що будуть залежати від розташування інструментів у просторі робочої зони та впливу всіх складових сил різання від інструментів, які беруть участь в обробці, пружних переміщень формоутворюючої системи верстата по всіх координатах, його геометричної точності та ін. Тому комплексна оцінка похибок паралельної токарної обробки на сучасних двошпиндельних вертикальних токарних верстатах з ЧПК є актуальною науковою задачею.

Метою роботи є розробка методики оцінки вихідної точності двошпиндельних токарних верстатів з ЧПК, які мають паралельну структуру формоутворюючої системи.

Розроблена методика оцінки вихідної точності двошпиндельних вертикальних токарних верстатів з ЧПК базується на варіаційному методі розрахунку точності машин [2], основою якого є модель формоутворюючої системи верстата. Сучасні двошпиндельні вертикальні токарні верстати з ЧПК мають паралельну структуру формоутворюючої системи (рис.1).

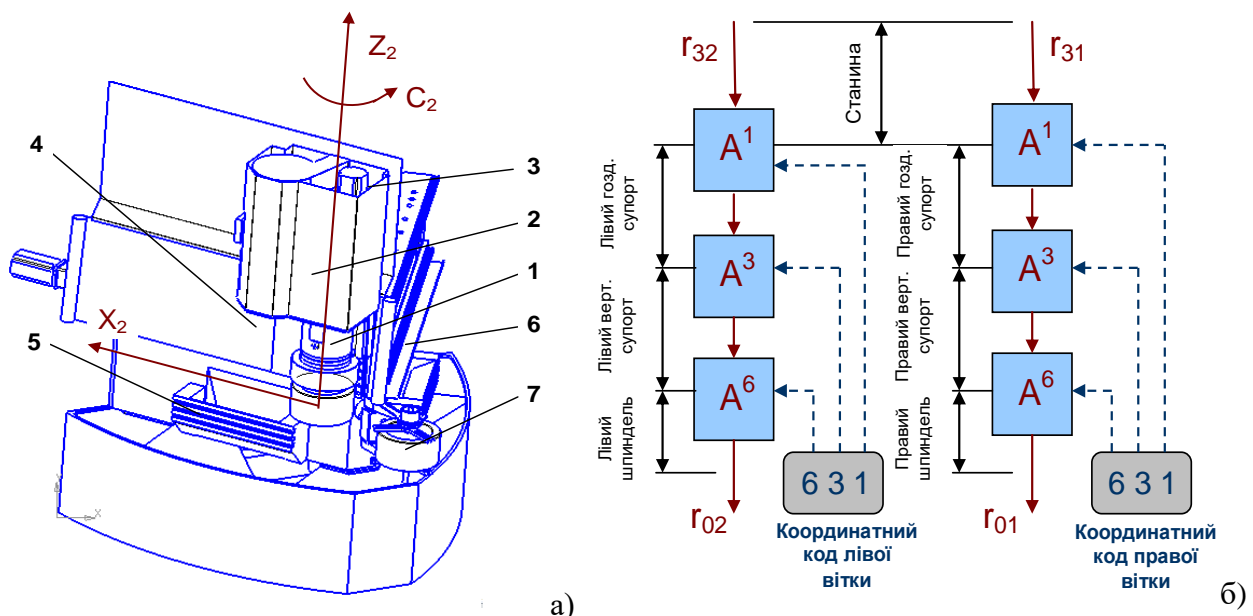


Рис.1. Основні вузли (а) та паралельна формоутворююча структура (б) двошпиндельного вертикального токарного верстата з ЧПК:

- 1 – шпинделі; 2 – шпиндельні бабки; 3 – вертикальні супорти; 4 – горизонтальні супорти;
- 5 – станції для встановлення різального інструменту; 6 – станина; 7 – перевантажувач

Модель формоутворюючої системи формується по складу вузлів верстата і опису їх рухів та математично представляється у вигляді функції формоутворення [2, 3]. Координатний код формоутворюючої системи для обох її віток, який складається із кодів матриць переміщень і поворотів [2, 3] буде мати вигляд:  $K1 = K2 = 631$ . Виходячи із координатного коду формоутворюючої системи (рис.1) для обох її віток, отримано функцію формоутворення для формоутворюючої системи паралельної дії, що описується радіус-векторами  $\overline{r}_{01} = [x_{01}, y_{01}, z_{01}, 1]^T$ ,  $\overline{r}_{02} = [x_{02}, y_{02}, z_{02}, 1]^T$  точок першого та другого токарного інструменту в системі координат першої і другої заготовки.

Використовуючи модель функції формоутворення отримано векторний баланс точності двошпиндельного вертикального токарного верстата з ЧПК:

$$\begin{cases} \Delta \overline{r}_{01} = (\varepsilon_{01} A_{01}^6(\varphi_1) A_{12}^3(z_1) A_{23}^1(x_1) + A_{01}^6(\varphi_1) \varepsilon_{11} A_{12}^3(z_1) A_{23}^1(x_1) + \\ + A_{01}^6(\varphi_1) A_{12}^3(z_1) \varepsilon_{21} A_{23}^1(x_1) + A_{01}^6(\varphi_1) A_{12}^3(z_1) A_{23}^1(x_1) \varepsilon_{31}) \cdot \overline{r}_{31} \\ \Delta \overline{r}_{02} = (\varepsilon_{02} A_{01}^6(\varphi_2) A_{12}^3(z_2) A_{23}^1(x_2) + A_{01}^6(\varphi_2) \varepsilon_{12} A_{12}^3(z_2) A_{23}^1(x_2) + \\ + A_{01}^6(\varphi_2) A_{12}^3(z_2) \varepsilon_{22} A_{23}^1(x_2) + A_{01}^6(\varphi_2) A_{12}^3(z_2) A_{23}^1(x_2) \varepsilon_{32}) \cdot \overline{r}_{32} \end{cases}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_{i1}$  ( $i=0,1,2,3$ ) – матриця повної похибки положення  $i$ -ої ланки правої вітки формоутворюючої системи;  $\varepsilon_{i2}$  ( $i=0,1,2,3$ ) – матриця повної похибки положення  $i$ -ої ланки лівої вітки формоутворюючої системи.  $A_{01}^6(\varphi_1)$ ,  $A_{01}^6(\varphi_2)$  – матриці повороту навколо осей  $Z_1$  і  $Z_2$ ;  $A_{12}^3(z_1)$ ,  $A_{12}^3(z_2)$  – матриці переміщень вздовж осей  $Z_1$  і  $Z_2$ ;  $A_{23}^1(x_1)$ ,  $A_{23}^1(x_2)$  – матриці переміщень вздовж осей  $X_1$  і  $X_2$ ;  $\overline{r}_{31} = [x_{31}, y_{31}, z_{31}, 1]^T$ ,  $\overline{r}_{32} = [x_{32}, y_{32}, z_{32}, 1]^T$  – радіус-вектори точок першого та другого токарного інструменту відповідно [2,3].

З врахуванням зв'язків аргументів і нормалей функції формоутворення та рівняння оброблюваних поверхонь отримано скалярні баланси точності двошпиндельного вертикального токарного верстата з ЧПК для паралельної токарної обробки.

Приведена у даній роботі методика оцінки вихідної точності двошпиндельних токарних верстатів з ЧПК, які мають паралельну структуру формоутворюючої системи, дозволяє провести шляхом математичного моделювання оцінку точності обробки різних поверхонь деталі з врахуванням геометричних і кінематичних похибок ланок формоутворюючої системи, та похибок, викликаних їх пружними переміщеннями.

**Література:** 1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ Кузнецов Ю.М., [та ін.].– К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с. 2. Portman V. Form-Shaping Systems of Machine Tools: Theory and Applications/ V. Portman, I. Inasaki, M. Sakakura, M. Iwatate// Annals of the CIRP – Vol. 47/1 – 1998 – pp.329-332. 3. Lutsiv I. Shape forming system model of lathes two-carriage tool systems/ I. Lutsiv, V. Voloshyn, V. Buhovets // Scientific journal of the Ternopil national technical university. – 2018 – №3 (91) – pp. 80-87.

## **ОСОБЛИВОСТІ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ФЕРОМАГНІТНИХ ДЕТАЛЕЙ ТОРЦЕВИМИ ГОЛОВКАМИ НА БАЗІ ВИСОКОПОТУЖНИХ МАГНІТІВ**

**Майборода В.С., Буріков О.О., Джулій Д.Ю., Слободянюк І.В.**  
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна)

Створення інструменту, який можна використовувати на верстатах з ЧПК для фінішного оброблення плоских поверхонь феромагнітних деталей беззаперечно є актуальною проблемою. Попередньо виконані дослідження процесу магнітно-абразивного оброблення (МАО) з використанням різноманітних конструкцій торцевих головок, виготовлених на базі потужних сталей неодимових магнітів [1–4] дозволили встановити раціональні форми робочих поверхонь і особливостей розташування магнітів в робочих корпусах торцевих головок. Отримані результати впливу технологічних умов процесу МАО, типу і складу магнітно-абразивних порошків дозволили встановити раціональні швидкості оброблення, величини робочих зазорів, часу оброблення необхідного для отримання низької шорсткості оброблюваних поверхонь. Проте об'єм наведених результатів суттєво обмежений і не враховує спадковості попереднього оброблення, не дозволяє однозначно визначити форму і розмір частинок магнітно-абразивних порошків, особливо враховуючи той факт, що експериментальні результати, отримані при МАО площин торцевими головками порошками з розміром частинок 630/400 мкм забезпечують формування мінімальної шорсткості поверхонь з  $Ra < 0,1$  мкм, що суперечить загально відомій інформації – чим дрібніші зерна магнітно-абразивного порошку при МАО, тим меншу величину параметру  $Ra$  можливо отримати [5–7]. Зазначене протиріччя може бути пов'язано з відсутністю інформації про кінетику формування мікропрофіля шорсткої поверхні при МАО торцевими головками, що суттєво ускладнює визначення технологічних умов оброблення, спрямованих на досягнення низької шорсткості поверхонь з певним її мікропрофілем. Тому метою роботи було визначення впливу на шорсткість і мікрогеометрію оброблених методом МАО поверхонь таких параметрів, як величина шорсткості і стан мікрогеометрії до МАО, величина, розмір і форма частинок використовуваних порошків.

Експериментальні дослідження виконували на плоских поверхнях зразків з сталі 40Х в два етапи. Для МАО використовували торцеву головку типу "щітка" [1] при частоті її обертання навколо власної осі 900 об/хв і величині поперечної подачі 20 мм/хв. Величина робочого зазору між робочою поверхнею головки і оброблюваною поверхнею варіювалась в діапазоні 1 – 4 мм. На першому етапі використовували магнітно-абразивні порошки з оскольчатою формою частинок



типу Феромап з розміром 200/100 мкм, 315/200 мкм, 400/315 мкм і 630/400 мкм. Шорсткість поверхонь зразків до MAO після шліфування абразивним кругом з електрокорунду нормального 15А складала 0,19 – 0,21 мкм і після шліфування алмазним кругом –  $Ra=0,49 – 0,52$  мкм. На другому етапі шорсткість поверхонь до MAO складала  $Ra=0,53 – 0,68$  мкм, а в якості магнітно-абразивних порошків використовували сферичні порошки S330 і дробу чавунного – ДЧ з середнім розміром частинок 1,62 мм і 1,5 мм відповідно. На кожному етапі досліджень контролювали величину шорсткості після MAO і характер зміни величини відносної опорної довжини профілю –  $t_p$  в залежності від рівня перетину –  $p$ . Отримані на першому етапі результати зміни параметра  $Ra$  наведено на рис. 1.

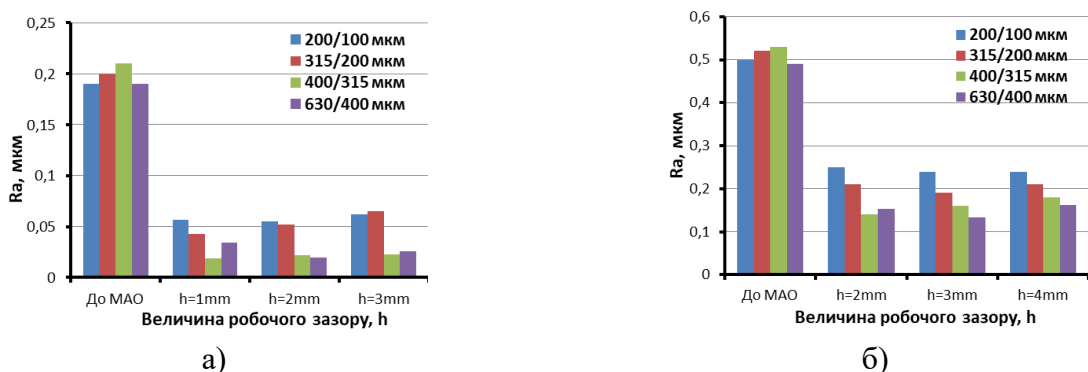


Рис. 1. Зміна шорсткості поверхні після MAO різними порошками і при різних робочих зазорах і середній вихідній шорсткості  $Ra=0,2$  мкм – а) і  $Ra=0,51$  мкм – б)

Найкращі результати отримані при MAO крупними порошками з величиною робочого зазору  $h=2–3$  мм. Відзначимо, що чим менша величина  $Ra$  була отримана до MAO, тим краща шорсткість формується після MAO. Це пов'язано з величиною мікрохвилястості поверхні, сформованої на етапі шліфування. Підтвердженням цього є залежності зміни величини відносної опорної довжини профілю –  $t_p$  від рівня перетину –  $p$  (рис.2).

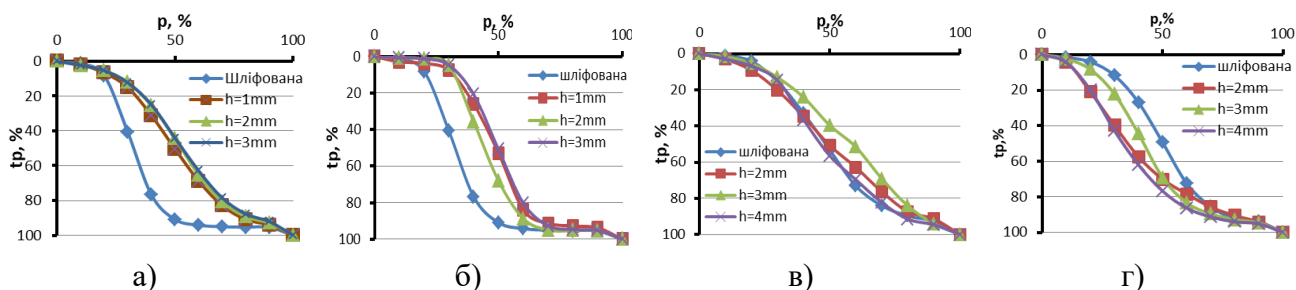


Рис. 2. Залежності зміни величини відносної опорної довжини профілю -  $t_p$  від рівня перетину –  $p$  після MAO порошком Феромап з розміром частинок 200/100 мкм – а), 630/400 мкм – б) при вихідній шорсткості  $Ra=0,2$  мкм і 400/315 мкм – в), 630/400 мкм – г) при вихідній шорсткості  $Ra=0,5$  мкм

Враховуючи результати вище наведених досліджень і результатів робіт [8–10] на другому етапі використовували магнітно-абразивні порошки з крупним розміром частинок. MAO в умовах ідентичних першому етапу було отримано зниження шорсткості в 2,5–4 рази. Причому використання більш крупних частинок дозволило отримати кращі результати (рис. 3).

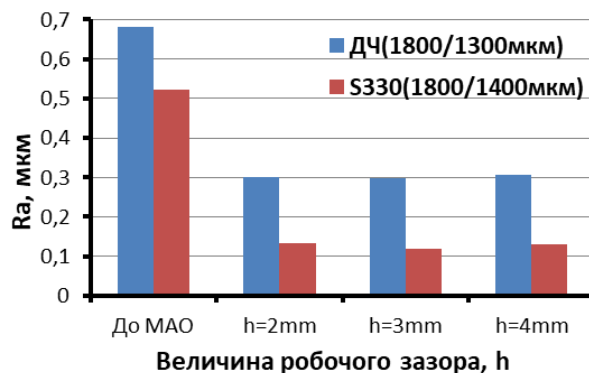


Рис. 3. Зміна шорсткості поверхні після MAO різними порошками і при різних величинах робочих зазорів - h

Характер зміни величини відносної опорної довжини профілю –  $t_p$  від рівня перетину –  $p$  після MAO сферичними порошками при різних величинах робочих зазорів наведено на рис. 4.

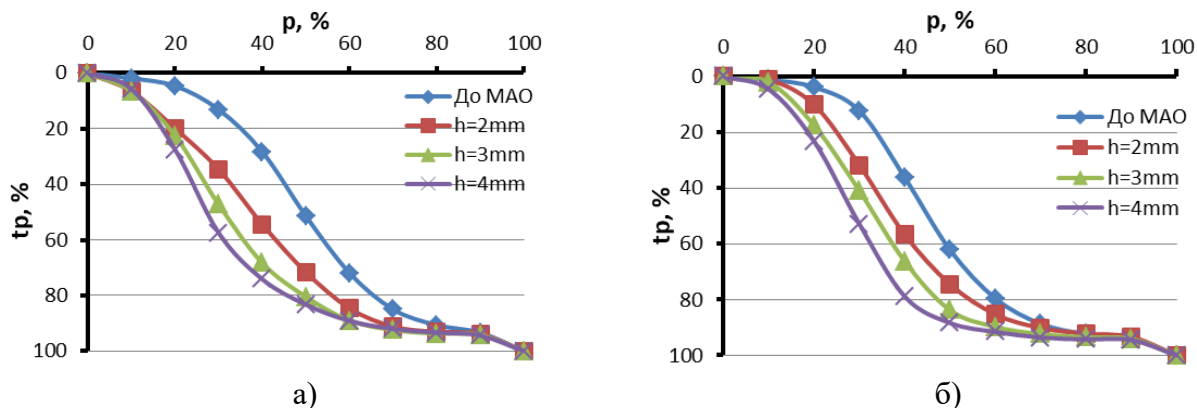


Рис. 4. Залежності зміни величини відносної опорної довжини профілю –  $t_p$  від рівня перетину –  $p$  після MAO порошком S330 з розміром частинок 1800/1400 мкм – а), ДЧ розміром частинок 1800/1300 мкм – б)

Порівняння залежностей зміни величини відносної опорної довжини профілю –  $t_p$  до і після MAO свідчить про те, що в процесі оброблення має місце активне пластичне деформування поверхневого шару яке сприяє вигладжуванню мікропрофіля [9].

Для підтвердження наявності активного пластичного деформування поверхні при MAO на тестових зразках з сталі У9 було виконано контроль

поверхневої твердості і середнього рівня залишкових напружень в поверхневому шарі [11]. Встановлено, що за умов MAO, ідентичних обробленню зразків с сталі 40X, на тестових зразках при використанні порошку S330 ступінь наклепу на глибині 3 мкм дорівнює 0,53, а на глибині 5 мкм – 0,3, а при використанні порошку ДЧ – 0,44 і 0,31, відповідно. Рівень залишкових стискаючих напружень після MAO порошком S330 досягає 118 МПа, а порошком ДЧ – 165 МПа.

#### **Література:**

1. Maiboroda V.S. AISI 1045 Steel Flat Surfaces Machining Using the Magneto-Abrasive Method /V.S. Maiboroda, Belajev O.O., Dzhulii D.Yu., Slobodianiuk I.V.// Journal of Engineering Sciences, vol.7(1), pp.A1–A7, doi: 10.21272/jes. 2020.7(1).a1.

2. Zelinko A. Magnetabrasives Polieren auf Bearbeitungszentren: Phd-Thesis, Technischen Universität Dortmund, Germany, 2022. 153.

3. Maiboroda V.S. Flat surfaces machining by the magneto-abrasive method with permanent magnet end-type heads. 2.The influence of the design of the working surfaces of the heads on the effectiveness of the magneto-abrasive machining / V.S. Maiboroda, D. Yu. Dzhulii, A.I.Zelinko, A. Burikov // Mechanics and Advanced Technologies. – 2020. - Том 90, № 3 (2020) - с.73-81.

4. Майборода В.С. Оброблення плоских поверхонь магнітно-абразивним методом торцевими головками на постійних магнітах 3. Вплив типу робочих головок на ефективність магнітно-абразивного оброблення/В. Майборода, Д.Джулій, А.Зелінко, О.Буріков// Mechanics and Advanced Technologies. – 2021.- т. 5, вип. 1, с. 97–102.

5.Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

6. Оликер В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий / В.Е. Оликер. – Москва: Металлургия, 1990. – 176 с.

7. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф. Ю. Сакулевич. – Минск: Наука и техника, 1981. – 327 с.

8. Майборода В.С. Магнитно-абразивная обработка плоских поверхностей головками на постоянных магнитах/ В.С.Майборода, И.В.Слободянюк , Д.Ю.Джулий, А.И.Зелинко// Технічна інженерія. – 2020. - №1(85). – С.60-65.

9. Шкурупий В. Г. Аналитическое описание и технологическое обеспечение параметров шероховатости обработки / В. Г. Шкурупий, Ф. В. Новиков // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сб. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2004. – Вып. 67. – С. 46–56.

10. Майборода В.С. Обработка плоских поверхностей магнитно-абразивным методом торцевыми головками на постоянных магнитах. 1. Влияние типа магнитно-абразивного порошка на эффективность магнитно-абразивной обработки. / В.С.Майборода, Д.Ю.Джулий, А.И.Зелинко// Mechanics and Advanced Technologies. – 2020. - Том 89, № 2 (2020)- - с.121-130.

11. Буріков О.О. Вплив магнітно-абразивного оброблення на характеристики поверхневого шару плоских деталей. / О.Буріков, В. Майборода, Д.Джулій// Mechanics and Advanced Technologies. - 2022. - Том 6, №3. – с.286-292 .

# ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ ВУЗЛІВ СТАНИН ВЕРСТАТИВ, ВИКОНАНИХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ

**Малигін М.О.**

(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Несуча система верстата утворюється сукупністю елементів, через які замикаються сили, що виникають між інструментом і заготовлею в процесі різання. До елементів несучої системи відносяться станини і корпусні деталі, рівень експлуатаційних показників яких пов'язаний з ефективними конструкторськими рішеннями, а також з використанням прогресивних технологічних прийомів виготовлення. У сучасному важкому верстатобудуванні технологія їхнього виготовлення є критичним параметром, що визначає робочий стан металорізального верстата за показниками міцності та втомної довговічності, з урахуванням впливу експлуатаційних факторів. Для модифікації процесу виготовлення з урахуванням ресурсних характеристик було проведено експериментальні дослідження з вивчення особливостей зміни характеристик міцності зварних з'єднань, виконаних з використанням розробленого захисного покриття [1]. Було досліджено зварні стикові з'єднання зі сталі, що містить 0,09% С, до 2% Mn і менш як 1% Si завтовшки 10 мм, виготовлені із застосуванням і без застосування захисного покриття електродами УОНІ-13/55. Опір втоми визначали з посиленням і без посилення шва. Це дає можливість визначити також чутливість до концентрації напружень. Випробування проводили на гладких зразках прямокутного перерізу. Конструкція захватної частини зразків обиралась відповідно до конструкції захватної частини випробувальної машини. Робоча довжина зразка  $l = 70$  мм. Зразки виготовляли із пластин розміром  $150 \times 300$  мм (у плані). Для виготовлення зразків, які випробували без посилення шву, операції виконання галтельного переходу передувала операція зняття посилення шву. Випробування проводили на гідравлічній машині з частотою прикладання навантаження 10 Гц. Межа витривалості зразків, виконаних без зняття посилення шва по незахищених крайках, становили 182 Па, що на 18 % нижче за межу витривалості під час зварювання зразка зі зняттям посилення шва ( $\sigma_{-1} = 215$  МПа). Межа витривалості з'єднань зі зняттям посилення шва по покриттю, перебуває на тому самому рівні ( $\sigma_{-1} = 255$  МПа), що й для з'єднань із незахищеними крайками, і становить 76% межі витривалості основного металу. Практично на тому самому рівні ( $\sigma_{-1} = 245$  МПа) перебуває і опір втоми зварних з'єднань зі зняттям посилення шва, виконаних без захисного покриття.

## Література:

1. Development of the Protection Coat for Metallic Structures Based on the Intercalated Graphite Compounds / Kassov, Valeriy, Malyhin, Nikolay, Berezshnaya Elena, Antonenko, Yana, Zubenko, Kateryna // *Materials Science Forum. Actual Challenges in Materials Science and Processing Technologies II*. Vol. 1045. (2021). P. 9-16. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1045.9>.

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КОНВЕЄРА

**Махортов Д.Р., Бережна О.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Перетворювачі на тиристорах займають важливе місце серед регульованих перетворювачів електричної енергії. Сфера застосування перетворювачів досить широка. Розвивається і удосконалюється техніка управління ними. Силова частина і система управління є головними складовими перетворювача. Процеси, що відбуваються в них, невід'ємними один від одного і взаємообумовлені. Основні вимоги по поліпшенню технічних характеристик тиристорних перетворювачів - підвищення надійності, поліпшення енергетичних показників, зменшення спотворень в живлячій мережі, поліпшення динамічних властивостей - не можуть бути виконані без дослідження питань теорії систем управління. У числі важливих науково-технічних проблем, безпосередньо пов'язаних з розробкою систем управління тиристорних перетворювачів і потребуючих дослідження, можна назвати дослідження взаємного впливу перетворювачів і живлячої мережі; розробку теорії оптимальної структури системи управління; дослідження роботи систем управління в умовах перешкод і підвищення їх перешкодостійкості; дослідження і створення технічних засобів, що дозволяють будувати надійні і точні системи управління. Розвиток цифрових систем управління, а також мікроелектроніки мають допомогти з рішенням цього питання. Отже, пошук принципово нових способів управління статичними перетворювачами, що дозволяють підвищити точність, перешкодостійкість і надійність систем управління є актуальною задачею.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування стрічкового конвеєра для завантаження залізничних вагонів шляхом дослідження та розробки системи автоматизованого керування електроприводом конвеєра.

Для вирішення поставленої мети проведено аналітичний огляд існуючих видів електроприводу стрічкового конвеєру для завантаження залізничних вагонів, розглянуто їх переваги та недоліки. Розглянуто вимоги до системи керування та особливості використання двигунів різного типу, систем живлення та елементів силової схеми, на основі чого проведено моделювання роботи тиристорного перетворювача для електроприводу конвеєра для підвищення його продуктивності за рахунок підвищення надійності роботи електропривода взагалі. За результатами проведених досліджень побудовані швидкісні і механічні характеристики приводу для різних статичних режимів роботи. Розроблено структурну і функціональну схеми модернізації системи управління електроприводу конвеєра. Виконано розрахунок основних вузлів і агрегатів системи управління конвеєрної лінії, а також модельне дослідження в програмному продукті Multisim силової частини електроприводу конвеєрної лінії. За проведеними розрахунками й порівняльною оцінкою роботи з модернізації електроприводів конвеєрів встановлено, що впровадження результатів роботи приведе до підвищення ефективності роботи конвеєра.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ОТВОРІВ У ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЯХ.

**Мельник М.С., Шаповалов М.В., Зубрицький З.В., Пономаренко О.В.,  
Мироненко М.О.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Вітроенергетика, як галузь, що спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії вітру в різні форми енергії, має значний потенціал, оцінюваний в приблизно 1200 ТВт. Проте, існують значні виклики у використанні цього потенціалу, зокрема нерівномірність розподілу вітрових ресурсів по планеті та значні втрати енергії при її перетворенні. Для ефективного використання вітроенергетичних установок (ВЕУ) і максимального залучення їхніх переваг, необхідно зосередитися на активному розвитку новітніх технологій виробництва обладнання.

Вежа ВЕУ зазвичай має вигляд труби (металевої або залізобетонної) або просторової металевої ферми. Вежа в вигляді труби складається з декількох секцій (рис.1). Складність полягає в з'єднанні між собою секцій. На обох сторонах секції є фланці для монтажу. Секції вежі кріпляться за допомогою болтових з'єднань, звідси впливає основна проблема при їх виробництві: необхідність обробки отворів у фланцях секцій вежі з позиційним допуском 0,5 мм. Точність штатного датчика кута повороту шпинделя VE178A5 не вистачає щоб поділити деталь з достатньою точністю

Перетворювач (датчик) кутових переміщень VE178A фотоелектричний інкрементальний з дискретністю 1000 призначений для використання в системах автоматичного регулювання верстатів і для інформаційного зв'язку по положенню між виконавчими механізмами верстата і пристроєм числового програмного керування, а також в системах автоматичного і автоматизованого контролю, регулювання та управління. Особливість кутових оптоелектронних растрових перетворювачів переміщень полягає в використанні в якості міри довжини радіальної шкали, що є носієм регулярного і кодового растрів. Щоб позиціонувати з необхідною точністю датчик на шпинделі повинен мати мінімум 18000деленій, точність 120000 - 180000 штрихів на оберт. Замінити штатний датчик на більш точний не представляється можливим, так як існують межі робочої частоти 50 - 100кГц.

Таким чином, обробка отворів у фланцях секцій вежі ВЕУ на спеціальному токарно-свердлильному верстаті моделі КЖ16110Ф3 була неможливою. Раніше проблему вирішували свердлінням отворів безпосередньо на місці під час збирання та монтажу за допомогою переносного верстата. Проте такий підхід не забезпечував необхідної точності, що спричиняло труднощі при з'єднанні секцій вежі.

У роботі представлена методика дослідження та розроблений принцип роботи спеціального мехатронного свердлильного пристосування підвищеної точності для обробки отворів у фланцях секцій вежі ВЕУ (рис.2,3).



Рис.1 – Фланець секції вежі ВЕУ

Виконані розрахунки граничних режимів різання, параметрів точності, приводів головного руху, осьової подачі та позиціонування. Створено мехатронну систему для управління роботою спеціального пристосування, обрано і обґрунтовано типи датчиків і двигунів. Розроблені блок-схеми алгоритму роботи системи управління та керуюча програма.

Пристосування встановлюється в планшайбі конгршпинделя верстата і шпиндель відключається від приводу головного руху. Свердлильний шпиндель за допомогою гвинта радіальної подачі вручну встановлюється на діаметр свердління (діаметр секції вежі). Приводні і обкатані ролики розлучаються спеціальними ключами і заводяться на виріб. Потім ключі знімаються і позиціонування пристосування по куту здійснюється двигуном М3 через черв'ячний редуктор і приводних роликах. Фіксація пристосування в позиції свердління здійснюється за допомогою гідроциліндра. Осьова подача виконується двигуном М2 через ходовий гвинт. Привід свердла здійснюється наслідків двигуна М1 через планетарний редуктор. Відлік кутового положення проводиться одночасно за двома датчикам: грубо - по датчику верстата (цей сигнал отримуємо через систему ЧПУ), а точно - по датчику на серзі з обкатних роликом. Підтискні ролики гасять коливання ширини фланця, похибки виготовлення. Мікроконтролер управляє двома кроковими двигунами повороту і осьової подачі, а також отримує дані від трьох датчиків: датчик шпинделя, датчик на обкатному ролику, датчик початкової прив'язки.

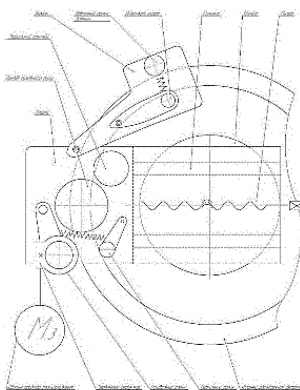


Рис. 2. Схема пристосування (вид 1)

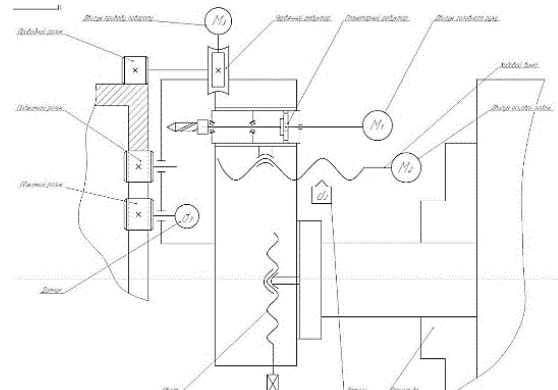


Рис. 3. Схема пристосування (вид 2)

Запропоновані рішення при створенні спеціального мехатронного пристосування дадуть змогу підвищити необхідну точність позиціонування.

## **ВПЛИВ УМОВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ**

**Міранцов С.Л., Фоменко С.М., Рева Є.С.**

*(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна, <sup>2</sup>ТОВ «УкрЕнерго-Альянс», м. Київ, Україна)*

Однією з важливих проблем українського машинобудування є ефективне використання енергетичних ресурсів у виробничих процесах. Машинобудівний комплекс України характеризується високими енерговитратами на одиницю продукції, що значно перевищує показники провідних промислово розвинених країн. Це негативно впливає на конкурентоспроможність продукції українського машинобудування, особливо в умовах постійного зростання цін на електроенергію, що збільшує питому вагу енерговитрат у загальній собівартості продукції. Таким чином, стратегічним напрямом для підвищення конкурентоспроможності продукції українських машинобудівних підприємств є підвищення енергоефективності процесів механічної обробки деталей. Особливу увагу слід приділити процесам токарної обробки, які займають значну частку у структурі виробничих процесів. Проблема підвищення енергоефективності токарної обробки деталей стає особливо актуальною для енергоємного важкого машинобудування.

Обробка деталей на важких верстатах має ряд особливостей, що призводять до високих енерговитрат при різанні. Крім того, важкі верстати відзначаються надзвичайно високою вартістю як самого обладнання, так і вартості верстато-години роботи. Дороге верстатне обладнання приносить економічний ефект лише за умови раціонального використання, що вимагає забезпечення високих показників енергоефективності обробки на таких верстатах.

До напрямів підвищення енергоефективності механічної обробки деталей на важких верстатах належать:

- Зниження витрат енергії на перебіг фізичних процесів у зоні різання: Оптимізація параметрів різання, застосування сучасних інструментів і технологій обробки, які зменшують енергоспоживання.
- Зниження втрат енергії у механічній частині приводу головного руху верстата: Поліпшення конструкцій приводів, використання більш ефективних механічних компонентів, що зменшують втрати енергії під час передачі руху.
- Зниження втрат енергії у електричній частині приводу головного руху верстата: Впровадження нових електродвигунів з високим ККД, застосування частотних перетворювачів і систем енергозбереження, що оптимізують споживання електроенергії.

Зниження втрат енергії у електричній та механічній частинах приводу головного руху важких верстатів може бути досягнуто шляхом розробки нових або суттєвої модернізації наявних приводів головного руху.



# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЧОРНОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗБІРНОГО ІНСТРУМЕНТА

<sup>1</sup>Мироненко Є.В., <sup>2</sup>Клочко О.О., <sup>1</sup>Шаповалов М.В., <sup>1</sup>Гончаров В.С.  
(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна, <sup>2</sup>НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна)

Широке застосування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) і гнучких виробничих систем висуває нові вимоги щодо підвищення надійності, продуктивності, точності та гнучкості токарних різців, враховуючи специфічні вимоги до оброблюваних деталей, особливості устаткування та ефективність виробництва. В машинобудуванні постійно зростають вимоги до якості і точності виробів. Використання новітніх досягнень науки і техніки та впровадження прогресивних технологій сприяють розвитку виробництва в галузі машинобудування, зокрема при обробці металів різанням, завдяки конструюванню більш досконалих різальних інструментів. Різальний інструмент, у тому числі такий універсальний, як токарний різець, відіграє важливу роль у забезпеченні економічно ефективної роботи виробництва. Кожен новий різальний матеріал, новий тип верстатного обладнання та новий рівень автоматизації обробки потребують оптимальної конструкції різця з відповідною геометрією. Це підкреслює необхідність постійного підвищення рівня професійних знань і вдосконалення інструментів. У роботі розглянуто удосконалення конструкції збірного різця для чорнкової обробки деталей важкого машинобудування. Нові конструктивні рішення дозволяють підвищити ефективність обробки, забезпечуючи кращу продуктивність і точність, що є критично важливим для сучасного виробництва.

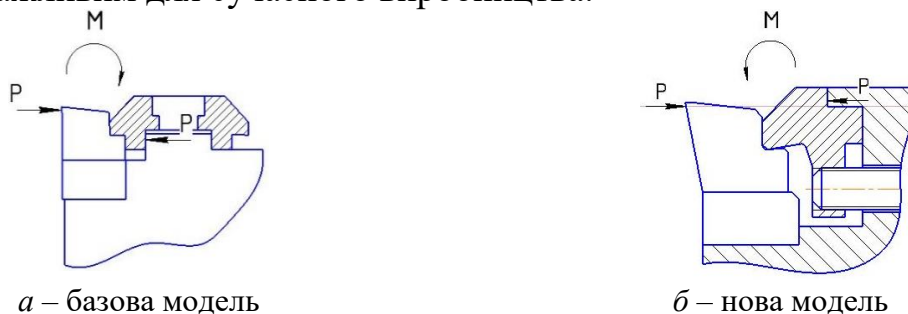
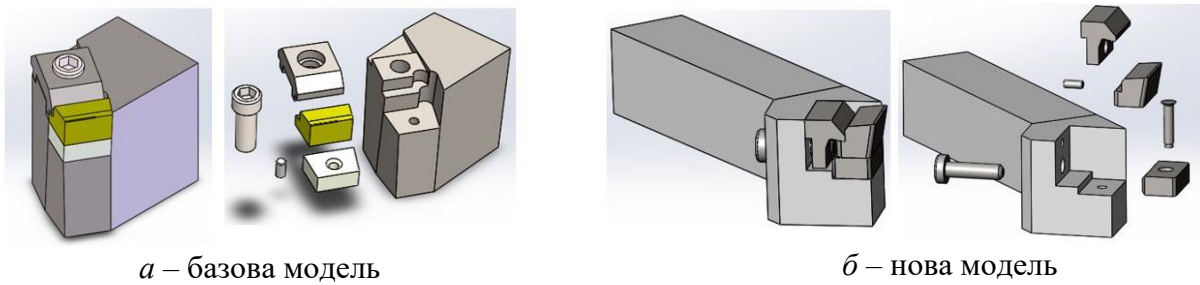


Рис. 1. Вузол кріплення різальної пластини базової і нової конструкції.

На основі базової конструкції (а) для підвищення ефективності лезової обробки на важких токарних верстатах була спроектована нова модель збірної ріжучого інструменту (б) у програмному пакеті SolidWorks (рис. 2).

З метою проведення порівняльного аналізу було виконано розрахунок напружено-деформованого стану різальних інструментів. Розрахунок проводився в пакеті програм SolidWorks Simulation. Кожна з моделей дослідження являє собою тривимірну конструкцію інструменту, навантажену відповідно до умов роботи і відповідним чином зафіксовану (рис. 3). Державка жорстко закріплена, сили різання додані до передньої і задньої поверхні

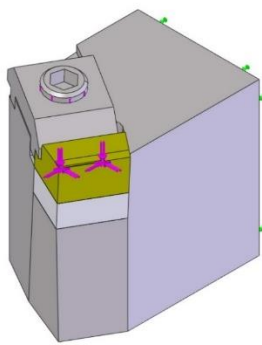
різального елемента, а також прикладена діюча сила на затиск прихвата конструкції. Крім того, враховується вплив температури в зоні різання.



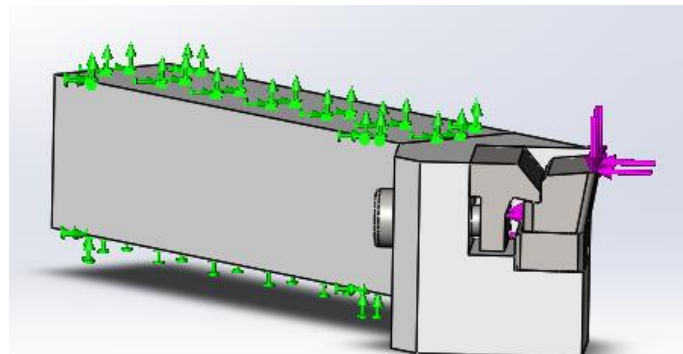
*a* – базова модель

*б* – нова модель

Рис. 2. Зовнішній вигляд збірних різців

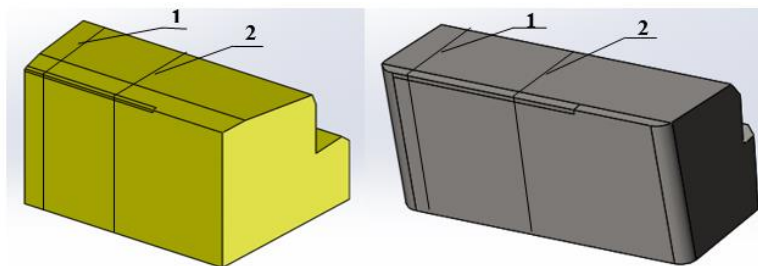


*a* – базова модель



*б* – нова модель

Рис. 3. Кріплення і зовнішні навантаження моделей конструкцій



*a* – базова модель

*б* – нова модель

Рис. 4. Перерізу аналізу напруги різальної пластини

З аналізу епюри розподілу еквівалентних напружень  $\sigma_e$  базової конструкції видно, що найбільш навантаженими елементами конструкції різця є передня поверхня різальної пластини. На основі даних розрахунків напружень, застосованих для випробувань базової конструкції, аналогічні режими різання були використані для нової конструкції, після чого проведено аналіз. По двох перетинах у базовій і новій моделях конструкцій різальних пластин було проведено аналіз контактних напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ . З графіків аналізу напружень  $\sigma_z$  різальної пластини перерізів 1 і 2 нової конструкції видно, що напруження нижчі за напруження, виявлені на графіках базової моделі конструкції.

Отже, застосування вдосконалених конструкцій збірного різального інструменту дозволяє підвищити міцність кріплення і стійкість інструменту завдяки гарантованому притиску різальної пластини по опорній поверхні під вершиною до базової поверхні гнізда корпусу.

## **ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ**

**Мироненко Є.В., Міранцов С.Л., Гузенко В.С., Гузенко Д.Є.**  
(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Токарна обробка валків прокатних станів характеризується значною питомою часткою часу в загальній трудомісткості виготовлення валків. У зв'язку із цим підвищення ефективності токарної обробки прокатних валків є актуальним і важливим науково-практичним завданням, що постає перед підприємствами-виробниками прокатного встаткування.

У структурі технологічних процесів виготовлення подібних деталей переважає токарна обробка, яка виконується на важких токарних верстатах, причому близько 70 % часу витрачається на точіння зовнішніх циліндричних поверхонь [1 - 2].

Одним з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності процесів механічної обробки є застосування різальних інструментів зі зносостійкими покриттями [3 - 5] для напівчистової, і навіть, для чорнової токарної обробки деталей важкого машинобудування, у тому числі прокатних валків з великими діаметрами бочки валка, що вимагає у свою чергу багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу й параметрів технологічних систем важких токарних верстатів.

Для підвищення ефективності токарної обробки на важких токарних верстатах розроблений програмно-математичний комплекс (ПМК) для багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу й технологічної системи важких токарних верстатів.

На основі аналізу предметної області багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу механічної обробки, із застосуванням методів штучного інтелекту, для розробки ПМК, призначеного для визначення оптимальних режимів різання, застосований шаблон проектування «Стратегія» (англ. Strategy) [6,7].

Для виконання задачі багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу механічної обробки в ПМК закладені можливості:

- визначення параметрів інструменту (різальних пластин), з наступним формуванням і нагромадженням бази інструмента;
- завдання параметрів оброблюваної деталі: вказівка матеріалу й зусиль різання;
- для різних параметрів технологічного переходу передбачена можливість сформулювати таблицю нормативних параметрів, по якій буде зроблене навчання нейронної мережі;
- завдання параметрів технологічного переходу;

- автоматичний вибір для переходу з бази найбільш раціональних інструментів.

- побудова графіків, що містять значення цільових функцій оптимізації для обраного інструменту;

- відображення інформації про оптимальні режими різання, отримані у ході оптимізації.

Використовуючи результати роботи ПМК для автоматизації процесу отримання моделей й багатокритеріальної оптимізації можна робити висновки про подальшу доцільність використання інструменту для виконання механічної обробки. Також результати допомагають визначити технологічні ніші використання інструменту та, можливо, внести корективи у вже існуючі технологічні процеси механічної обробки.

Результати оптимізації зберігаються у двох форматах:

- формат, що дозволяє повторно переглянути результати проведеної оптимізації безпосередньо в ПМК для автоматизації процесу отримання моделей й багатокритеріальної оптимізації без повторного проведення процесу оптимізації;

- текстовий файл, що містить інформацію про проведену оптимізацію для подальшого парсингу та використання у сторонніх додатках.

Також на підставі проведених досліджень систематизовані й проаналізовані результати проведених на базі ПрАТ НКМЗ стікісних випробувань токарних різців із твердосплавними ріжучими пластинами зі зносостійкими покриттями різних фірм-виробників при напівчистовій обробці валків прокатних станів з великими діаметрами бочки валка з метою подальшого формування комплексу рекомендацій з ефективного використання цих твердих сплавів у зазначеній області.

**Література:** 1. Мироненко, Е. В. Общая структура математической модели для определения энергоэффективных технологических параметров токарной обработки деталей тяжелого машиностроения / Е. В. Мироненко, Г. П. Клименко, В. В. Калиниченко // Резание и инструмент в технологических системах : Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2015. – Вып. 85. – С. 202–210. 2. Мироненко, Е. В. Научные основы создания систем агрегатно-модульных инструментов для тяжелых токарных станков : дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01. / Е. В. Мироненко ; Донбасская гос. машиностроительная академия. – Краматорск, 2003. – 417 с. 3. Верещака, А. А. Режущие инструменты с модифицирующими износостойкими комплексами / А. А. Верещака, А. С. Верещака, М. И. Седых. – М. : МГТУ «Станкин», 2014. – 195 с. – ISBN 978-5-702S-0712-6. 4. Верещака, А. А. Функциональные покрытия для режущих инструментов / А. А. Верещака // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (48). – С. 25–39. 5. Верещака, А. С. Методологические принципы создания функциональных покрытий для режущего инструмента / А. С. Верещака, С. Н. Григорьев, В. П. Табаков // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 3. – С. 18–39. 6. Шаллоуей, Алан. Шаблоны проектирования. Новый подход к объектно-ориентированному анализу и проектированию: Пер. с англ. / Алан Шаллоуей, Джеймс Р. Тротт – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 288 с. 7. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. – Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. - 1104с.

## ВПЛИВ КАРБІДНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА РЕКРИСТАЛІЗАЦІЇ НА ПОВЕДІНКУ ЦЕМЕНТИТУ ПРИ ДЕФОРМУВАННІ

<sup>1</sup>Миронова Т.М., <sup>2</sup>Ашкелянecь А.В.

(<sup>1</sup>УДУНТ, м. Дніпро, Україна, <sup>2</sup>НТУ «ХП», м. Харків, Україна)

Дактильованими називають білі чавуни, що мають підвищену пластичність за рахунок стимулювання карбідних перетворень в легованому евтектичному цементиті. Структура цих сплавів, що утворилася під час кристалізації, істотно змінюється при обробці тиском. Евтектичні аустенітно-карбідні колонії під дією і напруги розтягування та стискання формозмінюються: згинаються, сплющуються, подрібнюються, витягаються. Ці зміни залежать від морфології колоній, їх орієнтування, ступеня деформації, від властивостей та природи самих евтектичних фаз. Поведінка карбідних складових визначає зміну структури колоній під час деформування. При легуванні білого чавуну ванадієм у пересиченому цементиті в процесі гарячої деформації в інтервалі температур 950...1100°C протікає карбідне перетворення  $(Fe,V)_3C \rightarrow VC + \text{аустеніт} + Fe_3C$ , що сприяє з одного боку підвищенню його пластичності, а з іншого боку – збільшенню ступеня зміцнення [1].

У роботі досліджували білий чавун, що містить 2,78...2,89, % вуглецю, 2,5...2,6% ванадію та 0,6...0,7% хрому. Гарячу деформацію проводили методом прокатки на лабораторному стані в три проходи з послідовністю 30, 25 і 20% (всього на 75%) та у два проходи на 45 і 20% при 1050°C з проміжним підігрівом протягом 15 хвилин.

Встановлено, що при гарячій прокатці утворюється текстура деформації ледебуритного цементиту. Карбідне перетворення у сплаві, легованому ванадієм, ініціює додаткову площину ковзання та сприяє зниженню напруги течії в процесі гарячого деформування. При короткочасних проміжках (15 хвилин) між проходами під час гарячої прокатки ( $T = 1050^\circ C$ ) рекристалізація цементиту не встигає пройти [2].

Після деформації в процесі відпалу в цементиті експериментальних чавунів відбувається зворот або рекристалізація залежно від температури нагрівання. Структура цементиту, що формується при цьому, впливає на його поведінку при повторній деформації, особливо якщо вона відбувається при температурі нижче 950°C, яка є температурою початку рекристалізації.

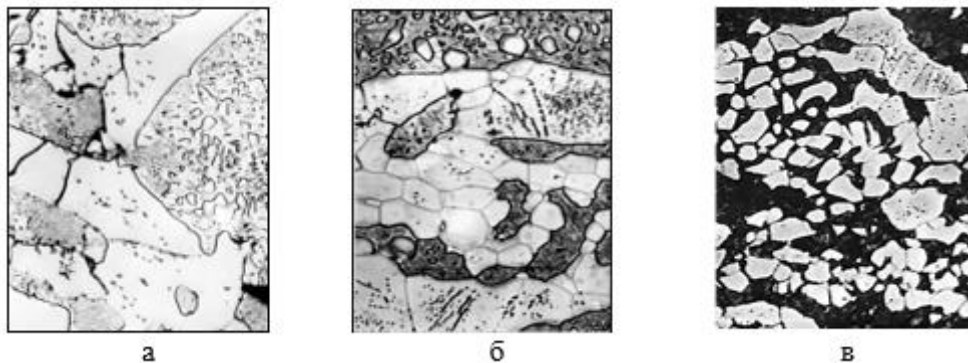
Рентгеноструктурний аналіз зразків прокатаних в один і кілька проходів принципових відмінностей не виявив. Тобто дефектність цементиту зростала, а релаксаційні процеси в цементиті за такий короткий час не встигали відбуватися з огляду на наявність інкубаційного періоду рекристалізації.

Прокатаний чавун піддавався після деформаційному 5-ти годинному відпалу при дореакристалізаційних температурах 750°C, 850°C, а також і вище температури початку рекристалізації цементиту.

Відпалені зразки знову піддавали деформації, а саме осаджуванні у тому ж напрямку, що й попередня прокатка на 50%. Повторну деформацію проводили також за температур до - і вище  $T$  початку рекристалізації евтектичного цементиту: при 900°C, 950°C, 1000-1020 та 1050°C.

При повторному осадженні попередньо прокатаних зразків при температурі вище 1020°C різниця режимів проміжного відпалу нівелюється, точніше, формозміна цементиту, незалежно від передісторії його структурування, зводиться до аномально пластичної поведінки. Тобто переважає пластифікуючий (дактильний) механізм карбідного перетворення, яке знову має місце вже в цементиті, в якому вже відбувалося виділення карбідів ванадію раніше. Переважає утворення волокнистої структури, розмір карбідних частинок у середньому змінюється несуттєво.

Інакше протікає повторна деформація при дорекристалізаційних температурах. Температура проміжного відпалу в даному випадку грає значну роль. У зразках, відпалених при температурах вище 950°C цементит покривається мережею великокутових кордонів, але на ділянках, близьких до цих кордонів при 5-ти годинній витримці відбувається його часткова дисоціація. Витримка при нижчих температурах 750 та 850°C не призводить до подібних структурних змін – розвивається лише повернення I та II роду. У процесі подальшої теплої деформації при температурі нижче 950°C (нижче початку рекристалізації цементиту, але при якій вже відбувається зворот), в структурі таких зразків переважає подрібнення цементитних кристалів, яке у ряді випадків супроводжується утворенням мікротріщин (рис. 1 а), як на межі Fe<sub>3</sub>C/аустеніт, так і безпосередньо в самому цементиті.



а) при 750 С; б) при 1000 С; в) при 1050 С. ×850:

Рис. 1. Структурні перетворення в дактильованому чавуні в процесі повторної деформації при 950 °С після відпалу

У той же час у попередньо рекристалізованому при 950...1000 С цементиті навіть при такій низькій температурі ніяких руйнувань не спостерігається, навпроти він успішно розділюється по великокутових межах, а також по міжфазних кордонах VC/Fe<sub>3</sub>C, що утворилися. Карбідні включення стають більш рівновісні після такої обробки (рис. 1 б,в), розмір їх зменшується. Якщо до повторного стискання середній розмір евтектичних колоній становив 45 мкм у повздовжньому перерізу та 20 мкм у поперечному, то після застосованого теплового стискання – 10,2 та 5,2 мкм відповідно.

**Література:** 1. Миронова Т.М. Використання фазових перетворень в евтектичних карбідах для підвищення пластичності сталей та чавунів/ МТОМ, 2017. №1.С.15-19. 2. Mironova T., Proidak S. Peculiarities of Alloying Effect on the Eutectic Cementite Behavior Under Hot Rolling. New Trends In Production engineering. Zakopane, 2019, V. 2, Issue. P. 289-300. DOI 10.2478/ntpe-2019-0093.

## **ВПЛИВ ДОРНУВАННЯ НА КІНЕТИКУ РОЗВИТКУ ТРІЩИН ТА ЗАЛИШКОВУ ДОВГОВІЧНІСТЬ АЛЮМІНІЄВИХ ПЛАСТИН З ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ОТВОРАМИ**

**Окіпний І.Б., Сенчишин В.С., Гоголюк В.П., Ющишин М.В.**  
(ТНТУ ім. І.Пулюя, Україна)

Підвищення тримкості з'єднань дорнуванням отворів в авіаційних конструкціях є надзвичайно важливим для забезпечення безпеки їх експлуатації. Експлуатаційні навантаження можуть призводити до втоми, пошкодження структури матеріалу, а також накопичення дефектів. Аналіз літературних даних свідчить про велику кількість випадків експлуатаційних пошкоджень силових елементів конструкцій різних типів авіаційних конструкцій, зокрема у вигляді тріщин, спричинених втомою матеріалу.

Поверхнєве пластичне деформування широко використовується для підвищення довговічності функціональних і технологічних отворів відповідальних конструкцій. Відомі праці, де встановлено позитивний вплив дорнування в елементах конструкції з отворами на довговічність, мікротвердість, шорсткість та залишкові стискаючі напруження.

В роботі досліджено основні закономірності впливу натягу дорнування на поширення втомних тріщин і залишкову довговічність пластин із алюмінієвого сплаву з експлуатаційними пошкодженнями в околі кріпильних отворів за сталої амплітуди навантаження.

Плоскі зразки з алюмінієвого сплаву Д16чТ з кутовою тріщиною на краю центрального отвору випробовували на циклічну тріщиностійкість за одновісного розтягу. Для дослідження впливу натягу дорнування на кінетику втомних тріщин, використовували три типи зразків, виготовлених згідно ДСТУ 2444-94, з діаметром отвору 8, 10 та 12 мм: ширина робочої ділянки – 60 мм; довжина робочої ділянки – 120 мм; товщина – 6 мм.

Для зміцнення отвору використовували дорни з центральною калібрувальною частиною діаметром 8, 10 та 12 мм, виготовлені із сталі марки 40Х та загартовані до твердості 35-38 НРС. Швидкість переміщення дорну складала 0,1 мм/с.

Кількість циклів затримки росту тріщини після дорнування зростає із збільшенням діаметру отвору. Це пояснюється зміцненням матеріалу в пластичній зоні після дорнування та створенням залишкових стискувальних напружень в околі отвору, зона дії яких збільшується із збільшенням діаметру отвору.

Критична довжина тріщини на поверхні зразка, за якої тріщина стає наскрізною, значно збільшується із збільшенням діаметру отвору від 8 мм до 12 мм після дорнування.

Досліджено, що дорнування значно підвищує залишкову довговічність пластин із алюмінієвого сплаву Д16чТ з функціональними отворами у порівнянні із незміцненими зразками.

## ПЕРШОПРИЧИНА ВІДХИЛІВ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ ХОДОВИХ ГВИНТІВ

Онисько О.Р., Фарилюк Р.М.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, Україна)

Широке використання ходових гвинтів є причиною пильної уваги з боку виробників щодо можливостей збільшення продуктивності їхнього виготовлення за умови забезпечення їхньої точності. Одним із прийнятих параметрів точності нарізей є їхній профіль і відповідно профільний кут, величина якого за різними стандартами є  $29^\circ$ , або  $30^\circ$ . (рис.1)

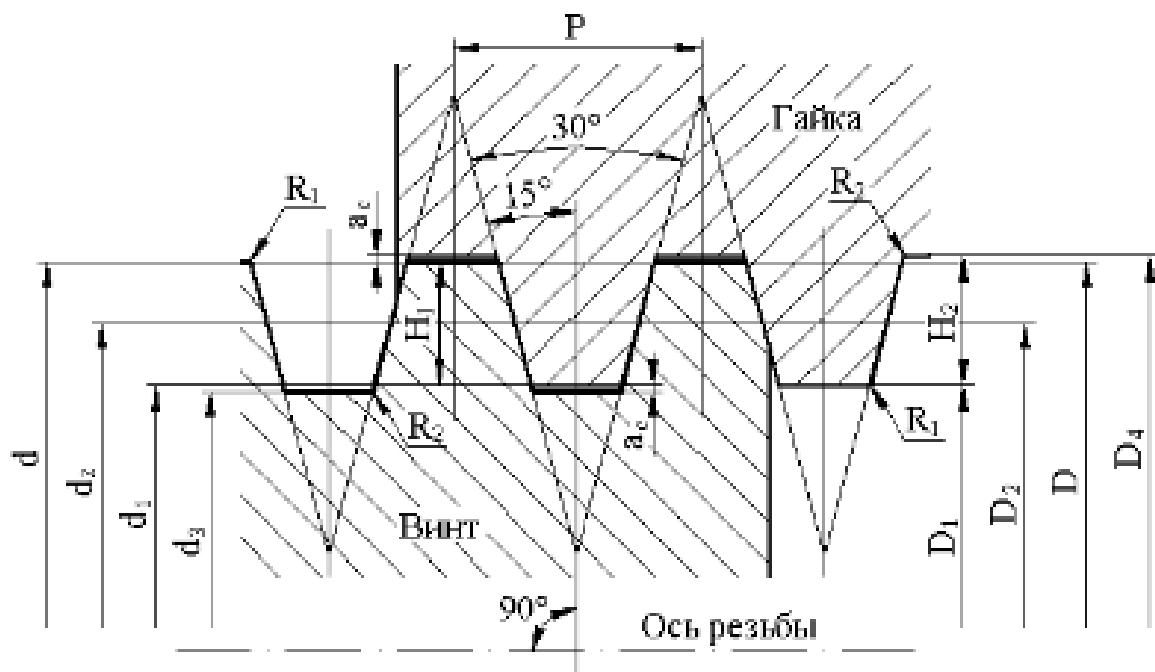


Рис. 1. Профіль трапецеїдальної нарізі за стандартом ГОСТ 9484-81

На рис. 2 представлено фото (а) і схему (б) установки різця для формування трапецеїдального профілю ходового гвинта [1]. Здебільшого застосовують кут нахилу різальної крайки різця  $\lambda$ , який є близьким до кута підйому нарізі гвинта.



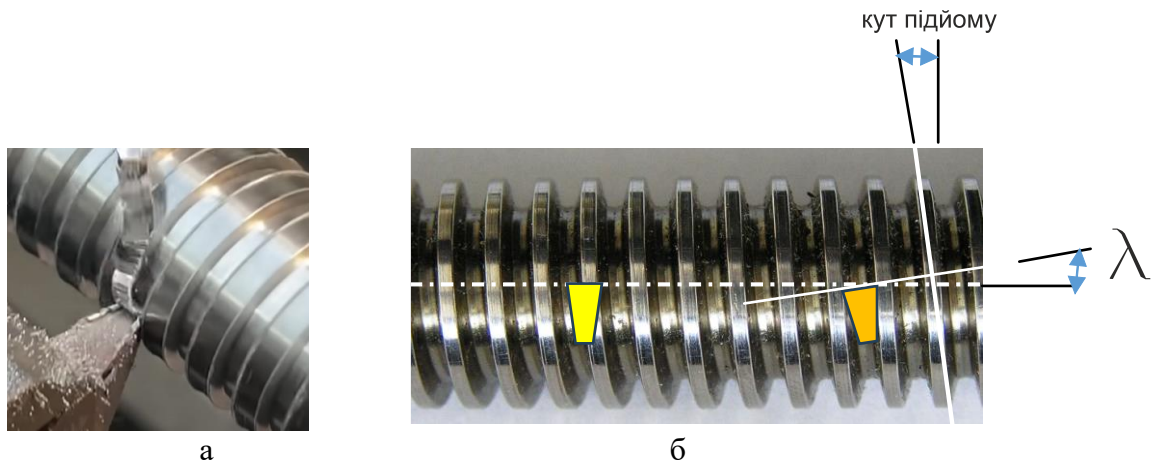


Рис. 2. Установлення різця для виготовлення трапецеїдальної ходової нарізі III: а – фото різця у процесі формування гвинтової поверхні; б– схема установки нарізального різця з кутом нахилу різальної крайки  $\lambda=0$  (жовтий) та  $\lambda>0$ .

Згідно із теоретичними викладками, презентаціями та пропозиціями [2, 3] бічний профіль такої нарізі буде мати не лінійний характер  $Z(x) = tg(15^\circ)x$ , а визначатиметься трансцендентним рівнянням:

$$Z(x) = tg(\mu)x \frac{\sin \tau}{\sin \eta} - \frac{P}{2\pi} \tau, \quad (1)$$

де

$$tg \mu = \frac{P \cos \lambda}{2H} \cos \left[ \arctg \frac{P \sin \lambda}{2H} \right]; \quad \eta = \arctg \left( \frac{P \sin \lambda}{2H} \right)$$

Рівняння (1) містить серед своїх параметрів кут нахилу різальної крайки  $\lambda$ . Для нарізей з великим кроком, цей кут може сягати значень  $10^\circ$ - $15^\circ$  і тому мати суттєвий вплив на точність нарізі, оскільки замість прямолінійного характеру бічна сторона профілю нарізі матиме явно виражену криволінійність

#### Література:

1. Oleh Onysko. The strength and accuracy of lead screws - as a function of the geometry of the cutting tool or out-of-standard views on the formation of helical surfaces. Keynote Speech Topic. International Conference on Materials and Technologies in Engineering (MTE-2023), May 16-18, 2023, Lutsk, Ukraine, – P.21.
2. Онисько О.Р., Лукань Т.В. Основи проектування різців для точіння конічних замкових нарізей. *Матеріали тридцять першої міжнародної наукової конференції «Нові технології у машинобудуванні»*. Залізний порт - Харків 2021, С 24-25.
3. Онисько О.Р., Фарилюк Р.М. Проблеми точності профілю велико-крокової нарізі, точеної з допомогою двониткового різця. *Сучасні технології у промисловому виробництві матеріали та програма X Всеукраїнської науково-технічної конференції* (м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.). С. 63-64. <https://conf.teset.sumdu.edu.ua/>

# РОЗРОБЛЕННЯ РОБОЧОГО СОПЛА ПНЕВМОАБРАЗИВНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ В ЗАКРИТИХ КАМЕРАХ

**Павленко І. В., Бага В. М., Яковчук В. В.**

*(Сумський державний університет, м. Суми, Україна)*

Абразивоструменеве оброблення деталей важкого машинобудування є невід'ємною складовою багатьох технологічних процесів оброблення деталей складної геометричної форми.

Абразивоструменеві камери зазвичай працюють на ежекторній схемі роботи, яка має основний недолік, який полягає у неможливості досягнення повітряно-абразивним потоком швидкості, необхідної для видалення достатньої кількості значних забруднень [1].

Також важливим є раціональний вибір матеріалу сопла, який повинен мати високу зносостійкість [2]. Форма сопла теж безпосередньо впливає на формування потоку і, відповідно, на ефективність оброблення поверхонь [3].

Метою роботи є модернізація процесу пневмоабразивного оброблення деталей важкого машинобудування в закритих камерах. Під час дослідження експериментально доведено доцільність використання напірної схеми в абразивоструменевих камерах. Це дозволило суттєво інтенсифікувати процес оброблення корпусних деталей.

За результатами виконаних досліджень розроблено нове, більш ефективне сопло. Також запропоновано використання напірної схеми в закритих камерах, що у 8–10 разів підвищує ефективність абразиво-струменевого оброблення.

Основні результати були одержані у рамках виконання науково-дослідної роботи «Розробка мобільно ежекторно-очисної установки для відновлення будівель, споруд та техніки після пожеж у військовий період» (держреєстрація № 0124U000636).

## **Література:**

1. Melentiev R., Fang F. (2018). Recent advances and challenges of abrasive jet machining. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 22, pp. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2018.06.001>
2. Sychuk V., Zabolotnyi O., McMillan A. (2015). Developing new design and investigating porous nozzles for abrasive jet machine. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 53, pp. 600–605. <https://doi.org/10.1007/s11106-015-9655-1>
3. Baha V., Mižáková J., Pavlenko I. (2023). An increase in the energy efficiency of abrasive jet equipment based on the rational choice of nozzle geometry. Energies, Vol. 16(17), 6196. <https://doi.org/10.3390/en16176196>

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБ'ЄДНАННЯ СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ ЧЕРЕЗ ДОДАТОК

<sup>1</sup>Павлик Д.А., <sup>1</sup>Бережна О.В., <sup>2</sup>Станков Д.М.

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна, <sup>2</sup>НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна)*

У сучасному світі, де глобалізація та технологічні інновації відіграють ключову роль у розвитку бізнесу, створення програми, що збирає в одному місці різні підприємства, може принести значні вигоди для світової економіки. Платформа, що об'єднує підприємства, може забезпечити широкий доступ до товарів та послуг, які раніше могли бути недоступні через географічні, культурні або мовні бар'єри. Наприклад, малі компанії з країн, що раніше стикалися з труднощами в просуванні своїх продуктів на світових ринках через відсутність доступу до великих дистриб'юторів або ресурсів для реклами, тепер можуть представити свої товари та послуги на глобальному рівні через таку програму. Крім того, платформа може значно спростити процеси торгівлі, скоротивши час та ресурси, які раніше були потрібні для пошуку партнерів, погодження умов угод та оформлення документації. Підприємства можуть легко знаходити партнерів для співробітництва, укладати угоди та здійснювати платежі через одну централізовану платформу, що спрощує та прискорює весь процес [1]. Потенційні клієнти, зацікавлені у продукції чи послугах, можуть легко знайти потрібну інформацію та зв'язатися з компанією без посередників. Це створює більш прямі та прозорі відносини між підприємствами та клієнтами, що може сприяти збільшенню обсягу продажу та покращенню задоволеності клієнтів. Використання такої платформи дозволяє компаніям зосередитись на якості своїх товарів чи послуг, замість витратити ресурси на пошук нових клієнтів [2]. Це може стимулювати інновації та покращення якості продукції, що в свою чергу може призвести до зростання конкурентоспроможності компанії на ринку. Таким чином, використання програми для прямого контакту з клієнтами може принести компаніям значні економічні та конкурентні переваги, скорочуючи витрати на маркетинг та покращуючи ефективність продажів. Для малих підприємств, особливо з країн що розвиваються, доступ до світових ринків часто є ключовою проблемою. Однак, шляхом використання програми, яка об'єднує різні підприємства, ці компанії можуть отримати доступ до глобальних ринків, що може суттєво збільшити їхню конкурентоспроможність. Замість того, щоб обмежуватись місцевими або регіональними ринками, малі підприємства можуть використовувати платформу для представлення своєї продукції чи послуг на світовому рівні. Це відкриває перед ними нові можливості для залучення клієнтів та збільшення обсягів продажу. Платформа може допомогти малим підприємствам налагодити контакти з великими компаніями або потенційними партнерами для співпраці. Зрештою, використання платформи для світової торгівлі може допомогти малим підприємствам диверсифікувати свій бізнес та зменшити залежність від одного ринку чи одного виду продукції. Це може зробити їх більш стійкими до змін в економічному середовищі та підвищити їх

шанси на виживання та успішний розвиток у довгостроковій перспективі [3]. Таким чином, використання програми, що об'єднує всі підприємства, може значно збільшити конкурентоспроможність малих підприємств, надаючи їм доступ до глобальних ринків, нових партнерів та клієнтів, а також сприяючи їх диверсифікації та стійкості. Однією з головних перешкод міжнародного бізнесу є культурні відмінності та мовні бар'єри. Однак, платформа, яка об'єднує підприємства з усього світу, може відіграти важливу роль у пом'якшенні цих відмінностей та зміцненні міжкультурного розуміння. Шляхом надання можливості компаніям представляти свої продукти чи послуги на одній спільній платформі, додаток може стимулювати обмін культурними дослідженнями та ідеями між різними країнами та регіонами. Ще одним важливим аспектом є те, що програма може стимулювати обмін ідеями та інноваціями між підприємствами з різних культур. Компанії можуть дізнаватися про найкращі практики та методи роботи з інших країн, а також адаптувати їх під свої потреби. Користувачі можуть оцінювати рейтинги та відгуки про компанії з усього світу, що допоможе їм приймати обґрунтовані рішення щодо вибору партнерів чи постачальників [4]. Проте, створення програми, яка об'єднує безліч підприємств та обробляє величезну кількість інформації про них, несе значні ризики у сфері безпеки даних. Зламвання, витік або зловживання цими даними можуть мати серйозні наслідки для компаній та їх клієнтів. Одним із головних ризиків є загроза кібератак. Хакери можуть спробувати проникнути в систему програми, щоб отримати доступ до чутливої інформації про підприємства та їх клієнтів. Це може призвести до витоку персональних даних, фінансової інформації або комерційних секретів, що зашкодить репутації компаній та спричинить втрату довіри з боку клієнтів. Більше того, недостатній захист даних може призвести до випадкового або навмисного розкриття конфіденційної інформації. Наприклад, неправильна конфігурація бази даних або слабкі заходи автентифікації можуть дозволити несанкціонованим особам отримати доступ до даних, які не повинні бути доступні.

Ще одним важливим аспектом є дотримання законодавства щодо захисту даних. У різних країнах діють різні закони та правила щодо обробки та зберігання персональної інформації. Порушення цих законів може призвести до серйозних юридичних наслідків для компаній, включаючи штрафи та судові позови. Зрештою, варто враховувати і внутрішні загрози безпеці даних, такі як дії несумлінних співробітників чи підрядників. Недотримання правил безпеки, втрата або крадіжка облікових даних може призвести до витоку конфіденційної інформації та завдати серйозної шкоди репутації компанії. Загалом, проблеми безпеки та конфіденційності даних становлять серйозний ризик для додатку, що об'єднує всі підприємства, і вимагають серйозної уваги та заходів щодо забезпечення безпеки інформації [5]. При створенні програми, яка об'єднує всі великі та малі підприємства, існує небезпека виникнення нерівності у доступі до ресурсів та можливостей. Великі корпорації, що мають великі фінансові та технічні ресурси, можуть мати переваги перед малими підприємствами. Це може призвести до того, що великі компанії отримають домінуюче становище на

платформі, обмежуючи доступ малих підприємств до ресурсів та ринків. Одним із можливих наслідків такої нерівності є обмеження конкуренції. Для запобігання цим проблемам необхідно уважно регулювати ринок і забезпечувати рівні можливості всіх учасників [6]. Розробка та підтримка програми, що об'єднує всі великі та малі підприємства, є складним технічним завданням, яке може зіткнутися з низкою проблем і викликів. Загалом, технічні проблеми та перешкоди можуть серйозно вплинути на розробку та функціонування програми, яка об'єднує всі підприємства. Для мінімізації ризиків необхідно провести ретельний аналіз вимог, інвестувати у розробку високоякісних технічних рішень та забезпечити надійне тестування та моніторинг системи [7]. При створенні додатка, що поєднує всі великі і малі підприємства, існує значний ризик пов'язаний з регулюванням і законодавством. Один з основних ризиків – це різноманітність законодавства у різних країнах. Кожна країна має свої власні правила та вимоги щодо обробки даних, захисту споживачів, оподаткування, інтелектуальної власності та інших аспектів діяльності підприємств. Дотримання цих норм може бути складним завданням, особливо для малих підприємств з обмеженими ресурсами. Притому, в міру розширення діяльності на міжнародний рівень, програма може підпадати під додаткові вимоги міжнародних організацій та угод. Наприклад, у Європейському Союзі діє Загальне регулювання захисту даних (GDPR), яке встановлює жорсткі вимоги до обробки персональних даних, і його дотримання є обов'язковим для всіх компаній, що здійснюють діяльність на території ЄС. Регулювання може змінюватися з часом, що створює невизначеність та додаткові ризики для підприємств. Нові закони та нормативні акти можуть раптово вступати в силу або змінюватися, що може вимагати значних змін у бізнес-процесах та технологіях додатку [8].

Для мінімізації ризиків, пов'язаних з регулюванням та законодавством, компанії повинні уважно відстежувати зміни у законодавстві та забезпечувати дотримання всіх застосованих нормативних актів. Це може включати консультації з юристами або фахівцями з дотримання законодавства та розробку відповідних політик та процедур у рамках додатка. Також важливо мати гнучку та адаптивну архітектуру програми, здатну швидко реагувати на зміни в регулюванні та законодавстві.

#### **Література:**

1. Франкопан П. Нові шовкові дороги: сьогодення і майбутнє світу. Bloomsbury Publishing. 2018 р. 448 с.
2. Піс Е. Легкий стартап: як сучасні підприємці використовують постійну інновацію для створення радикально успішних бізнесів. Crown Business. 2011 р. 336 с.
3. Берлінгем Б. Малі велетні: компанії, велич, а не розмір. Portfolio. 2005 р. 256 с.
4. Мейер Е. Карта культури: подолання невидимих меж глобального бізнесу. PublicAffairs. 2014 р. 288 с.
5. Шнайер Б. Дані та Голіаф: приховані битви за збір ваших даних та контроль над вашим світом. W. W. Norton & Company. 2015 р. 400 с.
6. Пікетті Т. Капітал в XXI столітті. Harvard University Press. 2013 р. 696 с.
7. Кім Д., Бер К., Спаффорд Д. Проект Фенікс: роман про IT, DevOps та допомогу вашому бізнесу перемагати. IT Revolution Press. 2013 р. 376 с.
8. О'Мара М. Код: кремнієва долина та перебудова Америки. Penguin Press. 2019р. 528 с.

## ПРО ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК ПРИ РЕВЕРСИВНОМУ ІНЖИНІРИНГУ В УМОВАХ ДРІБНОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

<sup>1</sup>Пермяков О.А., <sup>2</sup>Ткаченко Т.Ю.

(<sup>1</sup>НТУ «ХПИ», м. Харків, Україна, <sup>2</sup>ПрАТ «Карлівський машинобудівний завод», м. Карлівка, Україна)

Промислове виробництво і пов'язані з ним інженерні, технологічні та наукові розроблення є одним із найважливіших напрямів розвитку інженерної думки, що стало підґрунтям усіх промислових революцій і зрештою визначило розвиток суспільства в технологічному й економічному плані, сприяло досягненню наявного рівня життя. Це пов'язано насамперед із розвитком нових технологій і підвищенням рівня діджиталізації суспільства, впровадженням сучасних технологій автоматизації всіх етапів виробничого процесу, продажів, післяпродажного обслуговування (CAD/CAM/CAE, IoT, CALS тощо). Тож, щоб відповідати вимогам продуктивності, безпеки, якості, стійкості та, зрештою, конкурентоспроможності підприємства, необхідно замінювати усталені традиційні практики (багато в чому ще з пострадянських часів), процеси та методи на сучасні, передові, наукомісткі версії. Це потребує певних, а здебільшого й досить значних, інвестицій, тому дослідження, розробки та інновації в цій галузі є актуальними та найважливішими напрямками інвестицій. Особливо це важливо для гнучких виробництв (мікро-, малих і середніх підприємств), які мають обмежені фінансові ресурси та технічні можливості.

В умовах високого темпу розвитку виробництва машинобудівної продукції, яка за своєю якістю повинна повністю задовольняти вимоги споживача і повинна виводитися на ринок у найкоротші терміни, велику роль відіграє технологічна гнучкість виробництва та можливість його швидкого переоснащення на випуск нових виробів. В умовах сьогодення виробництва не в повному обсязі використовують можливості сучасних верстатів з ЧПК із точки зору забезпечення ефективності дрібносерійного виробництва, оскільки не мають чіткої картини завантаження верстатів, яка дала б змогу побачити техніко-економічний ефект від їх використання. При цьому виникає організаційно-технологічне протиріччя між структурою гнучкої виробничої системи, яка характеризується кількістю і якістю використовуваного технологічного обладнання, та прогнозованістю ступеню його завантаження, без якої неможливо виконувати нормування технологічних операцій та розрахунки витрат в умовах дрібносерійного виробництва. Для вирішення цього протиріччя технологічна підготовка дрібносерійного виробництва повинна стояти на першому місці, а

питання прогнозування та визначення раціонального завантаження верстатів з ЧПК мати теоретичне та практичне обґрунтування.

Мета роботи передбачає вирішення актуального науково-технічного завдання підвищення ефективності реверсивного інжинірингу зношених деталей та забезпечення раціонального завантаження металорізальних верстатів з ЧПК шляхом створення системи критеріїв та принципів групування деталей при підготовці дрібносерійного виробництва з урахуванням термінів виготовлення та графіків випуску продукції підприємством.

В основу розробки технологічного процесу виготовлення деталей традиційно покладено технічний та економічний принципи. Згідно першого принципу технологічний процес, що проектується, повинен забезпечити виконання усіх вимог робочого креслення деталі та технічних умов. Згідно другого принципу – виготовлення деталі повинно відбуватися з мінімальною трудомісткістю та собівартістю. Проектування технологічного процесу – це багатоваріантна техніко-економічна задача, яка відзначається складністю та трудомісткістю. Для виготовлення однієї і тієї ж порівняно простої деталі може бути розроблено кілька різних технологічних процесів, які повністю забезпечують вимоги робочого креслення та технічних умов, але відрізняються за техніко-економічними показниками. Технічний та економічний принципи проектування технологічного процесу, відображаючи різні аспекти виготовлення деталей, знаходяться між собою у протиріччі. Розв'язання даного протиріччя досягається шляхом компромісу та багатокритеріальної оптимізації технологічного процесу, методики якої добре описані та відомі для умов багатосерійного та масового виробництв.

На сьогодні у реноваційних галузях найрозвиненіших країн світу задіяне близько 30% технологічного обладнання та робочої сили. Такий обсяг залучених ресурсів в машинобудуванні пов'язаний з тим, що відновлення зношених деталей залишається дуже важливим резервом підвищення ефективності використання техніки, економії матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів.

Сучасний розвиток інформаційних технологій у машинобудуванні надає альтернативу існуючим процесам відновлення деталей. Можливість створення 3D-моделей виробів методами ручного комп'ютерного графічного дизайну або за рахунок 3D-сканування, їх подальший експорт до САМ систем та використання методів традиційного субтрактивного виробництва (на основі верстатів з ЧПК) або методів адитивного виробництва (3D-друк) значно спрощує процес технологічного проектування та виготовлення деталей.

Одним із напрямів забезпечення одиничного та дрібносерійного виробництв є реверсивний інжиніринг. Реверсивний інжиніринг (реверс

інжиніринг, зворотне проектування, reverse-engineering) – процес створення точної копії об'єкта за вже існуючим зразком. Зворотне проектування деталей потрібне, коли необхідне: відновлення втрачених деталей; відновлення зношених або деталей, що вийшли з ладу; збереження інформації про об'єкти для їхнього подальшого ремонту чи відтворення. Реверс-інжиніринг прискорює та спрощує виробничі процеси.

При проектуванні технологічного процесу визначальними чинниками є тип деталі та величина виробничої партії деталей. У разі невеликої кількості деталей у виробничих партіях (одиничне та дрібносерійне виробництво) технологічний процес зазвичай реалізується на універсальних верстатах з використанням універсальної технологічної оснастки. Технологічний процес найчастіше розробляють укрупнено. Деталізація операцій виконується при використанні верстатів із ЧПК у зв'язку з необхідністю підготовки керуючих програм. В такому випадку вважається, що використання верстатів з ЧПК іноді стає не ефективним в порівнянні з універсальними верстатами без ЧПК, оскільки перші значно дорожче других. Очевидно необхідно виявити переваги сучасних верстатів з ЧПК із точки зору забезпечення ефективності дрібносерійного виробництва. Для цього необхідно розглянути дану проблему з декількох сторін. По перше, при проектуванні процесу виготовлення деталей максимально використовувати метод реверсивного інжинірингу, що дасть змогу економити час при розробці та суттєво скоротити час технологічної підготовки виробництва за рахунок використання методів імітаційного моделювання. По друге, використати метод групової технології та групування деталей по технологічності конструкції. При написанні програм врахувати технологічність деталей та об'єднати програми для кількох деталей або груп. По третє, при групуванні деталей по технологічності врахувати графіки випуску продукції та врахувати актуальність деталі в конкретний момент часу виконання виробничого завдання.

Аналіз технологічності конструкції та використання методу групової технології з врахуванням графіків, при виготовленні деталі, дасть змогу розробити гнучку систему підготовки виробництва та збільшить завантаження верстатів з ЧПК в одиничному та дрібносерійному виробництві. Такий підхід дасть змогу малим виробничим підприємствам раціонально використовувати інвестиційні ресурси не тільки у вигляді коштів, а й у вигляді часу.

#### **Література:**

1. Реверсивний інжиніринг та впровадження сучасних методів і засобів контрольних операцій /Пермяков О.А., Яковенко І.Е., Калініченко В.А., Скиба О.С., Южкович П. //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні– Харків: НТУ «ХПІ», 2023. № 2 (8) 2023. – С. 23–31.



## АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТА ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ТА ІНСТРУМЕНТУ

Плаксіє А.А., Буйкус Я.О., Анайко С.О.

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Використання нанотехнології у машинобудуванні дає великі можливості у досягненні кращої якості продукції, більш потужного та продуктивного виробництва, надає більшу надійність, довговічність та точність у виготовленні та експлуатації. Нанотехнологія вивчає технологію виготовлення матеріалу або об'єкту на рівні нано, тобто виготовляє об'єкти розміром 1...100 нм, або матеріали, структура яких складається із частинок таких самих розмірів. Характерною особливістю розвитку провідних економічно розвинених країн є перехід до інноваційної економіки, впровадження перспективних розробок, принципово нових високих технологій в усі сфери діяльності людини. Одним з пріоритетних напрямків розвитку науково-технічного прогресу у світі є нанотехнології. При цьому даний напрямок найчастіше розглядається як важіль, здатний забезпечити політичну, фінансову та соціальну перевагу. Машинобудування є, в основному, споживачем об'ємних наноструктурних матеріалів (сталі, титан і його сплави, алюмінієві сплави, кераміка, пластмаси та композиційні матеріали), матеріалів з пам'яттю, порошкових матеріалів і комплектуючих нановиробів (гідро- та електрообладнання, нанопродукція приладобудування та ін.). Істотний ефект очікується від впровадження технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів на ріжучі інструменти, штампи і пресформи, а також зносо-, корозійно-, жаростійких і водовідштовхуючих покриттів деталей машин. Важливе значення має наноструктурна продукція триботехнічного напрямку та обладнання для обробки деталей з нанометровою точністю й для нанесення нанопокриттів. При цьому поліпшення відповідних якісних показників (міцність, твердість, пластичність, зносо-, жаро-, корозійна стійкість і т.д.) може бути досягнуто як за допомогою введення того чи іншого технологічного процесу (лиття, пресування, нанесення покриттів і т.д.) отримання нанопорошків, нанотрубок, фулеренів, так і за рахунок відповідних технологічних режимів виготовлення заготовок і виробів (рівнокутне пресування, термомеханічна обробка та ін.).

Як правило, для отримання порошків таких розмірів (1...100 нм) необхідно здійснити довготривалий та шкідливий процес помелу матеріалу. Іноді такого результату досягають за допомогою хімічних реакцій або за допомогою електромагнітного впливу (сюди ж входить лазерно-світловий вплив), тобто за допомогою хвильових явищ. Створивши нанопорошок, за допомогою його наночастинок можна відтворювати будь-яку потрібну структуру певного матеріалу із заданим комплексом експлуатаційних характеристик. Таким чином, змінюючи структуру матеріалу, створюють необхідні фізико-механічні властивості поверхневого шару, що дозволяє вплинути на експлуатаційну стійкість деталей машин та інструменту.

## ТЕХНОЛОГІЯ П'ЯТИКООРДИНАТНОЇ ОБРОБКИ НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Повстяной О.Ю., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Четвержук Т.І.  
(Луцький національний технічний університет м. Луцьк, Україна)

Більшість сучасних моделей фрезерних верстатів з ЧПУ (рис.1) здійснюють обробку заготовок по трьом незалежними координатами. При цьому різальний інструмент здійснює поздовжній (X) і поперечний (Y) рух у горизонтальній площині (паралельно робочому столу із закріпленою заготовкою), а також вертикальне (Z) переміщення (площині, яка перпендикулярна площині столу верстата). За наявності спеціального поворотного пристрою (для обробки заготовок циліндричної форми) одне з горизонтальних переміщень (найчастіше – поперечне, вздовж координати Y) замінюється поворотом заготовки навколо своєї поздовжньої осі.



Рис. 1. Високошвидкісна фрезерна обробка металу на верстаті з ЧПУ

У сучасному виробництві досить часто зустрічаються деталі, що не мають складних криволінійних поверхонь (зокрема, корпусні), але містять велику кількість складних конструктивних елементів: ребра жорсткості, скруглення, припливи, бобишки, а головне – велика кількість отворів, які знаходяться в різних площинах. Ці деталі є складним завданням для технолога-програміста, який розробляє технологію їх обробки. В цьому випадку, можливість складного взаємного переміщення ріжучого інструменту та заготовки щодо п'яти координат дає можливість проводити обробку великої кількості різних елементів на деталі за один технологічний установ заготовки на верстаті. Це значно економить час, що витрачається на виробництво деталі, крім того, забезпечує високу якість механічної обробки, дозволяючи отримувати деталі з високими вимогами до допусків форм і взаємного розташування поверхонь. Виходячи з вище сказаного стає очевидним, що при розширенні кінематики верстата до п'яти координат, його можливості зростають багаторазово.

**Література:** 1. Chetverzhuk, T., Zabolotnyi, O., Sychuk, V., Polinkevych, R., & Tkachuk, A. (2019). A method of body parts force displacements calculation of metal-cutting machine tools using CAD and CAE technologies. *Annals of Emerging Technologies in Computing (AETiC)*, Print ISSN, 2516-0281.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ТАЙМ-МЕНЕДЖМЕНТУ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

**Подлесний С.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Проблема ефективності тайм-менеджменту в навчальному процесі інженерних спеціальностей є актуальною та має важливе значення як у науковому, так і в практичному контексті. У загальному вигляді, ця проблема полягає в необхідності розробки та впровадження ефективних методів управління часом для студентів-інженерів, що дозволить їм краще планувати свою навчальну діяльність, збільшити продуктивність та якість освіти. Науковий інтерес до цієї проблеми обумовлений тим, що тайм-менеджмент може впливати на академічну успішність студентів, їх здатність до самоорганізації та ефективного використання часу, який є обмеженим ресурсом. З практичної точки зору, вирішення цієї проблеми має велике значення для підготовки кваліфікованих інженерних кадрів, здатних ефективно працювати в умовах сучасного ринку праці. Вміння правильно розподіляти свій час, встановлювати пріоритети та досягати поставлених цілей є ключовими для успішної інженерної діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що проблема ефективності тайм-менеджменту в навчальному процесі інженерних спеціальностей привертає увагу багатьох науковців [1, 2]. Незважаючи на значний прогрес у розумінні та застосуванні тайм-менеджменту в інженерній освіті, існують певні аспекти, які досі не вирішені. Наприклад, потребують подальшого дослідження питання інтеграції тайм-менеджменту в навчальні плани інженерних спеціальностей, а також розробка конкретних методик та інструментів для оцінки ефективності тайм-менеджменту в академічному середовищі. Також важливим є дослідження впливу культурних та індивідуальних факторів на використання технік тайм-менеджменту студентами-інженерами. Ці невирішені питання можуть стати основою для подальших досліджень та розробки нових підходів до викладання та застосування тайм-менеджменту в інженерній освіті, що і повинно бути в центрі уваги доповіді на цю тему.

Метою роботи є дослідження тайм-менеджменту як фактору підвищення студентами своєї продуктивності, покращання успішності студентів-інженерів та їх здатності до адаптації та самоорганізації, оцінка ефективності існуючих методик тайм-менеджменту, призначених для студентів інженерних спеціальностей.

Найпопулярніші техніки тайм-менеджменту, засновані на принципах постановки цілей, планування, розстановки пріоритетів, мотивації та делегування.

Система Б. Франкліна передбачає, що будь-яке глобальне завдання необхідно розділити на малі задачі, а ті, в свою чергу, – на ще менші задачі. Для

цього будується піраміда, де на першому етапі встановлюються життєві цінності людини, потім формується глобальна мета, встановлюється генеральний план досягнення цілей, на основі якого вже розробляються довгостроковий, короткостроковий план та план на день.

Метод Е. Ейзенхауера полягає в розстановці пріоритетів при вирішенні задач. Усі задачі необхідно поділити на чотири пріоритети: перші – важливі і термінові, другі – важливі і менш термінові, треті – менш важливі але термінові і четверті – менш важливі і менш термінові.

Принцип П. Паретто ґрунтується на потребі вирішувати, в першу чергу, життєво важливі проблеми, на які витрачається 20% часу та отримується 80% результату, а потім приступати до другорядних завдань, на які витрачається 80% часу і отримується 20% результату.

АБВ-аналіз опирається на класифікування та розставлення завдань за ступенем важливості. До завдань категорії А відносять найважливіші, які потребують негайного вирішення. Категорія Б – завдання, які слід було виконати, але наслідки від їх виконання не є незворотними. Категорія В – завдання, які не тягнуть за собою істотних наслідків для роботи.

Метод «Альпи» складається з п'яти етапів. На першому етапі розробляють перелік справ на завтра. На другому – визначається часовий інтервал на виконання кожної справи. На третьому – складається співвідношення «60:40», що передбачає 60% чітко розподіленого часу на виконання завдань на день, а 40 % – це резерв робочого часу та відпочинок. Четвертий етап – це розстановка пріоритетів та делегування завдань. П'ятий етап – це оцінювання та перенесення завдань.

Метод «Слона» заснований на поділі великої справи на підзадачі, тоді справа здається не такою масштабною. Приступаючи до роботи з малих задач поступово втягуєшся в процес, в результаті чого підвищується ефективність роботи.

Метод «З'їжте жабу на сніданок» полягає в тому, що робочий день необхідно розпочинати з найважливіших справ, не відкладаючи їх на потім, це дасть можливість відчувати задоволення від виконаної роботи і зітхнути з полегшенням.

Метод «Помідор» передбачає, що під час роботи необхідно робити невеликі перерви по 5 хвилин, тобто 25 хвилин працюємо, 5 відпочиваємо.

Принцип «Кошик для сміття» вказує на те, що працювати потрібно за чистим столом, прощатися з непотрібними паперами, оскільки 30% часу ми витрачаємо на пошук необхідного документа.

Getting Things Done (Як все зробити) полягає в тому, що необхідно розвантажити голову від зайвої рутинної інформації, перенісши її на зовнішній носій, зокрема в лотки з паперами, книжку-щоденник або електронний органайзер.

Personal Efficiency Program (Програма особистої ефективності) є методикою особистої ефективності, яка дає змогу навести порядок в справах, в паперових документах, у файлах на комп'ютері, в електронній пошті і в усій

особистій інформації, з якою Ви працюєте.

Всі вищеперераховані техніки підходять для здобувачів вищої освіти, які навчаються дистанційно. Запропоновані техніки можна комбінувати або на їх основі розробляти власні методики з урахуванням стилю, ритму життя, особистих якостей, сильних та слабких сторін. Основними «поглиначами часу» студенти називають соціальні мережі, перегляд телепрограм, синдром відкладання справ, відсутність мотивації, телефонні розмови, відсутність постановки цілей, особисту неорганізованість, зайву комунікабельність. Більшість студентів, які навчаються на останніх курсах, поєднують навчання з роботою, що зумовлено фінансовими труднощами та неможливістю власного забезпечення.

Для вирішення проблем тайм-менеджменту студентів, які навчаються дистанційно, запропоновано дотримуватися наступних рекомендацій:

- планування часу в короткостроковій, середньостроковій та довгостроковій перспективах;
- розстановка пріоритетів. Всі завдання необхідно розподіляти за важливістю та терміновістю;
- концентрація уваги на одній справі. Приступати до виконання нового завдання можна лише після завершення попереднього;
- виконання найважчих справ. Відкладати найскладніші справи не потрібно, адже існує ризик не виконати їх зовсім;
- позбавлення від «поглиначів часу»;
- аналіз досягнень. Необхідно регулярно аналізувати свої досягнення та недоліки в навчанні за день, тиждень чи місяць;
- чистота робочого місця. На робочому столі студента все повинно лежати на своєму місці;
- підвищення мотивації. Необхідно пам'ятати про кінцеву мету, постійно візуалізувати те, що планується досягти.

Підсумком роботи є висновок, що застосування принципів тайм-менеджменту сприяє підвищенню продуктивності та успішності студентів-інженерів. Студенти, які використовують планування та встановлення пріоритетів, краще справляються з навчальними завданнями та проектами. Розвиток навичок самоорганізації через тайм-менеджмент є ключовим для успішної академічної та професійної діяльності.

Рекомендації: 1) включення спеціалізованих курсів тайм-менеджменту в навчальні програми інженерних спеціальностей; 2) організація воркшопів та семінарів, де студенти можуть практикувати тайм-менеджмент в реальних умовах; 3) заохочення студентів до використання програмного забезпечення для планування та відстеження завдань.

#### **Література:**

1. Байрамова О.В. Особливості застосування тайм-менеджменту під час дистанційної освіти у ЗВО. / Інноваційна педагогіка, Випуск 54. Том 1. 2022. – С. 50-54.
2. Лялюк О. Використання студентами методів тайм-менеджменту під час самостійного навчання в університеті. / Педагогіка безпеки. Том 5, № 1, 2020. – С. 18-25.

# ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БЛОЧНИХ ПРЕС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ СЕРЕДНЬОСЕРІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ ОБОРОННОГО ХАРАКТЕРУ

**Проданчук О.О.**

*(НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)*

Лиття пластикових виробів під тиском на термопластавтоматах є важливою частиною промисловості України. Варто зазначити, що лиття пластику під тиском застосовується у найрізноманітніших сферах та галузях, але найактуальнішим виробничим напрямком на даний момент є саме оборонний. Виготовлення продукції для потреб військових є складним процесом, який потребує значно більшої точності виготовлення, контролю якості та відповідності нормам, суворої стандартизації, підтверженої відповідною технічною документацією. Саме тому інші типи виготовлення пластикової продукції, до прикладу, виточування на металообробних верстатах, або ж 3Д друк не здатні забезпечити велику серійність та якість поверхні [1]. Лиття під тиском на термопластавтоматах залишається критично важливим як для забезпечення функціонування економіки, так і для виконання потреб фронту.

Для масового та великосерійного виробництва продукції з пластику лиття на термопластавтоматах є, безумовно, найефективнішим та економічно доцільним рішенням. Однак, які підходи слід обрати для малосерійного та середньосерійного виготовлення продукції з пластику? До прикладу можна взяти виріб типу «Хвостовик стабілізатор». Даний виріб застосовується для стабілізації польоту заряду, що збільшує точність та дозволяє з більшою імовірністю вразити техніку або живу силу ворога. Хвостовики мають декілька основних конструктивних параметрів, до яких належать: тип оперення; геометрія оперення; тип фіксації до заряду; тип корпусу.

Усі перелічені параметри мають свої особливості при виготовленні прес-форми, що значно піднімає вартість її виготовлення[2]. У зв'язку з особливостями забезпечення фронту та використанням зарядів виробництва різних країн та різних оборонно-промислових стандартів, застосування одного типу хвостовика просто неможливе. Виготовлення повноцінних прес-форм для кожного нового типу заряду є економічно недоцільним та потребує надто багато часу та людського ресурсу. Вирішенням може бути застосування блочних прес-форм.

Блочні прес-форми, рис.1., за своєю конструкцією нагадують звичайні прес-форми для масового та великосерійного виробництва, але їхні пуансон та матриця виготовляються не з високоякісних сталей, а з алюмінієвих сплавів. Звісно, ресурс даних пуансона та матриці значно поступається класичному варіанту, але у заданих умовах таке рішення є виправданим. Виготовляючи формотворчі елементи з легких у обробці матеріалів ми значно зменшуємо вартість прес-форми та час її виготовлення.

При необхідності роботи з декількома типами продукції, які схожі за характеристиками, масою та формою, ми можемо відразу виготовити кілька варіантів формотворчих з алюмінієвих сплавів і застосовувати їх на одній, виготовленій з високоякісної сталі, базі. Дана технологія заміни блоків без зміни нової основи суттєво економить час та кошти, не маючи негативного впливу на кінцеву якість продукту.



Рис.1. Блоки прес-форм.

Середньостатистичний ресурс сталеві бази блочної прес-форми складає від одного до двох мільйонів циклів, тоді як алюмінієві пуансон та матриця, в середньому, розраховані на виконання 10 000 – 30 000 заpresовок. Таким чином, декілька сталевих баз блочних прес-форм може задовільнити багаторічну програму по виготовленню середньосерійних виробів однотипного характеру.

Важливим недоліком даного рішення проблеми є неможливість внесення значних конструктивних змін у продуктах, що відливаються. На прикладі хвостовика, ми можемо змінити елементи фіксації, збільшити або зменшити фіксаційні отвори, відкорегувати геометрію оперення, відповідно до можливих змін маси заряду. Однак, зміни розміру не можуть перевищувати 20%, у конструкцію не повинні додаватися нові формотворчі механізми, не передбачені конструкцією сталеві бази (формування нарізі, шибєрні механізми).

Зазначені переваги та недоліки блочних прес-форм змушують виважено підходити до вибору серійності того чи іншого продукту. Стандартизація є важливим аспектом, який не варто ігнорувати в умовах виготовлення продукції оборонного характеру. Найвигіднішим типом лиття виробів з пластику залишається масове виготовлення на великоресурсних прес-формах з застосуванням роботизованих комплексів. Та все ж у випадках нагальних потреб лиття малих та середніх партій однотипних виробів – блочні прес-форми є абсолютно виправданим перевіреним механізмом, який дозволяє отримати готовий продукт без захмарних фінансових витрат у обмеженому проміжку часу.

#### **Література:**

1. Osswald, E. Schmachtenberg and E. Baur, "International Plastics Handbook", Hanser Verlag, (2006). ISBN 978-1569903995;
2. Douglas M. Bryce "Plastic Injection Molding: Manufacturing Process Fundamentals": 2006 - 272 p.

## ПРОБЛЕМА ВИНИКНЕННЯ ВІЗУАЛЬНОГО БРАКУ ПРИ ЛИТТІ ПОЛІАЦЕТАЛЮ ТА ЇЇ ВИРІШЕННЯ В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА

**Проданчук О.О.**

*(НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)*

Індустрія переробки пластику відома різноманіттям полімерів, які застосовуються для досягнення необхідних характеристик фінального продукту [1]. Одним з сучасних полімерних матеріалів, які застосовуються при литті пластикової продукції на термопластавтоматах є РОМ – поліацеталь. Даний матеріал застосовується при виготовленні деталей, які потребують значної жорсткості та точної витримки розмірів. Він стійкий до ударних навантажень, дії органічних розчинників та мастил.

У нашому конкретному випадку РОМ використовується для виготовлення високоміцних застібок типу «фастекс». Вибір даного матеріалу обумовлений забезпечений високою міцністю та здатністю витримувати значене навантаження як при використанні у пошитті евакуаційних нош або тактичного військового спорядження.

Основною проблемою при литті виробів з РОМ є виникнення візуального браку, розводів іншого кольору. Причиною даної проблеми є волога у грануляті.



а) виріб з браком; б) виріб без браку;

Рис.2. Застібка типу «фастекс» з матеріалу РОМ

Вирішення даної проблеми можна забезпечити шляхом попередньої підготовки матеріалу у сушильній шафі. Даний пристрій рівномірно обдуває полімер гарячим повітрям, видаляючи вологу, яка є причиною виникнення браку. В залежності від відсоткового вмісту вологи, для її видалення та усунення браку можна використати сушильний бункер, який використовує менше електроенергії, але є неефективним при значному відсотку вологи у матеріалі.

Також для попередження проблеми набирання вологи полімером варто забезпечити відповідні умови зберігання сировини. Складські приміщення повинні опалюватись, а весь матеріал варто зберігати у герметичній тарі. При завершенні виробничої зміни матеріал з бункера термопластавтомата повинен повністю випрацьовуватись або пересипатись у герметичний контейнер для попередження набирання вологи.

### **Література:**

1. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. – Київ.: 2006. - 270 с.



# СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ НА МІЦНІСТЬ ВИЛКИ КАРДАННОГО ВАЛУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

**Проц Л.А.**

(УжНУ, ІТФ, м. Ужгород, Україна)

При забезпеченні передачі крутного моменту, від одного вузла до іншого в транспортних засобах, сільськогосподарській та промисловій техніці одним з найпоширеніших частин механізму є частина, що використовується для з'єднання карданного валу з іншими вузлами, а саме - вилка карданного валу [1]. Актуальним питанням в сучасний час є можливість проведення спеціальних робіт при виготовленні або при ремонті цієї частини механізму, без погіршення міцності [2, 3].

Метою роботи було застосування сучасних методів статичного аналізу для його використання при виготовленні та ремонті вилки карданного валу.

Розглянуто статичний аналіз на міцності вилки виготовленої зі сталі Ст 10 в програмному комплексі FreeCAD версії 0.21.1. Розрахунок проводився за методом кінцевих елементів - числової технікою знаходження розв'язків інтегральних та диференціальних рівнянь у частинних похідних (ДРЧП). Процес розв'язання побудований на повному усуненні диференціального рівняння для стаціонарних задач. Метод скінчених елементів є оптимальним вибором при розв'язуванні ДРЧП, які описують складні середовища (такі як машини, чи нафтогони); при змінності цих середовищ; коли бажана точність змінюється у різних ділянках середовища; чи коли розв'язку не вистачає гладкості. Прийнято, що всі реакції виходять із статичного розрахунку умови рівноваги.

Було проведено перевірку вушок розподіленим зусиллям на внутрішню поверхню обойми зусиллям від осі хрестовини, згідно спеціально розробленій розрахунковій схемі прикладення навантажень. Розподілене зусилля складало 1000 Н, що відповідає крутному моменту у 1485 Н·м.

Встановлено, що досліджуваній нами вузол карданного шарніру належить до 3500 вузлів, які мають максимальні переміщення напруження від -0,027 мм до +0,049 мм, що може призвести до серйозних несправностей роботи автомобіля. Отже до виготовлення та ремонту даного механізму мають ставитись особливі вимоги.

Отримані результати можуть бути використані при виготовленні та ремонті вилки карданного валу.

## **Література:**

1. Хітров І.О. Ремонт машин і обладнання: навч. посіб. / І.О. Хітров, В.С. Гавриш. – Рівне: НУВГП, 2012. – 184 с.
2. Тарасевич Ю.Я. Ймовірнісні розрахунки на міцність та вібрацію: навч. посіб. / Ю.Я. Тарасевич. – Суми: Сумський державний університет, 2010. – 203 с.
3. Єфімов О. В. Методика розрахунку на міцність кришок, днищ, вузлів та елементів конструкції парогенераторів двоконтурних АЕС з реакторами ввер-1000 / О. В.Єфімов, В. Л.Каверцев, П. В. Ліфшиць /Вісник Харківського Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування»: науковий збірник. –Харків: ХПІ, 2022. – № 3–4 (11–12). – С. 29 – 34.

## ЛОКАЛІЗАЦІЯ СТРУКТУРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ В ЦИКЛІ «РОЗПІЗНАВАННЯ-УПРАВЛІННЯ»

**Рузметов А.Р.**

(НТУ «ХПІ» м. Харків, Україна)

Метою роботи є локалізація структурної невизначеності технологічного процесу за рахунок аналітичного опису взаємозв'язку операторів циклу «розпізнавання-управління».

Процеси технологічного характеру, незважаючи на наявність комплексу технологічних інструкцій, все ж таки несуть, значною мірою, структурну невизначеність, хоча вона в багатьох випадках і ґрунтується на параметрах. Тобто в умовах частих переналагоджень деякі процеси можуть скасовуватися, інші повторюватимуться або включатимуться і т. д.

Оператор обслуговуючої системи, виробляючи цілий фронт мікрооперацій звірення характеристик та параметрів технологічного комплексу, а також логічних мікрооперацій в ході маніпулювання елементами оснащення та обладнання, організує процес досягнення мети в даному предметному середовищі, реалізуючи суперпозицію операторів розпізнавання технічних елементів та управління ними [1].

Таким чином, в ході декомпозиції можна виділити три складові технологічного процесу, які, взаємодіючи між собою, визначають загальну структуру основного та забезпечуючих процесів: «оператор розпізнавання технічних об'єктів», «оператор технічного засобу», «оператор технологічних перетворень».

З огляду на те, що при розгортанні технологічного процесу, цілеспрямоване залучення однієї з функцій засобів оснащення обов'язково, за логікою, провокує задіяння наступної функції, можна говорити про операторний зв'язок між функціями технологічного оснащення, обладнання. Тобто діє певне правило перетворення однієї функції на іншу (1).

$$fa_n(X) = T\{fa_{n-1}(X)\} \quad (1)$$

де  $fa_n(X)$  – функція активізації засобу оснащення;  $n$  – номер функції активізації оснащення ряду функцій досягнення цільового стану технологічного об'єкта;  $T\{\}$  – оператор (правило) перетворення;  $X$  – множина факторів, від значень яких залежить цільовий стан технологічної системи.

Підсумком роботи є висновок, який полягає у тому, що, на відміну від організаційного аспекту розгляду технологічного процесу, де важливо відокремити основні його елементи від допоміжних, завдання синтезу процесів забезпечення обробки спирається зв'язок: «розпізнавання – управління».

### Література:

1. <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/39589/2/Робота%20Оладжон%20Деборак.pdf>

## ПРОБЛЕМАТИКА СТВОРЕННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБРОБЛЮЮЧИХ СИСТЕМАХ

<sup>1</sup>Сапон С.П., <sup>1</sup>Дзюба Д.І., <sup>2</sup>Легеза Є.В.

(<sup>1</sup>НУ «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, Україна,

<sup>2</sup>ТОВ «МЛ Технології», м. Чернігів, Україна)

Цифрові двійники (ЦД) технологічних оброблюючих систем (ТОС) є віртуальним відображенням реальних систем і процесів, які відображають стан елементів системи в режимі реального часу і дозволяють відстежувати, аналізувати і впливати на їх функціонування [1].

Метою роботи є комплексний аналіз проблематики створення і впровадження ЦД в ТОС, визначення технічних обмежень, таких як точність модулювання, обробка великих обсягів даних тощо.

Основні проблемні напрямки створення і впровадження ЦД в ТОС сформовано на основі визначених функцій ЦД: автономності, самонавчання, інтегрованості і відкритості, визначених загальною концепцією ЦД [1, 2].

**Проблеми автономності.** При створенні ЦД необхідно врахувати можливі методи отримання інформації, надійні протоколи передачі даних, оперативну роботу контролера та можливість аналізу інформації в режимі реального часу. При цьому, прилади, необхідні для реалізації ЦД мають виконувати свої функції, не впливаючи на роботу ТОС і не обмежуючи її технологічні можливості. Сукупність встановлених датчиків і елементів, а також кабелів для передачі даних можуть спотворювати (зашумлювати) результати вимірювання, зокрема такі як температура і вібрація. Безпроводна передача великих обсягів даних теж має певні обмеження. Тому існує задача забезпечення можливості локального збору та обробки даних про стан елементів ТОС і процесу різання. Для забезпечення автономності роботи ТОС має бути створена модель цифрового двійника, яка є сукупністю ЦД елементів системи і максимально відповідатиме їх робочому стану в процесі виконання своїх функцій [3]. Великі обсяги даних про стан ТОС оптимально обробляти на місці з передачею на зовнішні обчислювальні центри тільки конкретних або узагальнених результатів на основі оброблених масивів даних. Тобто є необхідність адаптації операційної системи металорізального верстату під використання ЦД. Цифровий двійник має самостійно приймати рішення в аварійних ситуаціях, при яких необхідне вимкнення верстата, припинення роботи програми для убезпечення системи, працівника при непередбачуваних обставинах.

**Проблеми самонавчання.** Покращення точності та функціональності системи забезпечується за рахунок машинного навчання та сучасних методів аналізу даних. До проблем методів аналізу варто віднести перш за все проблеми точності моделювання реальних процесів в ТОС. Практично неможливо відтворити абсолютно всі необхідні аспекти процесів чи систем в цифровій формі. Обробка великих обсягів даних і виділення основних, узагальнюючих, комплексних показників потребує потужних обчислювальних можливостей. Самонавчання ЦД в технологічних оброблюваних системах передбачає використання методів машинного навчання для аналізу опрацювання даних з метою самовдосконалення і покращення цифрового двійника на основі досвіду. Реалізація процесу самонавчання потребує впровадження засобів штучного інтелекту. Впровадження засобів штучного інтелекту в цифрові двійники ТОС вимагає визначення оптимального підходу до самонавчання, достовірно інтерпретованих даних цифрових відображень реальних процесів та об'єктів, розробку методів постійного навчання.

**Проблеми інтегрованості.** Успішність розробки і впровадження ЦД ТОС вимагає їх сумісності з існуючою інфраструктурою і системами управління виробництвом. Типове для більшості українських підприємств різноманіття систем управління металорізальними верстатами та іншим основним і допоміжним обладнанням та системами вимагають складних апаратних і програмних рішень, що забезпечать їх інтеграцію при впровадженні ЦД ТОС. Важливою складовою інтегрованості є можливість обміну даними між різними ЦД та системами, як всередині ТОС так і з іншими суміжними системами та/або віддалено розташованими.

**Проблеми відкритості.** Дані, отримані в результаті роботи цифрового двійника мають бути доступні для використання широкому колу користувачів та розробників, використовуватись на інших ТОС в режимі реального часу. В той же час при створенні ЦД в ТОС варто врахувати не тільки можливість передачі даних до інших ТОС, а і отримання даних від інших ЦД з інших ТОС. При цьому має бути забезпечений захист від несанкціонованого доступу.

Сформульовані основні проблеми створення і впровадження ЦД показані на рис. 1.



Рис 1. Проблематика створення і впровадження ЦД в ТОС

Створення і впровадження цифрових двійників в технологічних оброблювальних системах відкриває широкі можливості для оптимізації і управління процесами, прогнозування та попередження поломок і технічних збоїв, що зменшить витрати і підвищить конкурентоспроможність виробництва. Проте, впровадження ЦД в ТОС, вимагає вирішення ряду складних організаційних, технічних проблем пов'язаних з автономністю, самонавчанням, відкритістю і інтегрованістю.

#### Література:

1. Grieves M. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems / Grieves M., Vickers J. // Springer International Publishing. – 2017.
2. Duan H. The development of a digital twin concept system [version 2; peer review: 3 approved with reservations] / Duan H., Gao S, Yang X and Li Y. // Digital Twin. – 2023 – p. 2-10 <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17599.2> .
3. Сапон С. Концепція створення моделі цифрового двійника інтелектуального шпindelного вузла / Сапон С. // Технічні науки та технології. – 2022. – № 4(30). – с. 80-90. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3\(33\)-9-22](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3(33)-9-22) .

## ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ У ГАЛУЗІ ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ

**Світличний С.П.**

*(Національний аерокосмічний ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна)*

Механічні передачі є основним елементом конструкції будь-якої машини, що визначає її працездатність, надійність та безпеку експлуатації. Їх проектування є складним технічним завданням, яке включає вибір, розрахунок та конструювання окремих деталей та вузлів з дотриманням діючих норм та стандартів. В умовах конкурентної боротьби завдання скорочення термінів та зниження трудомісткості розробки виробу, а також забезпечення заданої надійності та підвищення якості є актуальним. Великі компанії мають у своєму арсеналі достатньо ресурсів для створення та підтримки як сторонніх, так і власних САПР для проектування механічних передач. Однак, на жаль, ці програмні комплекси використовуються всередині компаній, які їх створили, забезпечуючи їх конкурентну перевагу, і не доступні іншим користувачам. Іншим підприємствам доводиться користуватися різними універсальними програмами, кожна з яких застосовується на певному етапі проектування для вирішення окремих завдань проектування. При цьому отримані результати доводиться обробляти та переносити в інші системи, а також на кожному етапі проектування необхідно використовувати систему управління проектом та систему створення технічної документації, що в свою чергу в умовах застосування різних САПР ускладнює процес проектування та, зрештою, збільшує цикл розробки виробу. Огляд відкритих джерел показав, що в даний час на світовому ринку присутні два лідери в галузі комплексного проектування механічних передач – KISSsoft (Швейцарія) і Romax (Великобританія) [1, 2].

Метою роботи є огляд інженерних рішень у галузі проектування механічних передач, реалізованих у програмному продукті KISSsys/KISSsoft, розробником якого є компанія KISSsoft AG – світовий лідер у галузі розробки програмного забезпечення для машинобудування [1].

KISSsoft – це універсальна та багатофункціональна система наскрізного проектування, що зв'язує між собою конструктора, розраховувача та технолога і дозволяє проводити комплексну розробку трансмісій будь-якого ступеня складності: від простих редукторів та закінчуючи коробками передач різних машин (рис. 1). Наявність вбудованої мови програмування, що дозволяє користувачеві задавати функціональні залежності та зв'язки між елементами трансмісії, встановлювати критерії оптимізації, а також налаштовувати технічні звіти, робить систему гнучкою та зручною у застосуванні. Відмінною особливістю програмного продукту є наявність понад 80 модулів і методик, що увібрали світовий досвід у галузі проектування механічних передач [3]. KISSsoft – це середовище, що охоплює всі види розрахунків деталей та вузлів механічної передачі: зубчастих передач (включаючи циліндричні, конічні, гіпоідні, черв'якові та передачі Новікова), валів та підшипників (з урахуванням взаємного

впливу деформацій), з'єднань (шпонкових, шліцьових, болтових, зварних і типу вал-маточина), ремінних та ланцюгових передач. Крім того, система надає можливість аналізу та синтезу кінематичних схем трансмісій та редукторів, визначення режимів навантаження, видів пошкоджень та прогнозування ресурсу окремих елементів передачі.

Модуль розрахунку зубчастих передач включає наступні можливості: врахування параметрів твірного контуру і технології виготовлення колеса; імітацію та контроль процесу виробництва зубчастого колеса; розрахунок форми зуба при його виробництві з використанням інструменту, імпортованого з CAD системи; багатокритеріальну оптимізацію (довговічність, ширина зубчастого вінця, шум, вібрація, маса, коефіцієнт питомого ковзання, передавальне число та ін.); подання варіантів оптимізації у вигляді таблиць та графіків; розрахунок та оптимізацію коефіцієнтів зміщення; перевірку інтерференції та підрізу зуба; розрахунок ковзань, контактної жорсткості та плями контакту; розрахунок розподілу масляної плівки та ККД передачі; розрахунок допусків (на міжосьову відстань, товщину зуба та ін.) та контрольних вимірювань (розмір за роликками, довжина загальної нормалі).

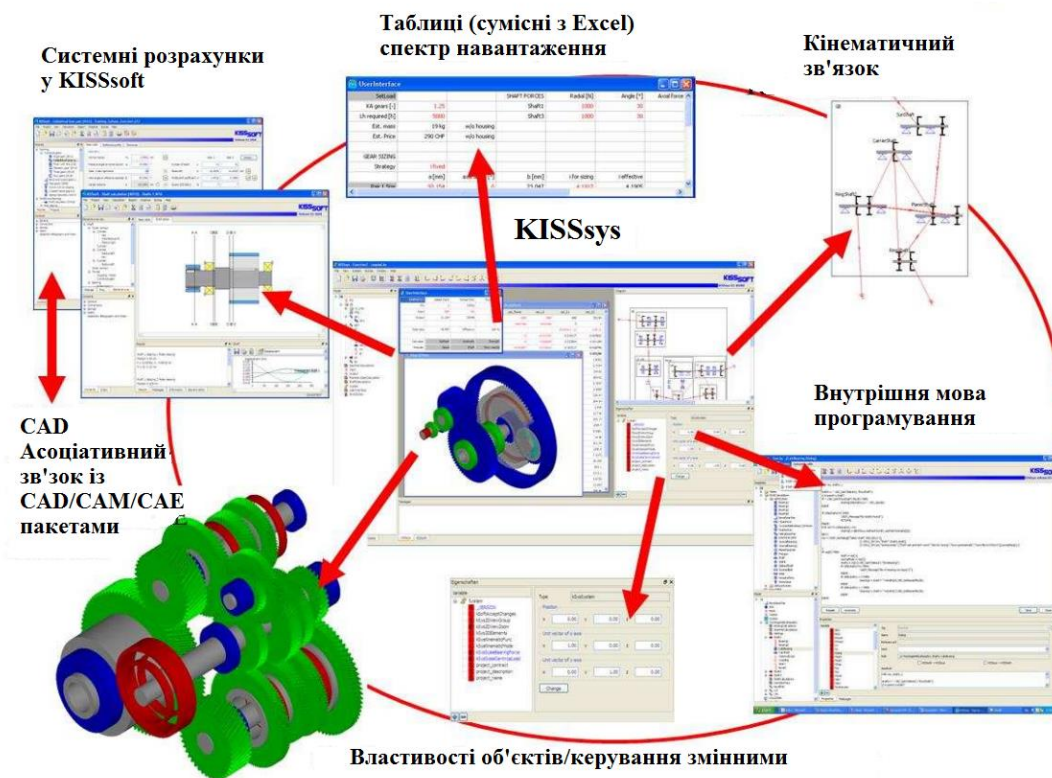


Рис. 1. Структура програмного комплексу KISSsys/KISSsoft

Розрахунок зубчастих коліс на міцність включає розрахунки на контактну та згинальну міцність, перевірку на заїдання, можливість врахування циклограми навантаження і властивостей мастильних матеріалів.

Модуль розрахунку валів дозволяє швидко створювати розрахункову схему валу, використовуючи вбудований набір конструктивних елементів або шляхом окреслення імпортованих з CAD систем креслень, будувати епюри

внутрішніх силових факторів (згинальні та крутний моменти), проводити розрахунок деформацій статично визначених і статично невизначених валів з урахуванням жорсткості підшипників. Розрахунки міцності валу включають розрахунок згинальних і напружень при крученні, а також розрахунок на втому (з урахуванням наявних концентраторів напружень, шорсткості обробки). Додатково є можливість розрахувати критичну частоту обертання при згинанні та крученні, а також визначити власні частоти коливання валу. Для аналізу динамічних процесів при нестационарних режимах є можливість побудови діаграми Кемпбелла.

Модуль розрахунку підшипників надає користувачам доступ до бази даних більш ніж за 20 типами підшипників від провідних світових виробників з можливістю розрахунку їх динамічної та статичної вантажопідйомності з урахуванням температурного режиму та типу мастила, а також можливість розрахунку нестандартних підшипників. Модуль також дозволяє розраховувати гідродинамічні підшипники ковзання.

Аналізуючи аналітичні можливості програмного комплексу KISSsys/KISSsoft можна зробити наступні висновки:

1. Система може бути корисною для студентів механічних спеціальностей, які вивчають курс «Деталей машин та основ конструювання», в ході виконання курсового проекту, а також фахівцям промисловості при проектуванні нових виробів та реінженірингу існуючих механічних передач з метою їх адаптації під сучасні умови виробництва та експлуатації.

2. Програма KISSsys/KISSsoft дозволяє проводити комплексний розрахунок трансмісій. При цьому розрахунок окремих її елементів (зубчастих передач, валів, підшипників та ін.) реалізовано в єдиному асоціативному середовищі.

3. Застосування системи KISSsys/KISSsoft дає можливість спростити, прискорити та виключити помилки на етапах підбору геометричних параметрів та верифікації конструктивних елементів машин відповідно до міжнародних стандартів ISO, DIN, AGMA та ін.

4. У системі реалізовано можливість опрацювання безлічі варіантів конструкції механічної передачі та виявлення критичних з погляду ресурсу вузлів, а також розробки трансмісії збалансованої за ресурсом окремих елементів.

5. Зазначені переваги системи дозволяють скоротити терміни і знизити трудомісткість, а також підвищити якість, забезпечуючи конкурентоспроможність механічної передачі.

#### **Література:**

1. Офіційний сайт компанії KISSsoft AG. Режим доступу: [www.kisssoft.com](http://www.kisssoft.com) – 20.05.2024 р.

2. Офіційний сайт компанії Romax Technology. Режим доступу: <https://hexagon.com/products/romax-concept> – 20.05.2024 р.

3. KISSsoft Version 2023. Module list. KISSsoft A Gleason Company [Електроний ресурс] – Режим доступу: [https://www.kisssoft.com/files/R7qjUS/KISSsoft\\_Module\\_List\\_Release\\_2023-en-v2300-jl-public.pdf](https://www.kisssoft.com/files/R7qjUS/KISSsoft_Module_List_Release_2023-en-v2300-jl-public.pdf) - 20.05.2024 р.



## ОБРОБКА ЗМІЦНЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З ПОВЕРХНЕВИМИ КОМПОЗИТНИМИ ШАРАМИ

Стецько А.Є.

(НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Для збільшення ресурсу деталей машин до них застосовують різні методи впливу. Найпоширенішими, завдяки простоті реалізації в промислових умовах, є поєднання способу хіміко-термічної обробки (ХТО) з наступною термічною обробкою. Автори [1] після ХТО, отриманих різноманітними способами хіміко-термічної обробки (науглецьовування, азотування, борування і хромування), проводять термообробку, яка визначається конкретно для кожного виду ХТО. Рекомендується використовувати в умовах зношування при високих тисках деталі з боридними дифузійними шарами (твердістю  $1420 \text{ HV}_1$ ). Також відмічено високі трибологічні властивості азотованих шарів (твердістю  $835 \text{ HV}_1$ ), особливо в діапазоні невеликих контактних тисків. Отримані ж хромовані дифузійні шари, маючи непогані характеристики (твердість  $1980 \text{ HV}_{0,02}$ , яка є найвищою серед досліджуваних зразків), мають досить малу товщину ( $0,0125 \text{ мм}$ ), що обмежує використання деталей, зміцнених даним способом. [2]. Найпоширенішими є методи, які змінюють морфологію та фізико-механічні характеристики спряжених поверхневих шарів, залишаючи серцевину деталі необробленою [3].

Ефективність методів поверхневого зміцнення полягає в можливості цілеспрямованих змін структури, складу та властивостей поверхневих шарів деталі, тобто тих шарів, в яких виникають тріщини, розвиваються процеси зносу та корозії, концентруються максимальні напруги. Незважаючи на велику різноманітність методів ХТО сталей та сплавів, більшість існуючих технологій спрямовані на створення твердих і крихких дифузійних покриттів на фізичній поверхні виробів. Порівняльний же аналіз зносостійких дифузійних шарів показує, що твердість покриття не є основним фактором, який зумовлює працездатність пари тертя при жорстких режимах зношення. Для поверхневих шарів, покритих твердими фазами типу боридів, нітридів і т.п., дуже важко забезпечити високу працездатність через присутність великої кількості дефектів, що викликають значну концентрацію напруг. Стосовно дифузійно хромованих шарів з утвореними на поверхні карбідами хрому, слід відзначити, що додатковим негативним фактором є наявність підповерхневої знеуглецьованої зони, котра може призвести до продавлювання дифузійного шару. Оптимальними є створення композитних поверхневих зміцнених шарів [3]. Формування таких нових поверхневих структур вимагає створення методу їх кінцевої механічної обробки, яка б задовольняла поставлені вимоги до якісних та фізико-механічних характеристик деталей.

Метою роботи є розробити методику механічної обробки поверхонь деталей машин, оброблених комплексним методом, після якого сформовані композитні наноструктуризовані зміцнені шари.

Формування композитних наноструктуризованих зміцнених шарів досягається шляхом впливу на поверхню спочатку хімічного Ni-Co-P покриття і потім хіміко-термічною обробкою деталей. Сформований шар має композитну структуру (рис.1), яка складається з твердої фази (карбідів хрому) та м'якої основи – твердого розчину хрому в  $\alpha$ -залізі. [4, 5].

Механічна обробка таких композитних шарів пов'язана з певними труднощами, включаючи динамічні навантаження на різальну кромку інструменту.

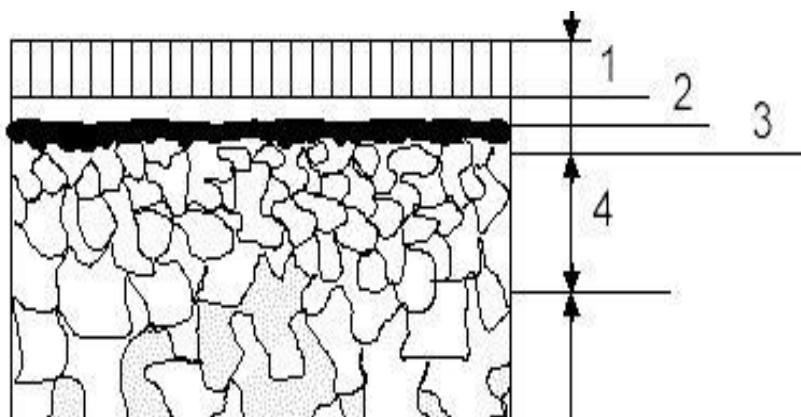


Рис. 1. Мікроструктура поверхневого шару після комплексного методу зміцнення:  
 1 – композитна зона; 2 – зона твердого розчину хрому в  $\alpha$ -залізі;  
 3 – евтектоїдна зона; 4 – знеуглецьована зона

Для вирішення цього завдання необхідно застосування більш якісних матеріалів, вдосконалення конструкції обладнання і процесів обробки його деталей, в тому числі на завершальних етапах. Разом з тим, при виході з ладу тієї чи іншої деталі через зношування, корозію, недостатню герметичність та контактну жорсткість виникає необхідність швидкої заміни або відновлення деталі. Останнє можливо здійснити із застосуванням фінішних операцій [6].

Механічна обробка таких композитних шарів пов'язана з динамічними навантаженнями на різальну кромку інструменту [7, 8].

Враховуючи те, що обробка даних шарів буде вестися: по-перше, для отримання оптимальної шорсткості робочих поверхонь деталі та її форми після утворення композитної зони після комплексного методу; по-друге, для обробки деталі з даним покриттям під ремонтний розмір (при потребі), процес слід проводити таким чином, щоб з поверхні виробу видалявся шар покриття не більше 0,05 мм, обробку слід проводити таким чином, щоб глибина різання була рівною 0,03–0,05 мм.

Обробка зразків проводилася прохідним токарним різцем з пластинкою із надтвердого матеріалу композит 10 (передній кут  $\gamma=-5^\circ$ ; головний задній кут  $\alpha=15^\circ$ ; допоміжний задній кут  $\alpha_1=15^\circ$ ; головний кут у плані  $\varphi=30^\circ$ ; допоміжний кут у плані  $\varphi_1=20^\circ$ ; кут нахилу головної різальної кромки  $\lambda=0^\circ$ ; радіус при вершині різця  $r=0,4$  мм).

За результатами механічної обробки деталей, зміцнених комплексним методом, встановлено раціональні режими механічної обробки для отримання

оптимальної шорсткості, які підтверджують теоретичні розрахунки: подачу  $S = 0,065$  мм/об; глибину різання  $t = 0,05$  мм; швидкість різання: 150 – 200 м/хв.

Підсумовуючи все вищесказане можна зробити такі висновки. Обґрунтовано доцільність лезової механічної обробки відновленого зміцненого, отриманого шляхом комплексного методу хімічної обробки і дифузійного хромування, різальними інструментами, оснащеними полікристалами надтвердих матеріалів. Слід використовувати різальний інструмент оснащений різальною частиною, яка виготовлена із матеріалу K1 (типу ельбору Р – полікристалічного твердого нітриду бору), який має теплостійкість біля  $750^{\circ}\text{C}$ . Лезова обробка надтвердими матеріалами формує більш сприятливий напружений стан поверхневого шару деталі, ніж абразивна. При точінні сталі різцями із НТМ в поверхневому шарі глибиною до 50–70 мкм виникають макронапруження стиску від 0,2 до 0,8 ГПа, що сприяє підвищенню втомної міцності та зносостійкості деталей. Лезова обробка різцями із надтвердих матеріалів не викликає структурних змін у поверхневому шарі деталі, немає припалів. Відсутність припалів пояснюється незначним нагріванням оброблюваної поверхні.

Проведено експериментальні дослідження механічної обробки зразків, відновлених шляхом комплексного методу хімічної обробки і дифузійного хромування. Оптимальними встановлено режими: подача  $S = 0,065$  мм/об; глибина  $t = 0,05$  мм; швидкість біля 180 м/хв.

#### **Література:**

1. Лабунець В.Б. Працездатність зміцнених вуглецевих сталей в умовах тертя ковзання і віброударних навантажень / В.Б.Лабунець, Маджид Абдаллах, Дерек Іренеуш. // Металознавство та обробка металів., №1-2, 1999р., С.63-66. 2. Luchka M.V., Kindrachuk M.V., Mechalovich Y.N. The strenghtening and reduction of surfaces of sliding by gradient coatingm. // Problems of Tribology 2000, №2. 3. Стецько А. Є. Технологічне забезпечення ресурсу роботи виготовлених і відновлених деталей: монографія. – Львів: Видавнича компанія «АРС», 2013. – 240 с. 4. Stetsko A.E., Stetsko Y.T. (2020) Formation of Composite Reinforced Coating by Chemical Deposition and Chemical-Thermal Treatment of Boron and Carbon. In: Pogrebnjak A., Bondar O. (eds) Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019). Springer Proceedings in Physics, vol 240. Springer, Singapore, pp 261–270. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_24) 5. Stetsko A.E., Stetsko Y.T. (2021) The Influence of Carbon, Carbon, and Boron on the Formation of Diffusion Nanocomposite Hardened Layers on the Surfaces of Steel Parts. In: Fesenko O., Yatsenko L. (eds) Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications. Springer Proceedings in Physics, vol 246. Springer, Cham. pp 699-708. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51905-6\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51905-6_47) 6. Олійник Володимир Григорович. Підвищення якості й експлуатаційних властивостей деталей поліграфічного обладнання. Автореферат дисертації на здобуття канд. техн. наук. Спеціальність 05.05.01 – Машини і процеси поліграфічного виробництва. Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, – Київ, – 2008, –21с. 7. Клименко С.А., Мельничук Ю.О., Встовський Г.В. Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту. –Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2009. – 172 с. 8. Веремейчик О.А., Мельничук П.П. Про можливості поєднання чистової лезової обробки інструментом, оснащеним полікристалічними надтвердими матеріалами, з поверхневим пластичним деформуванням при обробці загартованих сталей // Резание и инструмент в технологических системах. – В. 65. – Харьков, НТУ „ХПИ”. – 2003. – с. 19 – 26.

## **ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИ ФІЗИЧНОГО СКАНУВАННЯ МІСЦЕВОСТІ НАЗЕМНИМИ РОБОТИЗОВАНИМИ КОМПЛЕКСАМИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

**Струтинський В.Б., Павлун В.С.**

*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна)*

Фізичне сканування місцевості є надійним методом виявлення небезпечних об'єктів. В даний час фізичне сканування здійснюється наземними роботизованими комплексами які мають обмежену зону обслуговування порядку 1 м [1]. Обмежена зона обслуговування обумовлює проблему продуктивності процесу фізичного сканування. В останніх дослідженнях і публікаціях [2] запропоновані методи підвищення ефективності процесу фізичного сканування місцевості. Вони в основному стосуються вдосконалення обладнання для виявлення небезпечних об'єктів [3].

До невирішених раніше частин загальної проблеми відноситься розроблення інформаційних систем виявлення небезпечних об'єктів на місцевості з використанням інноваційного обладнання. Тому метою досліджень поставлено створення інформаційних систем на основі штучного інтелекту для виявлення на місцевості небезпечних об'єктів за допомогою спеціального обладнання.

Основними результатами досліджень є розроблені методи фізичного сканування місцевості наземними роботизованими комплексами із використанням елементів штучного інтелекту. Для фізичного сканування місцевості запропоновано застосувати наземні роботизовані комплекси, що мають маніпулятори із розширеною зоною обслуговування. При цьому є можливість сканування поверхні в межах полоси шириною 8...12 м. Для фізичного сканування застосовуються різноманітні засоби у вигляді тактильних пристроїв, індикаторів, акустичних (ударних) пристосувань та інші. В результаті сканування визначаються великі масиви інформації, які обробляються інформаційними системами на основі штучного інтелекту. Проблемою фізичного сканування є підвищення достовірності первинної інформації, яка залежить від точності і стабільності позиціонування маніпулятора із розширеним робочим простором, встановленим на шасі рухомого наземного роботизованого

комплексу. Одним із шляхів вирішення проблеми є використання апробованих методів оброблення отриманої інформації прийнятими в системах штучного інтелекту. Проведена адаптація даних методів до процесів фізичного сканування місцевості. Використано традиційний алгоритм Хюкеля, що застосовується в системі штучного інтелекту для цифровізації відеозображень. Даний алгоритм модифіковано із врахуванням специфіки позиціонування маніпулятора важільного типу, який сканує поверхню в полярній системі координат. Для реалізації вказаного алгоритму маніпулятор оснащено шестикоординатним тактильним пристроєм, виконаним по схемі механізму гексаподу. Підвищення точності виходу в позицію по 24 точкам відповідних алгоритму Хюкеля забезпечено спеціальними копірами, по яким переміщується тактильний пристрій. Деформуванням копирів кругова область сканування трансформується в еліптичну. При цьому на периферійній ділянці робочого простору маніпулятора більша вісь еліпса розташована у тангенціальному напрямку, а при скануванні внутрішньої ділянки робочого простору, наближеної до шасі наземного роботизованого комплексу, більша вісь еліпса орієнтується в радіальному напрямку. Застосування даної модифікації алгоритму дає можливість забезпечити рівномірне сканування всіх ділянок місцевості.

Одержані результати сканування місцевості різними методами об'єднуються в набір просторових тривимірних матриць. Покрокове переміщення наземного роботизованого комплексу дає можливість визначити чотиривимірні матриці, які містять інформацію про наявність небезпечних об'єктів на обмеженій ділянці місцевості. Для оброблення інформації застосовані методи роботи з нечіткими множинами та штучні нейронні мережі. Аналіз просторових матриць включає визначення функцій приналежності нечітких множин, які описують вірогідність знаходження небезпечних об'єктів на окремих ділянках місцевості. Нечіткі множини визначені різними методами сканування порівнюються між собою. Проводиться концентрація нечітких множин, знаходяться характерні параметри функцій приналежності і формуються просторові матриці значень функцій приналежності нечітких множин одержаних різними пристроями фізичного сканування. Проводиться стиснення просторових матриць із формуванням диз'юнктивних та кон'юнктивних об'єднань нечітких множин одержаних різними способами сканування. Одержані результуючі плоскі матриці функцій приналежності

нечітких множин піддаються дослідженню із застосуванням штучних нейронних мереж. Реалізуються процедури кластеризації матриць та процедура розпізнавання образів характерних для типових небезпечних об'єктів. Для цього застосовуються штучні нейронні мережі у вигляді карт, які самоорганізуються (карти Кохонена) та штучні нейронні мережі Елмана для розпізнавання образів відповідних контурам кругових та прямокутних небезпечних об'єктів. Проводяться процедури навчання штучних нейронних мереж із вибором необхідного числа ітерацій.

Одержані результати сканування обробляються запропонованими процедурами системи штучного інтелекту із формуванням висновків про вірогідність наявності небезпечних об'єктів на окремих ділянках місцевості, тип і властивості небезпечних об'єктів. Одержана інформація використовується для уточнення стратегії виявлення та знешкодження небезпечних об'єктів.

В результаті проведених досліджень розроблені методи фізичного сканування місцевості наземними роботизованими комплексами із використанням елементів штучного інтелекту. Вони апробовані на макетних зразках типових небезпечних об'єктів. Одержані позитивні результати підтверджують ефективність запропонованих рішень [4].

Підсумком із проведених досліджень є перспективність застосування розроблених систем для пошуку небезпечних об'єктів.

#### **Література:**

- 1 Petrişor, S.M., Simion, M. (2021). Aspects Regarding the Elaboration of the Geometric, Kinematic and Organological Study of a Robotic Technological Product “Humanitarian PetSim Robot” Used as an Avant-Garde Element of the Human Factor in High Risk Areas. In: Arai, K., Kapoor, S., Bhatia, R. (eds) Intelligent Systems and Applications. IntelliSys 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1250. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-55180-3\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55180-3_24)
2. Swett, B.A., Hahn, E.N., Llorens, A.J. (2021). Designing Robots for the Battlefield: State of the Art. In: von Braun, J., S. Archer, M., Reichberg, G.M., Sánchez Sorondo, M. (eds) Robotics, AI, and Humanity. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54173-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54173-6_11)
3. Jaradat, M.A., Bani-Salim, M. & Awad, F. A Highly-Maneuverable Demining Autonomous Robot: an Over-Actuated Design. J Intell Robot Syst 90, 65–80 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10846-017-0654-y>
4. Strutynsky, V., Kotsiuruba, V., Dovhopoliy, A., Husliakov, O., Budianu, R., Kolos, O., & Hrechka, I. (2019). Substantiating the requirements to functional indicators for the manipulators of mobile robotic demining complexes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/7(101), p.p. 42–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178466>

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗГОРТАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В УСТАНОВІ

**Суботін О.В., Новіков Д.С.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Чинне законодавство накладає низьку вимог на проектування і впровадження інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС) в державній установі. Вимоги стосуються обладнання, технологій, які використовуються в процесі впровадження та експлуатації ІТС, програмного забезпечення, політики безпеки та інших сторін автоматизації процесу життєдіяльності державних органів.

Мета роботи - побудова працездатної, ефективної, здатної до масштабування, гнучкої, керованої, прозорої, надійної та самостійної ІТС в державній установі з дотриманням державних стандартів та надійною системою захисту інформації.

Головною відмінністю ІТС державної установи від ІТС комерційних організацій є комплексна система захисту інформації, яку кожен державний орган має побудувати. Створення комплексної системи захисту інформації (КСЗІ) в автоматизованій системі передбачається вимогами нормативно-правових актів системи технічного захисту інформації (ТЗІ) щодо захисту інформації з обмеженим доступом, які формуються згідно вимог низки документів: Правил забезпечення захисту інформації в інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах, затверджених постановою КМ України від 29.03.2006 № 373 [1] із останніми змінами згідно постанови КМ України від 14.10.2022 № 1171; інструкції «Типова інструкції про порядок ведення обліку, зберігання, використання і знищення документів та інших матеріальних носіїв інформації, що містять службову інформацію», затвердженої постановою КМ України від 19.10.2016 № 736 [0]; нормативних документів ТЗІ; Положення про службу захисту інформації (СЗІ) та Плану захисту інформації в ІТС.

Систему захисту інформації державної установи називають комплексною з тих причин, що впровадження КСЗІ передбачає комплексний підхід до розгортання захищеної ІТС. А саме: забезпечення визначених політикою безпеки властивостей інформації (цілісності, доступності) під час створення та експлуатації ІТС; своєчасне виявлення та знешкодження загроз для ресурсів ІТС, причин та умов, які спричиняють (можуть привести до) порушення її функціонування та розвитку; поєднання програмно-технічних та фізичних засобів, організаційних та інженерно-технічних заходів; врахування всього переліку можливих загроз безпеці інформації; врахування всього переліку можливих способів, методів та засобів захисту інформації; побудову сукупності взаємозв'язаних і взаємодоповнюючих в єдиній системі правових, організаційних, інженерно-технічних заходів та фізичних, технічних й програмно-апаратних засобів захисту інформації, що реалізують задану політику

інформаційної безпеки й протидіяти означеним загрозам інформації; врахування вимог по захисту інформації на всіх етапах життєвого циклу ІТС – розробка, створення, впровадження, функціонування, утилізація; визначення вимог до технічних та організаційних заходів захисту веб-сторінки установи в мережі Інтернет.

КСЗІ має забезпечувати наступні види захисту: захист від несанкціонованих дій з інформацією (в тому числі захист від несанкціонованого доступу до інформації з обмеженим доступом), при її створенні, обробці та збереженні в автоматизованих системах; захист інформації від витоку технічними каналами для інформації, що становить державну таємницю (або для службової інформації за окремим рішенням керівництва); захист інформації від спеціальних впливів (за окремим рішенням керівництва); антивірусний захист інформації та ресурсів; фізичну безпеку об'єктів та ресурсів; правове, організаційне та нормативне забезпечення.

Створення КСЗІ включає вирішення наступних завдань: виявлення та класифікація інформації, яка підлягає захисту; встановлення рівня повноважень користувачів та персоналу; встановлення і оформлення правил розмежування доступу, а також правил, що регламентують права доступу суб'єктів до об'єктів; вибір профілю захищеності відповідно до особливостей обробки інформації, створення відповідного організаційного та технічного комплексу засобів захисту; своєчасне виявлення й знешкодження загроз ресурсам інформаційної системи, дослідження причин та умов які спричиняють, або можуть привести до порушення її нормального функціонування та розвитку; створення механізму та умов оперативного реагування на загрози безпеці функціонування ІТС; розробка організаційно-технічної і робочої документації, що визначає вимоги і порядок обробки інформації з обмеженим доступом; ознайомлення користувачів з переліком відомостей, що захищаються і їх рівнем повноважень, а також із організаційно-розпорядчою і робочою документацією; визначення та впровадження технічних засобів фізичної охорони; організація служби захисту інформації; організація обліку, зберігання, обігу носіїв інформації, яка потребує захисту, здійснення відповідного контролю.

Вирішення зазначених задач складає зміст політики безпеки інформації. Якщо підсумувати все перелічене то можна зробити висновок, що процес побудови ІТС державної установи (на відміну від комерційної організації) включає два додаткові етапи.

Перший етап – це обрання сертифікованого (або сертифікація обраного) програмного забезпечення і обладнання на стадії проектування ІТС. Актуальний перелік засобів ТЗІ, які вже мають експертний висновок про відповідність до вимог технічного захисту інформації [3] завжди можна завантажити на відповідній сторінці офіційного сайту Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України за посиланням: <https://cip.gov.ua/ua/news/zasobi-tzi-yaki-mayut-ekspertnii-visnovok-pro-vidpovidnist-do-vimog-tekhnichnogo-zakhistu-informaciyi>



Другий етап – розробка нормативної документації, яка доповнює стадію розробки документації перед стадією введення ІТС в експлуатацію і, нарешті, дотримання вимог, які затверджуються розробленими документами на стадії експлуатації ІТС.

Атестат відповідності (або зареєстровану в Державній службі спеціального зв'язку та захисту інформації України декларацію про відповідність КСЗІ вимогам нормативних документів ТЗІ), який засвідчує відповідність побудованої КСЗІ вимогам нормативних документів ТЗІ, можна отримати лише за наявності відповідної другої етапу документації.

Після отримання атестату, комплексна система захисту інформації вводиться в експлуатацію розпорядженням керівника установи. Також, згідно вимог нормативних документів ТЗІ, розпорядженням керівника установи призначається адміністратор безпеки, який забезпечує функціонування КСЗІ в ІТС.

Перед початком роботи в системі користувачі в обов'язковому порядку під особистий підпис повинні бути ознайомлені з: інструкцією про порядок ведення обліку, зберігання, використання і знищення документів та інших матеріальних носіїв інформації, що містять службову інформацію (типова форма інструкції затверджена постановою КМУ від 19.10.2016 № 736 [2]); та інструкцією користувача ІТС.

На стадії експлуатації ІТС, з метою запобігання ненавмисним діям персоналу, які можуть призвести до порушень встановлених правил з обробки інформації в ІТС, мають здійснюватися профілактичні заходи, які включають проведення регулярних інструктажів та занять щодо підвищення кваліфікації персоналу.

Отже, в цьому дослідженні розкрито ключові моменти на які слід звернути увагу відповідальним за впровадження і підтримку ІТС особам в органах державної влади.

#### **Література:**

1. Про затвердження Правил забезпечення захисту інформації в інформаційних, електронних комунікаційних та інформаційно-комунікаційних системах: постанова Кабінету Міністрів України від 29 березня 2006 р. № 373 [Електронний ресурс] // Сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2006-п#Text>;

2. Про затвердження Типової інструкції про порядок ведення обліку, зберігання, використання і знищення документів та інших матеріальних носіїв інформації, що містять службову інформацію: постанова Кабінету Міністрів України від 19 жовтня 2016 р. № 736 [Електронний ресурс] // Сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/736-2016-п#Text>.

3. Засоби ТЗІ, які мають експертний висновок про відповідність до вимог технічного захисту інформації // Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. – Режим доступу: <https://cip.gov.ua/ua/news/zasobi-tzi-yaki-mayut-ekspertnij-visnovok-pro-vidpovidnist-do-vimog-tekhnichnogo-zakhistu-informaciyi> .

# ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СКІПОВОГО ПІДЙОМНИКУ

**Тарасенко Д. В., Бережна О.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Одним із способів підвищити прибутковість підприємства є здешевлення виробленої продукції. Для цього необхідно всіляке скорочення споживання електроенергії та підвищення продуктивності обладнання, шляхом введення засобів автоматизації та механізації, які забезпечать якісні і точності показники виконання технологічного процесу і зниження собівартості продукції. Однією зі статей, що впливають на собівартість виплавленої сталі в доменних печах, є витрати на електроенергію пов'язані завантаженням печі з використання скіпового підйомника. Щодо до скіпових підйомників можна виділити особливості вибору системи управління, а саме вона залежить від глибини підйому, типу підйомної машини, підйомного судини, нахилу відносно горизонту. У зв'язку з цим розробка механізмів регулювання пускових режимів багатодвигунного електроприводу лебідки скіпового підйомника, а також алгоритмів управління є актуальною науково-технічною задачею.

Метою роботи є зниження енерговитрат та підвищення ефективності процесу завантаження доменної печі шляхом впровадження автоматизованої системи керування двохдвигунним електроприводом скіпового підйомника.

Для скіпових підйомників встановлені вимоги відповідні підйомно-транспортним машинам. Електрообладнання скіпового підйомника відноситься до четвертого класу групи А, що відповідає ймовірності роботи на проміжку часу рівній 720 г. з коефіцієнтом навантаження  $P=0.95$ , при цьому середнє напрацювання на відмову повинна становити не менше  $T_{\text{відк}}=15000$  г, при часу відновлення (часу ремонту  $t_{\text{рем}}=0.5$  г, часу простою після аварії  $t_{\text{авар}}=0.5$  г і часу роботи в добу  $t_{\text{робдоб}}=15\dots18$  г. Щодо до скіпових підйомників можна виділити особливості вибору системи управління, а саме вона залежить від глибини підйому, типу підйомної машини, підйомного судини, нахилу відносно горизонту. Електропривод підйомної установки повинен забезпечувати: роботу зі зниженою швидкістю від 0.3 до 1 м/с при знятті скіпа з жорстких посадочних пристроїв; відсутність прослизання каната на всіх ділянках руху скіпа; стійку максимальну швидкість при рівномірному ході незалежно від навантаження на валу двигуна і напрямки руху; рух скіпа зі зниженою швидкістю при дотягуванні, в результаті чого має бути скомпенсована похибка системи регулювання. Для скіпових підйомів має велике значення шлях дотягування, який визначається помилкою по шляху в процесі уповільнення і величиною пройденого шляху руху скіпа в розвантажувальних кривих. Проведений аналіз конструкції лебідок скіпових підйомників дозволяє провести подальший аналіз вимог до системи управління. Основною вимогою, що визначає вибір електричного приводу скіпового підйомника, є забезпечення прийнятних умов пуску і розгону тягового органу, тобто лебідки. На першому етапі проектування розраховані статичні

електромеханічні параметри двохприводного електроприводу лебідки. Результати розрахунку показали, що обрані приводні електродвигуни відповідають необхідним технічним умовам. На другому етапі проведено математичне моделювання синхронізації швидкостей електродвигунів лебідки (рис. 1) яке здійснено засобами математичної програми MatLab на основі математичної залежності механічної характеристики (1):

$$M = \frac{3 \cdot (U_{\phi, \text{ном}} \cdot \sqrt{f^*})^2 \cdot \frac{R_2' \cdot \omega_{0H} \cdot f^*}{\omega_{0H} \cdot f^* - \omega}}{\omega_{0H} \cdot f^* \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_{0H} \cdot f^*}{\omega_{0H} \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (x_k \cdot f^*)^2 \right]} \quad (1)$$

Здійснено моделювання пуску двигунів без навантаження при трьох різних частотах напруги живлення  $f_1=50$  Гц,  $f_2=37,5$  Гц,  $f_3=25$  Гц, використовуючи закон частотного регулювання  $\frac{U}{f} = \text{const}$ .

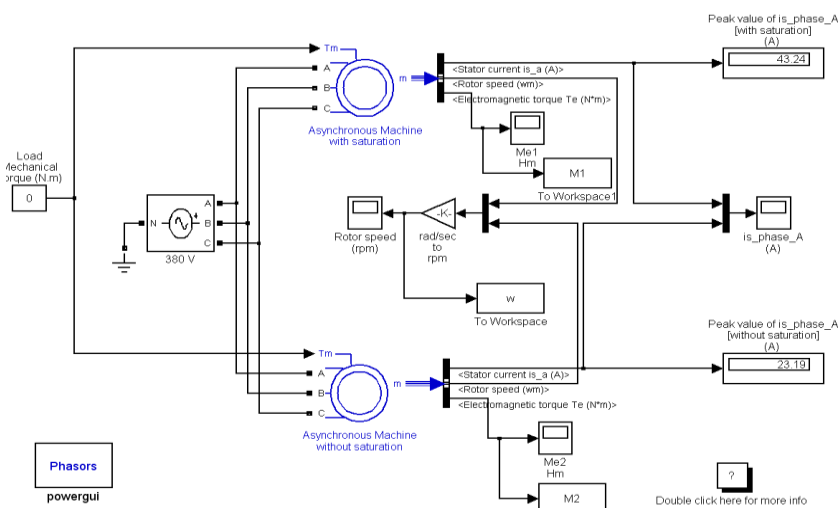


Рис. 1. Схема структурна математичної моделі синхронізації швидкостей електродвигунів лебідки

Отримані механічні характеристики проектованого частотного електроприводу двохдвигунного електроприводу лебідки скіпового підйомнику приведені на рис. 2. Результати математичного моделювання механічних та перехідних характеристик при різних частотах наведені на рис. 3 і 4. Проведено моделювання при частоті мережі живлення  $f=50$  Гц і лінійній нарузі  $U_{л}=380$  В. Змодельовано перехід системи з одного сталого стану ( $M_e = M_H = 27,4$  Н·м,  $\omega = \omega_H = 157$  с<sup>-1</sup>,  $I_2 = I_{2H} = 280$  А) в другий при накиді навантаження ( $M_{c, \text{дон.}} = 0,3M_H = 8,1$  Н·м). Результати математичного моделювання наведені на рис. 5. Проектований електропривод структурно можна уявити з: двох частотна регульованих електродвигунів АД1 і АД2; частотних перетворювачів напруги живлення (ЧП); двох приводних ланцюгів, які є механічною частиною яка приводить в безпосередній рух скіп; регуляторів швидкості обертання ротора

приводних електродвигунів (РШ); засобів контролю швидкості (датчиків) кутової частоти обертання ротора приводних електродвигунів (ДШ) (рис.6).

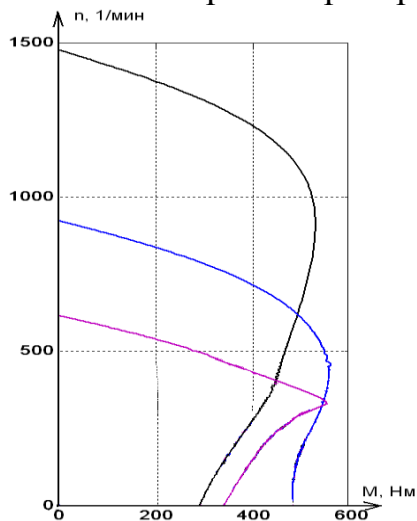


Рис. 2 Механічні характеристики електроприводу

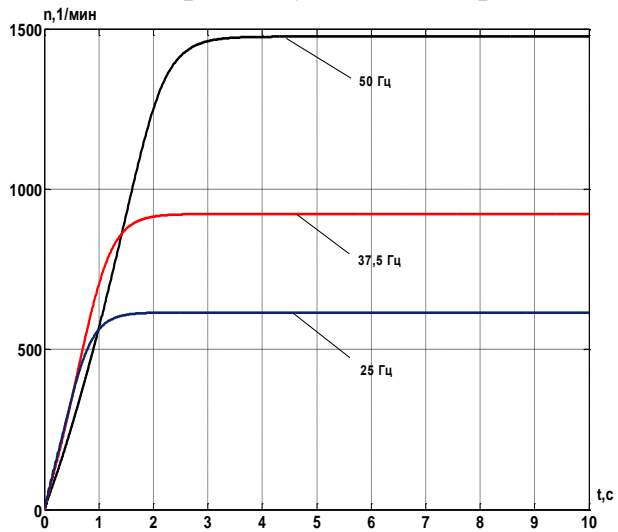


Рис. 3. Графіки перехідних процесів  $\omega=f(t)$

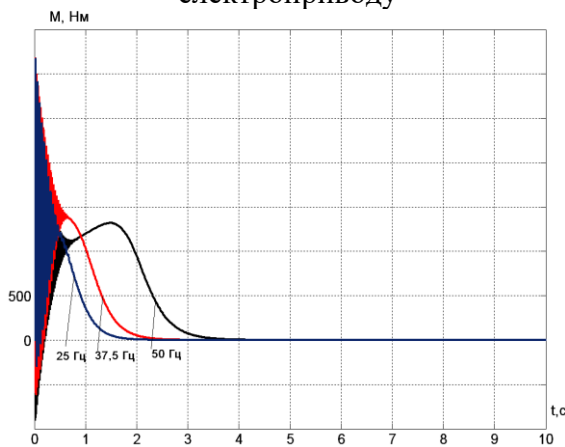


Рис. 4 Графіки перехідних процесів  $M_e=f(t)$

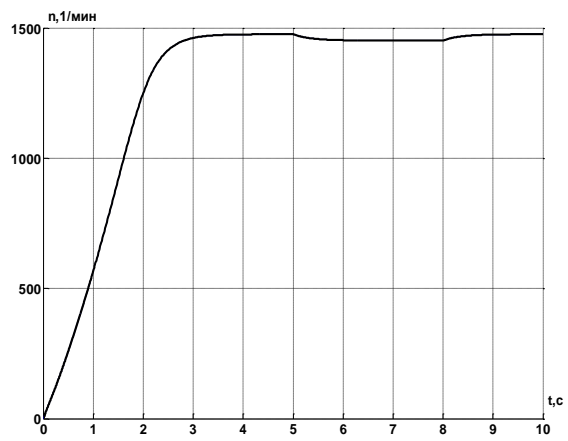


Рис. 5 Графік перехідних процесів при накиді навантаження

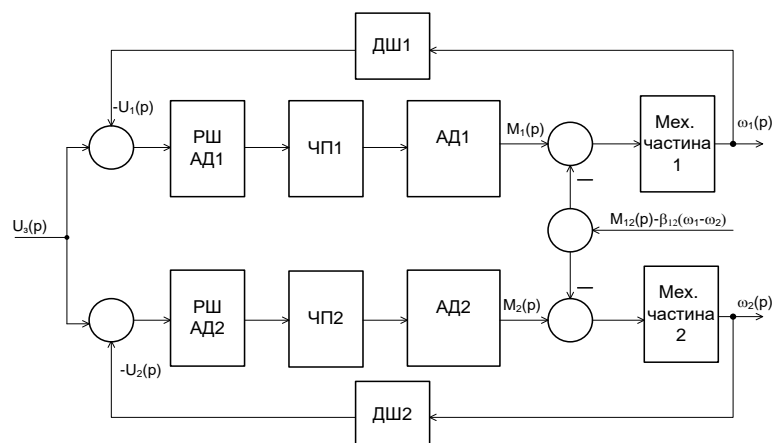


Рис.6. Блок-схема моделі двохдвигунного електроприводу лебідки скіпового підйомника:  $\omega_1, \omega_2$  – відповідно, частота обертання ротора при роботі головного й хвостового двигуна;  $p$  - оператор диференціювання

При розробці математичної моделі тяговий орган з вантажем  
180

представлений як зосереджена маса, а його пружно-дисипативні властивості розглядаються в лінійній постановці. Динамічна розрахункова схема двохланцюгового приводу, що враховує пружні дисипативні властивості приводу і тягового органу, а також можливі зазори, представлена на рис. 7.

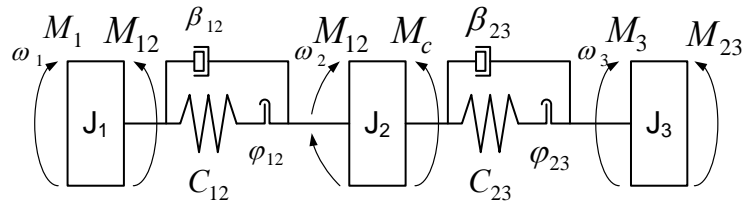


Рис. 7. Розрахункова схема електромеханічної системи двохприводного скіпового підйомника

З урахуванням прийнятих припущень динаміка механічної частини двохприводного скіпового підйомника описується наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} M_1 - M_{12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = J_1 \frac{d^2\varphi_1}{dt^2}, \\ M_{12} - M_{23} + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) - M_c = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = J_2 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2}, \\ M_3 + M_{23} + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) = J_3 \frac{d\omega_3}{dt} = J_3 \frac{d^2\varphi_3}{dt^2} \end{cases} \quad (2)$$

де  $\varphi_i$ ,  $\omega_i$  – відповідно, кути повороту і кутові швидкості  $i$ -ої маси;

$M_c$  – момент сил опору руху тягового органу;

$\beta_{12}$ ,  $\beta_{23}$  – коефіцієнти опору руху, відповідно, робочої і холостої вітки тягового органу;

$M_{12} = c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2)$ ,  $M_{23} = c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3)$  – пружний момент.

В системі рівнянь (2) моменти інерції окремих ланок приведені до частоті обертання двигуна. Параметри ротора асинхронного двигуна для кожної з частот обертання приведені до статора двигуна.

Запишемо систему рівнянь (3) в операторній формі Лапласа:

$$\begin{cases} \frac{1}{J_1}(M_1 - M_{12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2)) = \omega_1 p, \\ \frac{1}{J_2}(M_{12} - M_{23} + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) - M_c) = \omega_2 p, \\ \frac{1}{J_3}(M_3 + M_{23} + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3)) = \omega_3 p, \\ M_{12} = \frac{c_{12}}{p}(\varphi_1 - \varphi_2), \\ M_{23} = \frac{c_{23}}{p}(\varphi_2 - \varphi_3). \end{cases} \quad (3)$$

На підставі системи рівнянь (3) розроблено математичну модель

механічної (незмінної) частини електропривода лебідки скіпового підйомника. Реалізація моделі здійснена за допомогою МПП Matlab і приведена на рис. 8. Математичний опис електромагнітних перехідних процесів в двохшвидкісному асинхронному двигуні виконано на системи рівнянь, що описують поведінку, двигуна для однієї частоти обертання, й має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi'_{x1}}{dt} = U'_m - \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot \Psi'_{x1} + \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot \Psi'_{x2} + \omega'_0 \cdot \Psi'_{y1} \\ \frac{d\Psi'_{y1}}{dt} = 0 - \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot \Psi'_{y1} + \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot k'_r \cdot \Psi'_{y2} - \omega'_0 \cdot \Psi'_{x1} \\ \frac{d\Psi'_{x2}}{dt} = -\omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot \Psi'_{x2} + \omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot k'_s \cdot \Psi'_{x1} + (\omega'_0 - \omega'_1) \cdot \Psi'_{y2} \\ \frac{d\Psi'_{y2}}{dt} = -\omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot \Psi'_{y2} + \omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot k'_s \cdot \Psi'_{y1} + (\omega'_0 - \omega'_1) \cdot \Psi'_{x2} \\ M'_1 = \frac{3}{2} p' \cdot \omega'_0 \cdot \frac{k'_r}{x'_s \cdot \sigma'} (\Psi'_{x2} \cdot \Psi'_{y2} - \Psi'_{x1} \cdot \Psi'_{y1}) \end{cases} \quad (4)$$

де  $\Psi'_{x2}, \Psi'_{y1}, \Psi'_{x1}, \Psi'_{y2}$  – потокозчеплення статора і ротора відповідно по осях  $x, y$  для узагальненої двохфазної машини;

$\alpha'_s, \alpha'_r, k'_s, k'_r$  - коефіцієнти зв'язку статора і ротора;

$p'$  - число пар полюсів обмотки;

$U'_m$  – амплітудне значення величини напруги живлення;

$\omega'_0$  – кутова швидкість ідеального холостого ходу;

$\omega'_1$  – поточна кутова швидкість ротора двигуна;

$M'_1$  – електромагнітний момент двигуна.

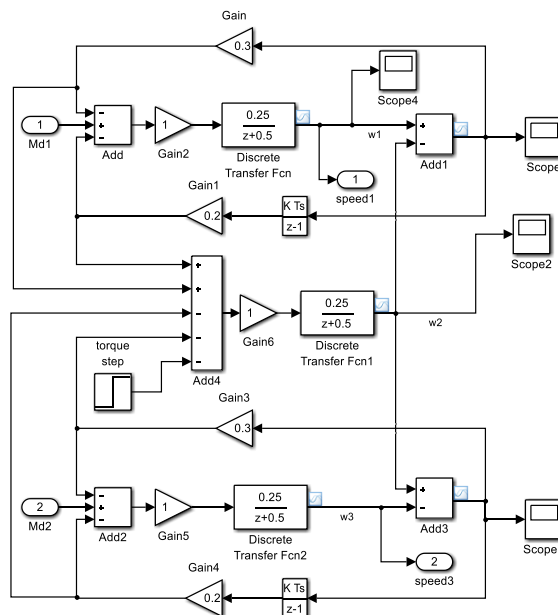


Рис. 8. Математична модель механічної (незмінної) частини електропривода лебідки скіпового підйомника в МПП Matlab

При синтезі параметричного регулятора отримана дискретна передавальна

функція (ДПФ) регулятора:

$$W_p(\lambda) = K_p \left[ \frac{(\tau_2 + T_r)}{\tau_1} + \frac{T_0}{\tau_1} \cdot \frac{z+1}{z-1} + \frac{2\tau_2 T_r}{\tau_1 T_0} \cdot \frac{z-1}{z+1} \right] =$$

$$= 989 \left[ 0,412 + 0,109 \frac{z+1}{z-1} + 0,0521 \frac{z-1}{z+1} \right]$$
(5)

Відповідно до розробленої структурної схемою (див. рис. 6) та розглянутої система рівнянь (3) яка вирішувалася спільно з системами диференціальних рівнянь, що описують перехідні процеси в електродвигунах (4) синтезована математична модель АСУ електроприводом лебідки скіпового підйомника. Загальний вигляд блок-схеми математичної моделі частотно-регульованого взаємозв'язного електроприводу лебідки в MatLab наведено на рис. 9.

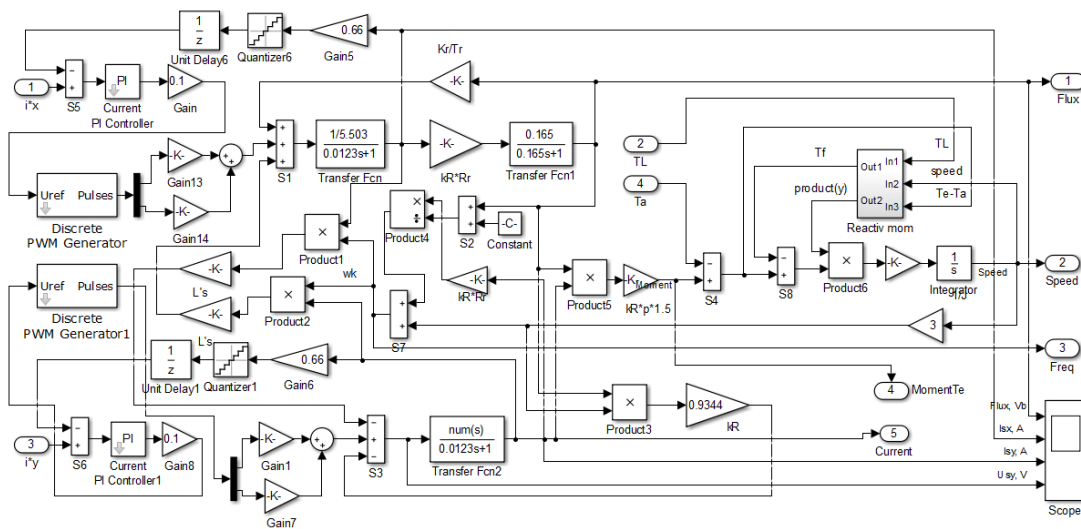


Рис. 9. Математична модель АСУ електроприводом

Розроблена система задовольняє вимогам по швидкодії і точності. Час перехідного процесу складає:  $t_{mn} = 1,7с$ . Результати математичного моделювання показали, що АСУ електроприводом має швидкісну помилку, яка становить  $0,035 м/с < 0,05м/с$ . Час перехідного процесу становить не менше  $1,7с$ , що забезпечує максимальну швидкість при допустимому прискоренні. Розроблену математичну модель доцільно використовувати для адаптації алгоритму запуску і зупинки електроприводу лебідки до заданих умов експлуатації. На рис. 10 наведені результати математичного моделювання. Основним завданням покладеної на систему управління є транспортування, а саме забезпечення: плавного пуску і гальмування. Здійснено вибір і обґрунтування засобів контролю технологічних параметрів керування електроприводами лебідки скіпового підйомника: датчиків швидкості; аварійних вимикачів; аварійних датчиків сходу троса з шківа. Запропонована АСУ на базі ПЛК Simatic S7-300 з двохдвигунним електроприводом. АСУ проектується як трирівнева з централізованою і децентралізованою периферією структурна схема якої наведена на рис. 11.

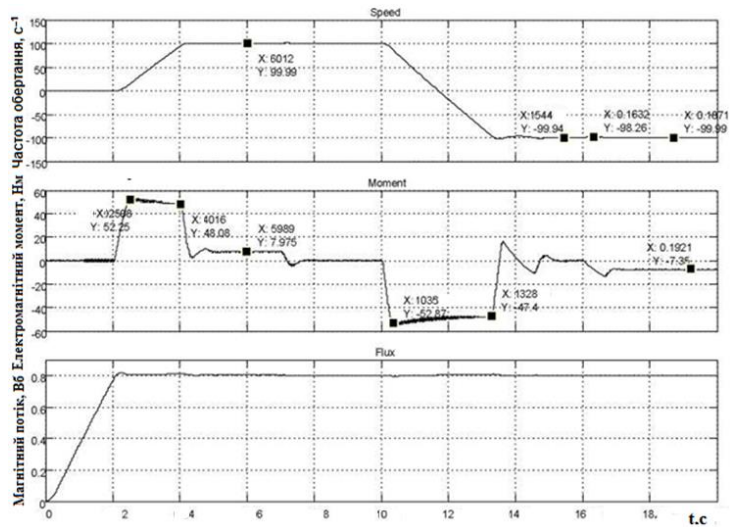


Рис. 10. Графіки перехідних процесів

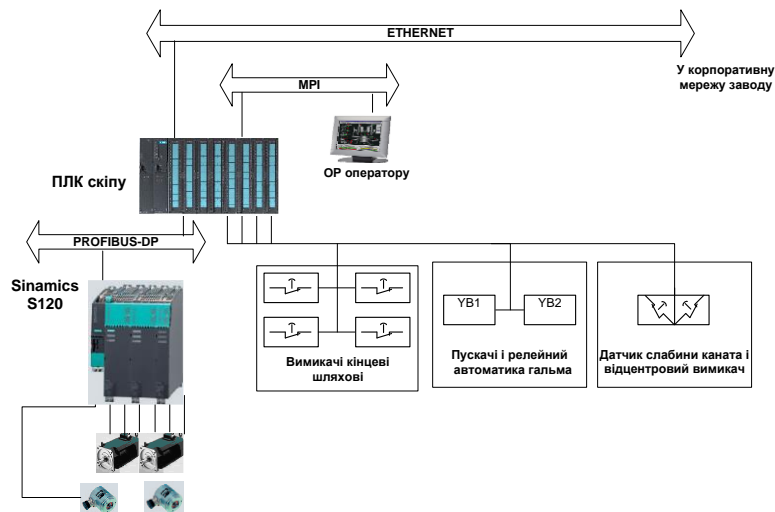


Рис. 11. Структурна схема АСУ електроприводу скіпового підйомника

Застосування обладнання Siemens серії Sinamics S120 Basic дозволяє значно зменшити розмір силових панелей завдяки їх компактным розмірам, широким можливостям по угрупованню приводів з використанням шини Drive-CliQ, а так само спростити електричну схему, виключити індивідуальні фільтри і дроселі. Двигуни кожного механізму управляються від індивідуального частотного перетворювача двигуна (модуля двигуна). Управління приводами здійснюється по мережі Profibus-DP від ПЛК SIEMENS серії SIMATIC S7-300. Таким чином вирішено актуальне науково-технічне завдання дослідження процесу керування багатодвигунного електроприводу лебідки скіпового підйомника в перехідних режимах пуску і стопоріння тягового органу. Проведено дослідження особливостей технологічного процесу регулювання швидкості двохдвигунного електроприводу, встановлення параметрів процесу керування. Представлено удосконалену математичну модель і алгоритм регулювання частотного регулювання швидкості взаємозв'язкового електроприводу та створену автоматизовану систему керування швидкістю двохдвигунного електроприводу лебідки скіпового підйомника, а також структуру і алгоритм функціонування автоматизованої системи двохдвигунного електроприводу лебідки.



## СИНТЕЗ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КЛІМАТИЧНИМ КОНТРОЛЕМ ЗБЕРІГАННЯ БОРОШНА У СИЛОСІ

**Тимофєєв В.О., Бережна О.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Безтарне зберігання борошна (БЗБ) в силосах є складним технологічним процесом, який значною мірою піддається впливу навколишнього середовища (температура, тиск, вологість та ін.). Якщо не вживати відповідних заходів, то під впливом зазначених факторів технологічні властивості борошна змінюватимуться та виходитимуть за межі допустимих значень, тобто борошно може зіпсуватися. Насправді найчастіше для стабілізації окремих параметрів використовують автоматичні регулятори, а вибір стратегії та режиму управління складає розсуд операторів-технологів. Такий підхід не забезпечує достатній рівень автоматизації процесу та зумовлює залежність якості процесу від суб'єктивного впливу провідних процесів технологів [1-3]. На процес зберігання і дозрівання борошна діють різні фактори, що обурюють, крім цього самі параметри мікроклімату тісно пов'язані між собою і зміна одного з них тягне за собою небажане зміна всіх інших. Отже, важливо не лише стабілізувати окремі параметри в гранично допустимих значеннях, а й підтримувати необхідне співвідношення між цими параметрами. Тому дослідження та розробка автоматизованої системи регулювання температурним режимом зберігання борошна у силосі є актуальною науково-технічною задачею.

З огляду на літературні джерела і беручи до уваги поставлену проблему, можна сформулювати мету дослідження – зниження енергоємності технологічного процесу БЗБ у силосі, шляхом розробки інтелектуальної системи управління кліматичним контролем.

У існуючій системі управління технологічним процесом зберігання борошна його подача борошна в силос проводиться з борошновіза по пневмопроводу через завантажувальний рукав діаметром 150 мм. Аерація силосу і подача повітря в завантажувальний рукав відбувається одночасно шляхом відкриття засувок М3 і М4. Нагнітання повітря здійснюється циклонною повітродувкою яка приводиться в обертання двигуном М1. На ділянках пневмопроводів тиск контролюється датчиками РЕ3 і РЕ4. Регулювання тиску повітря, що нагнітається в систему повітря здійснюється за показаннями датчиків шляхом зміни кута відкриття шибєрних заслінок. Шибєрні заслінки приводяться в рух механізмами електричними однообертковими (МЕО) М3 і М4, встановленими відповідно на завантажувальному рукаві і пневмосистемі аерації силосу. Контроль технологічних параметрів БЗБ здійснюється датчиком температури ТЕ1 і датчиком рівня LE1. При підвищенні температури зберігання борошна викликаній ефектом самогріва відбувається примусовий аерація борошна в силосі шляхом включення повітродувки М1 і відкриття шибєрної заслінки М4. Ступінь завантаження силосу контролюється датчиком рівня LE1 за показаннями якого подається інформаційний сигнал про переповнення або

спустошенні силосу. Розвантаження силосу здійснюється шляхом відкриття заслінки М6 приводиться в рух МЕО на заданий кут. Одночасно з відкриттям заслінки відбувається включення віброживильника М5, а також приводів роторного живильника М7 і повітродувки М2. Борошно яке розвантажується подається на виробництво по пневмотранспортному проводу під тиском контрольованим датчиком РЕ2. Під час розвантаження силосу проводиться постійний контроль залишкової ваги борошна тензодатчиком WE1. Вимірювання ваги дозволяється здійснити дозовану подачу борошна на виробництво. З метою запобігання зависання борошна при розвантаженні в силосі проводиться його аерація. Розроблені функціональні схеми автоматизації контурів управління технологічним процесом дозволяють розробити схему автоматизації технологічного процесу безтарного зберігання борошна в силосах, яка зображена на рис. 1.

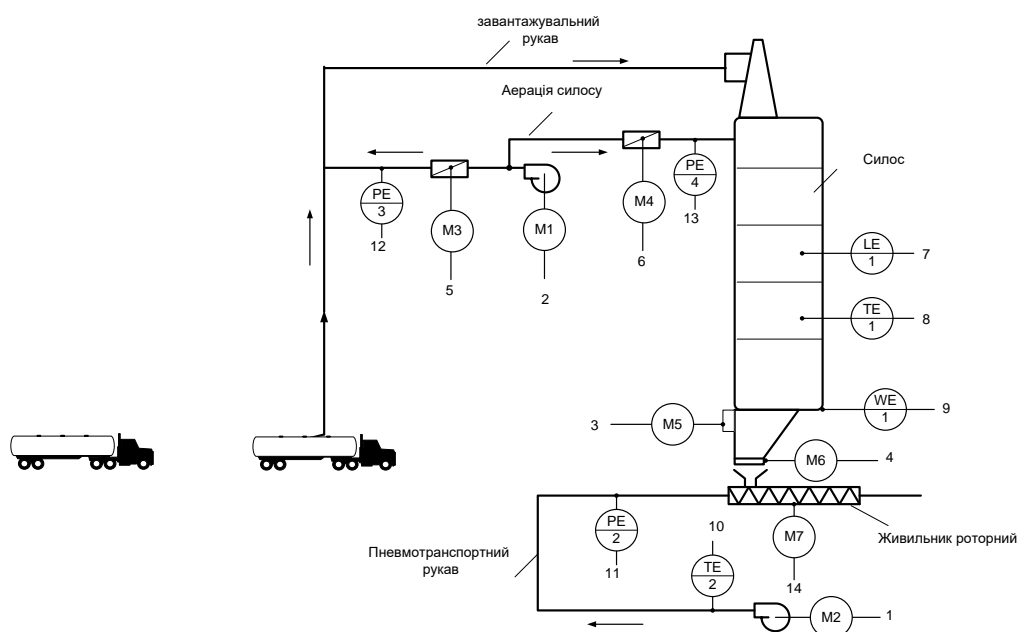


Рис. 1 Функціональна схема автоматизації технологічного процесу безтарного зберігання борошна в силосах

Розглянуті засоби автоматизації є необхідними для підвищення надійності і організації функціонування технологічного процесу в автоматичному режимі. Розроблена схема автоматизації дозволить провести вибір виконавчих механізмів, що управляють, і датчиків контролю технологічних параметрів. При функціонуванні АСУ БЗБ у силосі її функція полягає в отриманні інформації про стан об'єкта керування. Керуюча функція автоматизованої системи управління - функція, що включає отримання інформації про стан технологічного об'єкта управління, оцінку інформації, вибір: керуючих впливів: витрат тепла та пари від системи опалення, об'єму свіжого повітря, що надійшло до силосу; впливів, що збурюють: споживання свіжого повітря системою вентиляції, що відходить з силосу, тепловтрати через стінки силосу, виділення CO<sub>2</sub> та нагрівання повітря в процесі дозрівання борошна. З метою аналізу вплив кожного з параметрів технологічного процесу на якість борошна у процесі зберігання побудована

математична модель, яка враховує, що параметри мікроклімату тісно пов'язані між собою і схильні до впливу різних факторів, що обурюють. Побудована структура взаємозв'язку вхідних та вихідних параметрів мікроклімату в силосі, тобто: температура  $T(t)$ , вологість  $M(t)$ , вміст  $\text{CO}_2$ , витрата повітря  $G(t)$ , і навіть обурювальні параметри: зовнішня температура  $T_H(t)$  і зовнішній зміст  $\text{CO}_{2\text{свіж}}$  та витрата свіжого повітря  $G_{\text{свіж}}(t)$ , наведена на рис. 2.

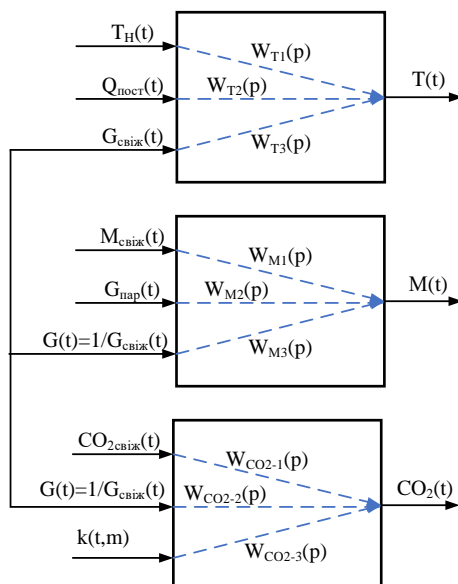


Рис. 2. Структура взаємозв'язку вхідних та вихідних параметрів мікроклімату силосу

Взаємозв'язки параметрів мікроклімату і різних факторів, що обурюють і управляють, представлені у вигляді передавальних функцій. На температуру повітря в силосі впливають наступні впливи, що керують та збурюють, представлено передаточними функціями:

$$W_{T1}(p) = \frac{T(p)}{T_H(p)} = \frac{1}{T_T p + 1}, \quad (1)$$

$$W_{T2}(p) = \frac{T(p)}{Q_{\text{пост}}(p)} = \frac{k_1}{T_T p + 1}. \quad (2)$$

$$W_{T3}(p) = \frac{T(p)}{G_{\text{свіж}}(p)} = \frac{k_2}{T_T p + 1}. \quad (3)$$

де  $T(p)$ ,  $T_H(p)$  – зображення Лапласа для внутрішньої та зовнішньої температури, відповідно;

$T_T$  – постійна часу за температурою;

$Q_{\text{пост}}(p)$  – зображення Лапласа для роботи системи опалення;

$k_1 = \frac{1}{k_F}$  – коефіцієнт дії системи опалення;

$G_{\text{свіж}}(p)$  – зображення Лапласа для витрати свіжого повітря;

$K_2 = -\frac{1}{k_F} C_{\text{пов}} \Delta T$  – коефіцієнт дії системи вентиляції.

Проаналізувавши параметр вологості повітря всередині силосу  $M(t)$ , були виявлені такі збурювальні та керуючі параметри, які представлено передатними функціями:

$$W_{M1}(p) = \frac{M(p)}{M_{\text{свіж}}(p)} = \frac{1}{T_M p + 1}. \quad (4)$$

$$W_{M2}(p) = \frac{M(p)}{G_{\text{нар}}(p)} = \frac{k_3}{T_M p + 1}. \quad (5)$$

$$W_{M3}(p) = \frac{M(p)}{\dot{G}(p)} = \frac{k_4}{T_M p + 1}. \quad (6)$$

де  $M(p)$  – зображення Лапласу для вологості повітря у силосі;

$M_{\text{свіж}}(p)$  - зображення Лапласа для вологості свіжого повітря;

$T_M = \frac{\rho V}{G_{\text{вих}}}$  - постійна часу процесу зволоження;

$G_{\text{нар}}(t)$  – зображення Лапласа для витрати пару;

$k_3 = \frac{1}{G_{\text{вих}}(t)}$  – коефіцієнт перетворення по витраті пару;

$k_4 = G_{\text{нар}}$  – коефіцієнт перетворення за витратою свіжого повітря

Передавальні функції взаємозв'язку обурювальних і впливів на якість повітря, тобто управляючих. вмісту  $\text{CO}_2$  у силосі представлено передатними функціями:

$$W_{\text{CO}_2-1}(p) = \frac{\text{CO}_2(p)}{\text{CO}_{2\text{свіж}}(p)} = \frac{1}{T_{\text{CO}_2} p + 1}. \quad (7)$$

$$W_{\text{CO}_2-2}(p) = \frac{\text{CO}_2(p)}{G'(p)} = \frac{k_5}{T_{\text{CO}_2} p + 1}, \quad (8)$$

$$W_{\text{CO}_2-3}(p) = \frac{\text{CO}_2(p)}{k(p, m)} = \frac{k_6}{T_{\text{CO}_2} p + 1}, \quad (9)$$

де  $\text{CO}_2(p)$ ,  $\text{CO}_{2\text{свіж}}(p)$  – зображення Лапласа для концентрації вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  у силосі та приливному повітрі, відповідно;

$T_{\text{CO}_2} = \frac{\rho V}{G}$  – постійна часу процесу вентиляції;

$G'(p) = \frac{1}{G(t)}$  - зображення Лапласа для витрат повітря в системі вентиляції;

$k_5 = k(p, m)$  – коефіцієнт перетворення з витрат повітря;

$k_6 = 1/G$  – коефіцієнт перетворення виділення вуглекислого газу біомасою

На підставі структури взаємозв'язку параметрів мікроклімату та різних впливових факторів зроблено висновок, що велике значення для адаптивного управління процесом зберігання борошна є не тільки точна підтримка контрольованих параметрів, а й їх поєднання між собою, що потребує додаткових експериментальних досліджень взаємодії основних технологічних параметрів кліматичного контролю у силосі (температура, вологість, вміст у повітрі  $\text{CO}_2$ ). З метою дослідження взаємодії між зазначеними технологічними параметрами за експериментальними даними побудовано цифровий двійник з використання штучної нейронної мережі прямого поширення ШНМ ПП [3-5]. Структура побудованої ШНМ ПП та поверхня вихідної функції  $\text{CO}_2 = f(T, M)$  цифрового двійника кліматичних параметрів силосу наведені на рис. 3. Структура цифрового двійника на базі НМ ПП являє собою двошарову нейронну мережу у якій мається 20 прихованих шарів з функцією активації  $\text{tansim}$ , та 1 вихідний шар з лінійною функцією активації. Отримана нейронна мережа

експортована у Simulink та додана до математичної моделі силосу, яка зображена на рис. 4.

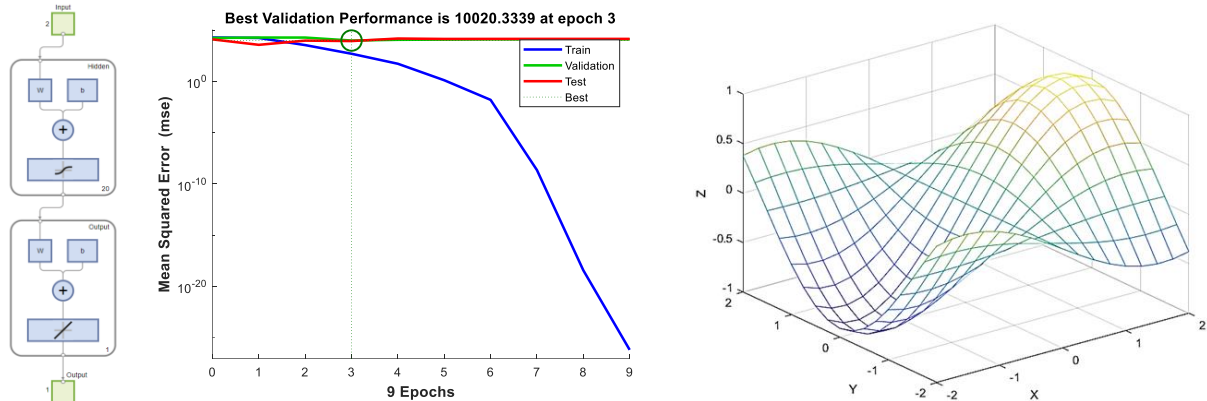


Рис. 3. Результати навчання нейронної мережі та побудована поверхня відгуку  $CO_2=f(T,M)$

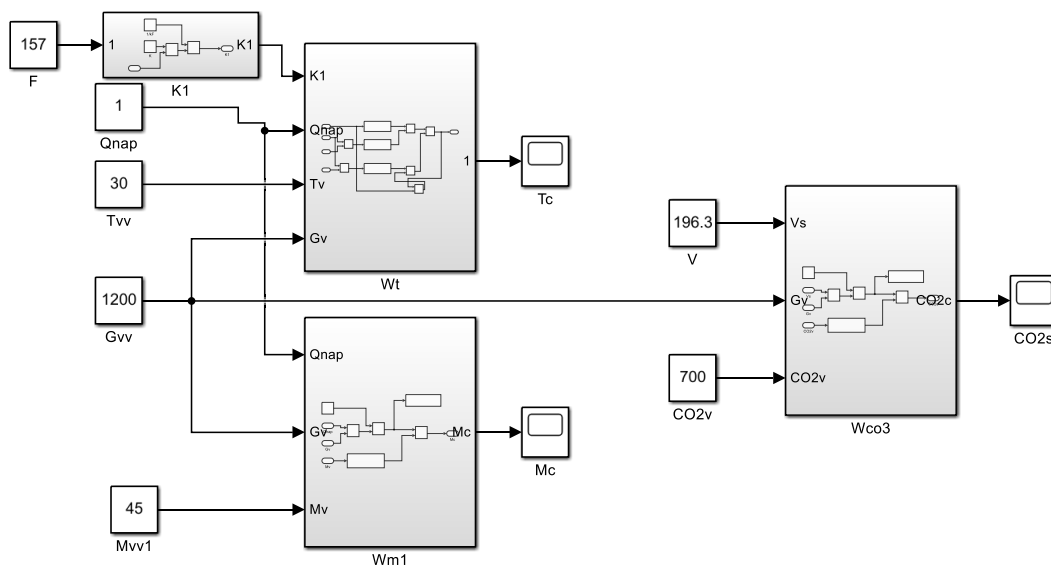


Рис. 4. Структурно-параметрична модель БЗБ у силосі

За результатами досліджень на математичній моделі отримано графіки перехідних процесів у силосі за температурою, вологістю та вмістом  $CO_2$  у повітрі (рис. 5-7). На наступному етапі проектування запропоновано систему управління кліматичними параметрами БЗБ у силосі зі спеціально розробленим нечітким ПІД-регулятором (НР\_ПІД) як найбільш відповідну даному технологічному процесу. Розроблена структура АСУ з НР\_ПІД представлена рис. 8.

На вхід регулятора подаються такі вхідні параметри як температура  $T(t)$ , вологість  $M(t)$ , вміст  $CO_2$ , витрата повітря  $Q(t)$ , і навіть обурювальні параметри: зовнішня температура  $T_{out}(t)$  і зовнішній зміст  $CO_2$  та  $Q_{out}(t)$ . При синтезі НР\_ПІД обрано опис системи нечіткого логічного висновку Mamdani [7-8].

Для створюваної системи обирається вид логічного зв'язку (And method – min) та (Or method – max), вид імплікації (Implication – min), спосіб агрегування висновків правил (Aggregation – max) та метод дефазифікації (Defuzzification – centroid). Для опису вхідних логічних змінних у редакторі функцій приналежності (Membership Function Editor), задаємо для кожної змінної

трикутну функцію приналежності (рис. 9-12).

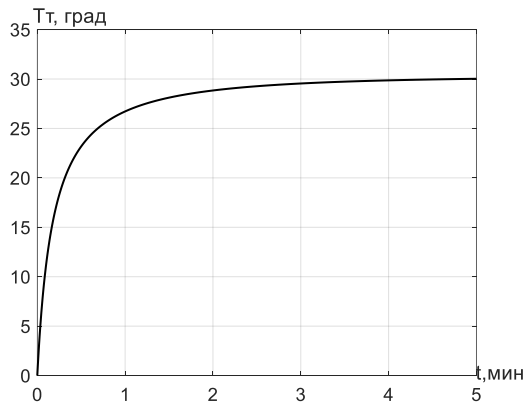


Рис. 5. Графік перехідного процесу за температурою у силосі

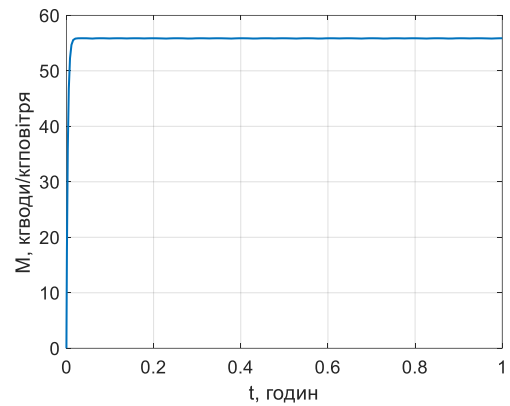


Рис. 6. Графік перехідного процесу за вологістю у силосі

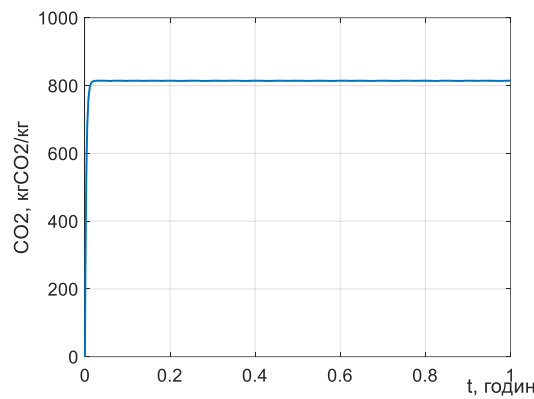


Рис. 7. Графік перехідного процесу за CO<sub>2</sub> у силосі

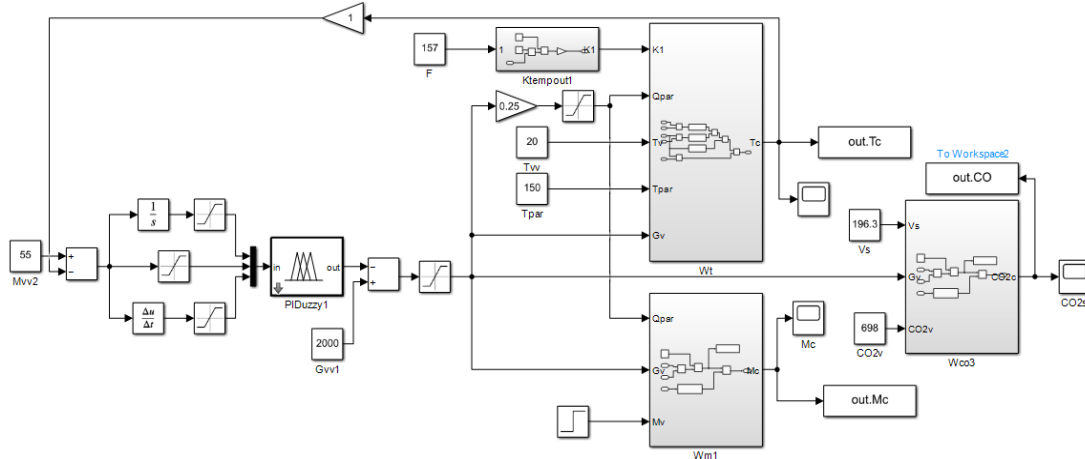


Рис. 8. Структура математичної моделі АСУ мікрокліматом у силосі з НР\_ПІД

Налаштовування управляючих правил для даного випадку наведено на рисунку (рис. 13). Посилки у правилах пов'язані (connection) за допомогою операції and. Введене правило забезпечене ваговим коефіцієнтом (Weight=1). Після опису правил за допомогою інтерфейсу Rule Viewer побудовано роботу системи нечіткого висновку за різних вхідних даних (рис. 14).

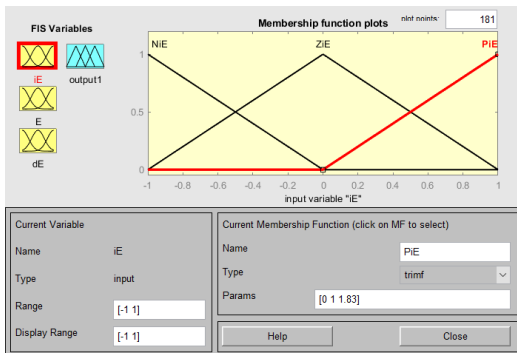


Рис. 9. Налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Інтеграл помилки управління»

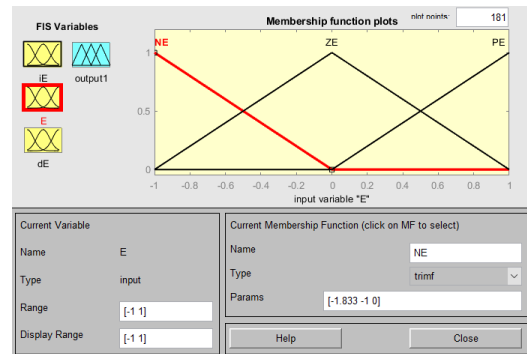


Рис. 10. Налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Помилка управління»

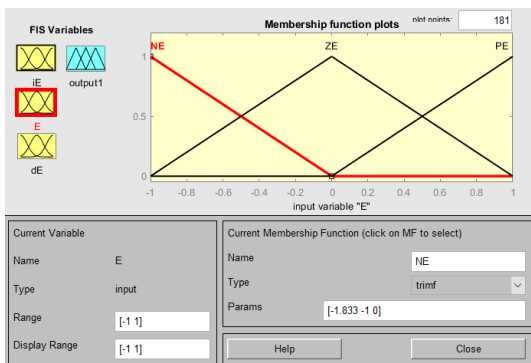


Рис. 11. Налаштування функцій приналежності вхідних змінних «Похідна помилки управління»

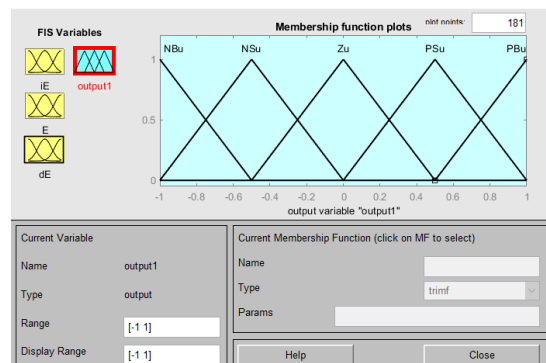


Рис. 12. Налаштування функцій приналежності вихідних змінних

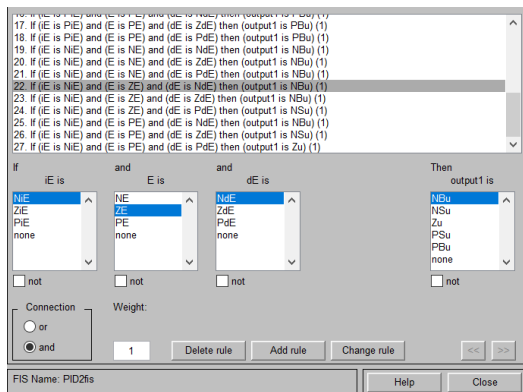


Рис. 13. Налаштовування опису правил функціонування НР\_ПД

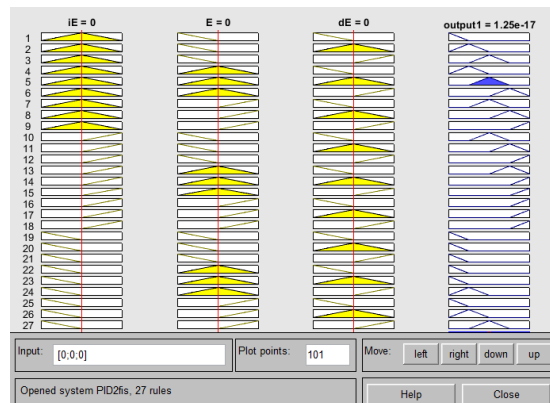


Рис. 14. Робота системи НР\_ПД

Після експорту закону функціонування НР\_ПД до математичної моделі системи управління (див. рис. 8) отримано перехідний процес для системи управління з НР\_ПД, який задовольняє поставленому завданню проектування. На рис. 15 показаний перехідний процес для синтезованого НР\_ПД за вологістю, а на рис. 16 за температурою у силосі з додавання збурення на 500 с.

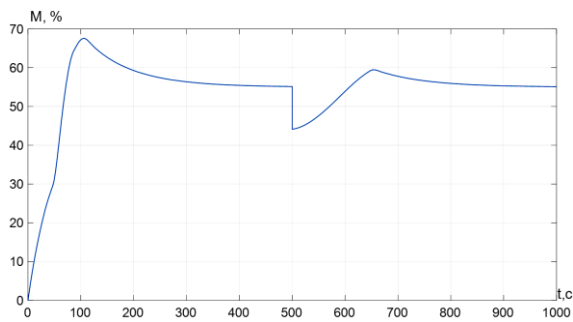


Рис. 15. Графік перехідного процесу по вологості

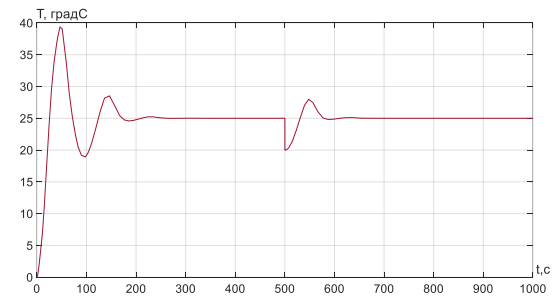


Рис. 16. Графік перехідного процесу по температурі

Згідно графіків перехідного процесу можливо зробити висновок, що спроектована система управління повністю компенсує збурюючі впливи. У ході дослідження отримано такі основні результати: обґрунтовано доцільність розробки інтелектуального комплексу для керування параметрами мікроклімату процесу БЗБ, що реалізується на базі нейронної нечіткої мережі.

У ході дослідження обґрунтовано доцільність розробки інтелектуального комплексу для адаптивного керування параметрами мікроклімату процесу безтарного зберігання борошна, що реалізується на базі нейромережевого регулятора. Представлено модель параметрів мікроклімату в силосі, з урахуванням множинних взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу та керуючими сигналами. Показано доцільність використання систем автоматичного керування параметрами мікроклімату з урахуванням багатозв'язку об'єкта керування. Обґрунтовано доцільність використання для автоматизації управління параметрами мікроклімату інтелектуальних технологій управління на базі розробки нечіткого ПД-регулятора.

#### Література:

1. Іваненко Ф. В., Сінченко В. М. Технологія зберігання та переробки сільськогосподарської продукції: навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. К.: КНЕУ, 2005. 221 с. ISBN 966-574-733-9
2. Маньківський А. Я., Скалецька Л. Ф. та ін. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції: Навч. посіб. Ніжин, ВКП «Аспект», 1999. С. 359 – 371
3. Albus J. S., Meystel A. M. Intelligent Systems: Architecture, Design, and Control. Wiley, New York. 2002.
4. Engelbrecht A. P. Computational Intelligence: An Introduction. Wiley, Chichester, U.K. 2002.
5. Badiru A. B., Cheung J. Y. Fuzzy Engineering Expert Systems with Neural Network Applications. John Wiley. New York, NY. 2002.
6. Апостолук В. О. Інтелектуальні системи керування: конспект лекцій. К.: НТУУ «КПІ», 2008. 88 с.
7. Антоненко В. М. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями : навчальний посібник. Ірпінь: Національний університет ДПС України. 2016. 212 с. ISBN 978-966-337-418-5
8. Ярошук Л. Д. Інтелектуальні системи управління: Експертні системи - основи проектування та застосування в системах автоматизації: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2019. 136с.



# МОДЕЛЮВАННЯ ВНУТРІШНІХ ПРОЦЕСІВ В НЕМЕТАЛЕВИХ ГЕТЕРОГЕННИХ МАТЕРІАЛАХ ПРИ АКУСТИЧНОМУ ІНФРАЧЕРВОНОМУ ТЕРМОМЕТРИЧНОМУ МЕТОДІ КОНТРОЛЮ

**Тонконогий В.М., Голофєєва М.О. Морозов Ю.О.**  
(Національний університет «Одеська політехніка»)

Для виробів з неметалевих гетерогенних матеріалів перспективними є методи активного термічного контролю. Представляють інтерес внутрішні процеси, що відбуваються в матеріалах цього класу при їх контролі акустичним інфрачервоним термометричним методом. Специфіка застосування зазначеного методу неруйнівного контролю, а також фізичні явища, які виникають у неметалевих гетерогенних матеріалах під час вібраційного впливу на них, вивчені не в повній мірі для їхнього практичного застосування. Для комплексного аналізу міцнісних характеристик необхідно враховувати зв'язок термопружних полів, тобто необхідно одночасно визначати температурні та деформаційні поля. Більшість розглянутих робіт розв'язувалися в такій постановці, коли фізико-механічні характеристики матеріалу вважалися такими, що не залежать від температури. Проте, для всебічного аналізу характеристик міцності необхідно враховувати зв'язаність термопружних полів, тобто необхідно одночасно визначати поля температури та деформації.

Розглянемо трансверсально-ізотропний простір, всередині якого на довільній кусочно-безперервній поверхні  $\Omega$  розташовані дефекти структури будь-якої природи (типу тріщин, відшарувань або сторонніх включень).

Компоненти напружень та переміщень в цьому випадку будуть [1]:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\sigma} &= \{\sigma_k(x, y, z)\}_{k=1}^6 = \{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}\}, \\ \mathbf{u} &= \{u_k(x, y, z)\}_{k=1}^3 = \{u, v, w\}, \end{aligned} \quad (1)$$

При  $(x, y, z) \notin \Omega$  задовольняють рівнянням Дюамеля-Неймана:

$$\begin{aligned} \partial_k u_k &= \sum_{j=1}^3 s_{jk} \sigma_j + \alpha_k T, \quad k = 1, 2, 3, \quad \partial_3 u_2 + \partial_2 u_3 = s_{44} \sigma_4, \\ \partial_1 u_3 + \partial_3 u_1 &= s_{44} \sigma_5, \quad \partial_2 u_1 + \partial_1 u_2 = s_{66} \sigma_6, \end{aligned} \quad (2)$$

умовам рівноваги:

$$\begin{aligned} \partial_1 \sigma_1 + \partial_2 \sigma_6 + \partial_3 \sigma_5 + F_1 &= \rho \partial_t^2 u_1 \\ \partial_1 \sigma_6 + \partial_2 \sigma_2 + \partial_3 \sigma_4 + F_2 &= \rho \partial_t^2 u_2 \\ \partial_1 \sigma_5 + \partial_2 \sigma_4 + \partial_3 \sigma_3 + F_3 &= \rho \partial_t^2 u_3 \end{aligned} \quad (3)$$

та рівнянню теплопровідності

$$\sum_{j=1}^3 \lambda_j \partial_j^2 T - c_\varepsilon \partial_t T - T \partial_t \sum_{j=1}^3 \beta_j \partial_j u_j = 0, \quad (4)$$

де  $\partial_k = \frac{\partial}{\partial x_k}, k=1,2,3, \partial_t^k = \frac{\partial^2}{\partial t^k}, k=1,2, F_k, k=\overline{1,3}$  – складові об'ємних сил;

$s_{kj}$  – коефіцієнти узагальненого закону Гука трансверсально-ізотропного середовища;

$\lambda_i$  – коефіцієнти теплопровідності;

$\alpha_k$  – коефіцієнт теплового розширення;

$c_\varepsilon$  – питома теплоємність.

$$-\beta_1 = c_{11}\alpha_1 + c_{12}\alpha_2 + c_{13}\alpha_3,$$

$$-\beta_2 = c_{21}\alpha_1 + c_{22}\alpha_2 + c_{23}\alpha_3,$$

$$-\beta_3 = c_{13}\alpha_1 + c_{22}\alpha_2 + c_{33}\alpha_3,$$

На відміну від класичного рівняння теплопровідності, рівняння (4) містить складову, яка пов'язує приріст температури із швидкістю змінення об'єму тіла, що деформується під впливом механічного гармонійного навантаження.

Для запису умов на поверхні  $\Omega$ , де можливі розриви всіх компонент векторів  $\sigma$  та  $\mathbf{u}$ , введемо в кожній точці поверхні  $\Omega$  локальну систему координат  $(N, M, S)$ . Для цього, в кожній точці поверхні проведемо дотичну площину  $P$  та нормальний вектор  $\mathbf{n}$  до неї. Напрямок осі  $N$  співпадає з напрямком вектору  $\mathbf{n}$ . Дві інші осі  $M, S$  оберемо взаємно перпендикулярно в площині  $P$  таким чином, щоб після обертання осей, напрямлення осей  $(N, M, S)$  співпадали з напрямленням відповідних осей  $(Z, X, Y)$ . Тоді в новій системі координат напруження та переміщення позначимо так:

$$\sigma_N = \{\tilde{\sigma}_k(x, y, z)\}_{k=1}^6 = \{\sigma_N, \sigma_S, \sigma_Z, \tau_{SZ}, \tau_{ZN}, \tau_{NS}\},$$

$$\mathbf{u}_N = \{\tilde{u}_k\}_{k=1}^3 = \{u_M, v_S, w_N\}$$

Для усунення невизначеності, на поверхні  $\Omega$  будемо вважати відомими наступні стрибки:

$$\tilde{\chi}_k^- = \tilde{\zeta}_k^+(x, y, z) - \tilde{\zeta}_k^-(x, y, z), \quad k=\overline{1,10}, \quad (x, y, z) \in \Omega. \quad (5)$$

Розв'язання крайової задачі (1 – 3), (4) та (5) необхідно шукати в класі  $C_{0,5}^1(\mathbb{R}^3) \cap L_1(\mathbb{R}^3)$ ,

де  $C_{0,s}^1$  – простір функцій, що є безперервними за всіма похідними до  $m$ -го порядку за виключенням поверхні  $\Omega$ ;

$L_1(\mathbb{R}^3)$  – простір функцій, що інтегровані в  $\mathbb{R}^3$ .

Температурні умови на дефекті виражають собою умови неідеального контакту між поверхнями особливості структури, а фізично – опір, який здійснює зазначений артефакт на розповсюдження тепла. Ці умови для площини тріщини лежать в площині  $XOY$  та мають вигляд [2]:

$$\begin{aligned} \lambda^* \Delta (\zeta_4^+ + \zeta_4^-) + 2\lambda_3 \left[ \partial_3 \zeta_4^+ \Big|_{x_3=h+0} - \partial_3 \zeta_4^- \right] &= 0, \\ (\lambda^* \Delta - 12h^*) (\zeta_4^+ - \zeta_4^-) + 6\lambda_3 [\partial_3 \zeta_4^+ + \partial_3 \zeta_4^-] &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

де  $\lambda^*$  та  $h^*$  – коефіцієнти, що характеризують теплопровідність дефекту в повздовжньому та поперечному напрямках.

Дефекти, на поверхні яких температура задовольняє вищенаведеним умовам, називають теплопровідними. Якщо  $\lambda^* = 0, h^* \neq 0$ , то особливості структури називаються теплопроникними. А у випадку, коли  $\lambda^* = h^* = 0$ , то – теплоізованими. Розв'язання задач (1 – 4) з урахуванням умов (5) та (6) дозволяє отримати розподіл температур та механічних напружень поблизу дефекту. Використовуючи методику, що наведена в роботі [3], можна звести проблему до розв'язання системи сингулярних інтегральних рівнянь та отримати розподіл температурних полів поблизу особливостей структури неметалевого гетерогенного матеріалу будь-якої природи (типу тріщин, відшарувань або сторонніх включень).

#### Література:

1. O. F. Kryvyi and Yu. O. Morozov, “Solution of the problem of heat conduction for the transversely isotropic piecewise homogeneous space with two circular inclusions,” *Mat. Met. Fiz.-Mekh. Polya*, 60, No. 2, 130–141 (2017); English translation: *J. Math. Sci.*, 243, No. 1, 162–182 (2019); <https://doi.org/10.1007/s10958-019-04533-1>.

2. O. F. Kryvyi and Yu. O. Morozov, “Fundamental solutions for a piecewise-homogeneous transversely isotropic elastic space,” *Mat. Met. Fiz.-Mekh. Polya*, 63, No. 1, 122–132 (2020); English translation: *J. Math. Sci.*, 270, No. 1, 143–156 (2019); <https://doi.org/10.1007/s10958-023-06337-w>.

3. O. Kryvyi and Yu. Morozov, “The influence of mixed conditions on the stress concentration in the neighborhood of interfacial inclusions in an inhomogeneous transversely isotropic space,” in: E. Gdoutos and M. Konsta-Gdoutos (editors), *Proc. of the 3rd Internat. Conf. on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics (Structural Integrity, 16)*, Springer (2020), pp. 204–209; [https://doi.org/10.1007/978-3-030-47883-4\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-030-47883-4_38).

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ КОМБІНОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

Тулупов В.І., Онищук С.Г.

(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)

Одним з головних завдань машинобудівної галузі є забезпечення якості виробів протягом життєвого циклу. Особливо важливим етапом для вирішення цього завдання, є етап виробництва. Використання технологічних методів в процесі виробництва, що дозволяють забезпечити експлуатаційні властивості виробів протягом життєвого циклу, є важливим завданням.

Метою роботи є дослідження та визначення технологічних режимів комбінованих методів обробки.

Використання комбінованих методів обробки для забезпечення експлуатаційних властивостей виробів, а саме енергозберігаючих методів, є необхідною складовою технологічних процесів [1]. Особливістю комбінованих методів є використання додаткових матеріалів та джерел енергії, зокрема такі методи, як хімічні та хіміко-термічні (цементування, азотування, нітроцементация), термічні (гартування струмами високої частоти), обробка виробів концентрованими потоками енергії (пучки електронів, плазмові потоки, лазерне випромінювання), механічні (поверхнево-пластичне деформування).

Вибір того чи іншого методу зміцнення серед комбінованих методів визначається такими чинниками, як: енергоємність процесу зміцнення; характеристики покриття (зносостійкість, глибина зміцненого шару, твердість, величина залишкових напруг в поверхневому шарі).

Серед існуючих комбінованих методів зміцнювальної обробки хіміко-термічна обробка поєднує в собі хімічний та термічний вплив, що сприяє зміні складу, структури та властивостей поверхневого шару оброблюваних деталей. До хіміко-термічної обробки належить й метод поверхневого зміцнення деталей з використанням алюмотермії [2].

Особливістю алюмотермічного процесу є виділення значної кількості тепла через відновлення оксидів металічних елементів оксидів. В процесі алюмотермії досягається температура до 2500 °С й висока швидкість його протікання. Одним з перспективних методів комбінованої обробки поверхонь деталей машин є нанесення покриття оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ . Відновлення відбувається за реакцією  $Cr_2O_3 + 2Al = 2Cr + Al_2O_3$ .

Реакція алюмотермічного відновлення  $Cr_2O_3$  починається при температурі понад 1400 °С та при 1600 °С завершується практично повністю [3].

Як джерело тепла використовується імпульсний електричний струм, що подається в зону обробки від генератора імпульсного струму.

Авторами роботи виконано моделювання за допомогою програмного комплексу ANSYS, модуля Workbench необхідної сили струму для забезпечення температури початку та підтримки процесу алюмотермії.

За результатами розрахунку визначено, що необхідно для забезпечення процесу алюмотермії сила електричного струму  $I = 128 \text{ А}$ .

Другим важливим чинником, що визначає якість виробів та впливає на життєвий цикл, є вид покриття. Дискретні покриття є зміцненими окремими ділянками, що розташовані на робочих поверхнях деталей з визначеною суцільністю. Дискретні покриття збільшують зносостійкість поверхонь тертя за рахунок ефективного використання явища структурно-енергетичної пристосованості матеріалів при терті шляхом створення архітектури поверхні тертя, що зберігає фрагменти руйнування вторинних структур.

Наявність в поверхневому шарі дискретних ділянок підвищеної твердості, оптимальної суцільності, геометрії та глибини проникнення в поверхню усуває концентрацію напружень від контактних навантажень та перериває процес тріщиноутворення, пластичного деформування, а також зменшує схильність до тужавіння деталей. Наявність після нанесення покриття залишкових напружень стискування є позитивним фактом, який сприяє зменшенню крихкості.

Використання імпульсного електричного струму забезпечує отримання дискретних покриттів. Розташування зміцнених фрагментів залежить від частоти та тривалості імпульсів струму, режимів оброблення (частоти обертання та поздовжньої подачі електрода-інструмента). Змінюючи ці фактори, можна регулювати процес алюмотермії та якість дискретного покриття. Для обробки зразків зі сталі 40ХН на електрод подавався струм напругою 12 В, швидкість переміщення електрода в поздовжньому напрямку 2 мм/хв, частота обертання –  $63 \text{ хв}^{-1}$ .

Дослідження зносостійкості зразків після алюмотермії свідчить про те, що зносостійкість збільшується в 2 рази, а інтенсивність зношення зменшується в 1,8 разів [4]. Запропонований технологічний процес обробки деталі «вал» дозволить зменшити трудомісткість за рахунок зменшення кількості технологічних операцій, зокрема термообробки та круглошліфувальної операції.

Висновок: використання комбінованих методів обробки сприяє забезпеченню життєвого циклу виробів машинобудування.

#### Література.

1. Серeda Б.П. Поверхневе зміцнення матеріалів: монографія / Б.П. Серeda, Н.Є. Калініна, І.В. Кругляк. – Запоріжжя: ЗДІА, 2004. – 230 с.
2. Губарь Е.Я. Технология получения покрытий на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с улучшенным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств / Е.Я. Губарь, А.М. Пономаренко, И.П. Частоколенко, В.Ю. Шматков, В.Ю. Васильченко // Нові матеріали та технології в машинобудуванні. – 2014. – №2. – С. 41-44.
3. Сівак О.А. Особливості утворення тугоплавких фаз в системі  $\text{Al-Cr}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$  / О.А. Сівак, М.І. Чередник, І.М. Тоцький, О.Ю. Попов, В.А. Макара // Фізика і хімія твердого тіла. – Т. 15. – №4. – 2014. – С. 780-783.
4. Тулупов В.І., Онищук С.Г. Дослідження способу зміцнення металевих зразків методом алюмотермії // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2021): матеріали тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 26-27 травня 2021 р.) – Чернігів: ЧДТУ, 2021. – Т.1. – С.97.

## ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОРІЗЦЕВОЇ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ВАЛІВ МАЛОЇ ЖОРСТКОСТІ

<sup>1</sup>Українченко М.Є., <sup>1</sup>Хорошайло В.В., <sup>2</sup>Гупка А.Б.

(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна, <sup>2</sup>ТНТУ ім. І.Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Дослідження можливості підвищення ефективності токарної обробки особливо актуальні при обробці валів малої жорсткості.

До нежорстких відносяться вали, власна податливість яких значно перевищує податливість технологічної системи. Відношення довжини до діаметру таких валів більше 12.

Підвищення точності і якості поверхні при токарній обробці валів може бути досягнуте або зменшенням сил, діючих на технологічну систему, або збільшенням жорсткості. Перший шлях неминуче пов'язаний зі зменшенням продуктивності обробки, другий, - зі збільшенням витрат на модернізацію існуючого або на придбання нового металорізального устаткування підвищеної жорсткості. Поза сумнівом, найбільший економічний ефект може бути досягнутий методами підвищення точності при існуючій жорсткості устаткування.

При однорізцевій обробці оброблювана деталь під впливом радіальної складової сили різання віджимається і виникає значна погрішність обробки. Одним із способів підвищення продуктивності і точності обробки валів малої жорсткості є застосування багаторізцевої обробки.

Домінуюча частина погрішності обробки виникає із-за пружних деформацій технологічної системи під впливом навантаження від сили різання. Застосування дворізцевої обробки, коли різці встановлені протилежно один одному по діаметру заготовки, дозволяє частково або повністю виключити вплив сил різання на погрішність обробки шляхом взаємного урівноваження сил різання від двох різців.

При дворізцевій обробці з використанням поворотного супорта різці мають можливість повороту відносно своїх вершин, що дозволяє за рахунок регулювання ширини зрізуваного шару, стабілізувати силу різання.

Управління поворотом різців відносно осі, що проходить через їх вершини, дозволяє урівноважити радіальні складові сили різання, що призводить до мінімального віджимання різців і стабілізації осі деталі в процесі різання, що дозволяє збільшити глибину різання і подачу.

Таким чином стабілізувавши параметри процесу різання при двохрізцевому точінні, можна значною мірою підвищити точність і продуктивність обробки.

### Література:

1. Оптимізація механічної обробки тіл обертання: монографія /В. Є. Карпусь, О. В. Котляр, В. О. Іванов.; за ред. В. Є. Карпуся. – Харків: НТМТ, 2012. – 296 с.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

<sup>1</sup>Федорцов М.В.,<sup>1</sup> Хорошайло В.В., <sup>2</sup>Сеник А.А., <sup>2</sup>Яремчук Б.Б.

(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна, <sup>2</sup>ТНТУ ім. І.Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Одним із основних завдань, що стоять перед вітчизняним машинобудуванням є забезпечення точності виготовлення деталей машин і якості їх поверхневого шару, оскільки саме поверхневий шар визначає експлуатаційні властивості виробів.

Нині основним методом чистової обробки поверхонь деталей є абразивна обробка, але відомо, що абразивна обробка у ряді випадків не забезпечує отримання поверхні, необхідної якості. У зв'язку з цим, виникла необхідність у вдосконаленні альтернативних методів фінішної обробки, до яких відноситься обробно-зміцнююча з поверхневою пластичною деформацією.

Процеси ультразвукових технологій є одними з найбільш ефективних методів формоутворення. До того ж на даний момент сфера застосування ультразвукових технологій безперервно розширюється.

Основною метою ультразвукової фінішної обробки є зниження шорсткості поверхні, її зміцнення на певну глибину і як наслідок зміцнення збільшення мікротвердості і перерозподіл залишкової напруги на поверхні.

Важливим моментом реалізації ультразвукової технології на верстатному устаткуванні з ЧПУ являється не лише автоматизація процесу обробки, але і можливість керованого і стабільного забезпечення заданих показників якості обробки.

В силу неоднорідності структури поверхневого шару і погрішності форми деталі виникають коливання сили виглажування, з якою індентор ультразвукової головки діє на оброблювану поверхню.

Для стабільного функціонування процесу ультразвукового виглажування і забезпечення заданих показників якості, потрібен спеціальний алгоритм управління процесом ультразвукової обробки, шляхом підтримки на заданому рівні енергетичних витрат в електроприводах, що забезпечить необхідні показники якості оброблених поверхонь при заданій продуктивності.

Встановлено, що більш доцільною є схема інтеграції ультразвукового модуля з незалежним приводом в верстат з ЧПУ, який має адаптивну систему управління.

Завдяки стабільним параметрам процесу ультразвукової фінішної обробки можна значною мірою підвищити експлуатаційні властивості деталей.

### Література:

1. Афтаназів І.С. та ін. Технологічні методи забезпечення надійності машин.- Київ: КІТ, 2004. –148с.

# ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

<sup>1</sup>Фесенко М.А., <sup>2</sup>Фесенко А.М.

*(ДНДІ МВС України, м. Київ, Україна, ДДМА, м. Краматорськ, Україна)*

На сьогоднішній день технології штучного інтелекту (далі – ШІ) інтенсивно розвиваються та масово впроваджуються в різні сфери людської діяльності, включаючи промислове виробництво. З кожним роком сегмент промислового ШІ стрімко поширюється. За даними компанії MarketsAndMarkets на кінець 2023 року глобальний обсяг цього ринку становив 3,2 млрд доларів і найближчими роками буде зростати з середньорічним темпом у 45%. Прогнозують, що до 2028 року ринок технологій ШІ може подолати позначку у 20 млрд доларів, тобто збільшиться щонайменше у 6 разів [1]. В такому випадку можливо передбачити, що промислові підприємства будуть усе частіше звертатись до ШІ та впроваджувати його у технологічні процеси свого виробництва для розв’язання чисельних проблем і задач. Розглянемо нижче деякі практичні приклади впровадження технологій ШІ на промислових підприємствах.

Засоби ШІ можливо використовувати для ефективного прогнозування технічного стану обладнання, а також попередження збоїв у його роботі. Існуючі алгоритми (інтелектуальні програми, сервіси) наприклад, можуть дозволити оптимізувати графік технічного обслуговування, що в свою чергу забезпечить проведення своєчасних профілактичних робіт.

Системи комп’ютерного зору завдяки застосуванню спеціальних сенсорів, датчиків і інших засобів Інтернет-речей (IoT) можуть забезпечити точний та повний автоматичний контроль за якістю продукції, яка виробляється на підприємстві, а також мінімізувати кількість браку та визначити фактори виникнення дефектів.

Алгоритми ШІ у поєднанні з робототехнікою можуть забезпечити зменшення участі людини у фізичних процесах виробництва, скорочення людського фактору, а також дадуть можливість підвищити рівень безпеки на підприємствах.

ШІ може застосовуватись у дизайнерських завданнях під час розроблення нової продукції, матеріалів, компонентів тощо. Такі технології можуть надавати інженерам-дизайнерам нові шаблони для промислового проектування.

Інструменти ШІ можна ефективно застосовувати в завданнях розвитку, навчання та підвищення кваліфікації співробітників – для підготовки навчальних матеріалів, оцінки рівня знань і компетенцій. Крім цього, застосування таких інструментів можуть дозволити спростити корпоративну комунікацію між співробітниками підприємства.

Отже, проведений аналіз практичних прикладів технологій промислового ШІ показує очевидні його переваги. Інтеграція цифрових рішень промислового ШІ є однією з перспективних напрямків розвитку виробництва на вітчизняних підприємствах.

## **Література:**

1. Artificial Intelegents in Manufacturing Market. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/artificial-intelligence-manufacturing-market-72679105.html> (дата звернення 17.05.2024 р.).



## ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ВИЛИВКІВ ІЗ МОДИФІКОВАНИХ ЧАВУНІВ ДЛЯ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

<sup>1</sup>Фесенко М.А., <sup>2</sup>Фесенко А.М.

(ДНДІ МВС України, м. Київ, Україна, ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Машинобудівна промисловість в Україні особливо в період війни є стратегічно важливою для підтримки обороноздатності країни. Вона охоплює понад 20 спеціалізованих галузей, серед яких основною залишається ливарне виробництво.

Значення ливарної галузі для машинобудування пов'язано з декількома факторами, а саме: ливарні підприємства поряд з випуском своєї традиційної продукції (виливків) можуть частково замінити виробництво заготовок і виробів, які в довоєнний період випускалися постраждалими на сьогоднішній день металургійними заводами (комбінатами). Крім цього, на відновлення або підготовлення функціонування ливарного виробництва не вимагається значних зусиль, а також великих фінансових вкладень і витрат часу.

Одним із широко застосовуваних конструкційних матеріалів для різної номенклатури виливків машинобудування залишається чавун. Цей конструкційний матеріал має низку суттєвих переваг перед іншими ливарними сплавами, а його використання створює реальні можливості отримання виливків із різною макро- і мікро-структурою і властивостями.

В свою чергу до цього конструкційного матеріалу пред'являються все більш жорсткі умови, що вимагає проведення комплексних досліджень з метою розроблення оптимальних технологічних процесів, які забезпечують можливість значно покращити структуру і властивості чавунних виливків.

Загальновідомо, що ефективним способом покращення структури і властивостей чавуну в виливках є модифікувальне оброблення розплаву.

У представленій роботі досліджено процеси виготовлення чавунних виливків із заданою структурою і властивостями з використанням методу внутрішньоформенного модифікування базового розплаву (INMOLD-процесу). При INMOLD-процесі тверду зернисту (порошкоподібну) модифікувальну добавку розміщують у спеціальній порожнині ливарної форми – протоковій реакційній камері, яка розташована на шляху руху потоку розплаву до порожнини, де відбувається формування конфігурації вилівка. У реакційній камері розплав взаємодіє з добавкою (модифікатором), після чого відбувається цілеспрямована зміна структури та властивостей чавуну порівняно з тим базовим, що заливається в форму.

Проведені комплексні теоретичні і експериментальні дослідження впливу різних за функціональним призначенням і механізмом дії на розплав твердих зернистих добавок (графітизувальних, сфероїдизувальних, карбідоутворювальних), їх гранулометричних характеристик, кількості, об'єму заповнення реакційної камери, умов заливання і твердіння на структуру та властивості типових виливків. В якості базових розплавів чавунів використовувались розплави з різним вуглецевим еквівалентом ( $Se=3,0\dots4,0\%$ ), виплавлені в тигельній індукційній електропечі. На основі результатів проведених досліджень розроблені технологічні рекомендації, які були апробовані при виготовленні окремих промислових виливків.

## ВПРОВАДЖЕННЯ САПР ТА CALS-ТЕХНОЛОГІЙ В АВТОМАТИЗАЦІЮ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

**Фик С. В.**

*(НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)*

Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні вимагає постійного вдосконалення та інтеграції новітніх технологій. Однією з перспективних галузей в цьому контексті є впровадження систем автоматизованого проектування (САПР), таких як SolidWorks, та CALS-технологій (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) для оптимізації виробничих процесів. Це дозволить підвищити продуктивність, якість та ефективність управління виробництвом.

Останні дослідження в області автоматизації виробничих процесів у машинобудуванні показують загальний тенденційний перехід до використання САПР і CALS-технологій. Ці технології сприяють не лише автоматизації процесів обробки, контролю та складання, але й оптимізації підготовчих, ливарних, ковальських та інших допоміжних ділянок. Проте, їх потенціал ще не повністю використовується у всіх аспектах виробничого процесу.

Метою цієї доповіді є висвітлення потенціалу та переваг використання САПР та CALS-технологій в автоматизації виробничих процесів у машинобудуванні. Основні завдання включають аналіз можливостей впровадження цих технологій, обґрунтування їх вигод для підвищення якості, продуктивності та ефективності виробництва.

САПР дозволяють автоматизувати процеси проектування та моделювання, що сприяє вдосконаленню конструкцій та скороченню часу розробки. Наприклад, система SolidWorks є ефективним інструментом для роботи з тривимірними об'єктами в машинобудуванні. CALS-технології надають засоби для ефективного керування життєвим циклом виробу, від проектування до експлуатації. Інтеграція цих систем дозволяє автоматизувати не лише виробничі процеси, але й управлінські функції, забезпечуючи єдиною інформаційною базою для всіх сторін виробництва.

Впровадження САПР та CALS-технологій в автоматизацію виробничих процесів у машинобудуванні має великий потенціал для підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств. Насамперед, це забезпечить однорідну інформаційну базу та зменшить час на розробку та виробництво нових продуктів. Подальший розвиток та вдосконалення цих технологій сприятимуть створенню ще більш ефективних та конкурентоздатних виробничих процесів.

## МАРКЕТИНГОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В МІЖНАРОДНИХ СТРАТЕГІЧНИХ АЛЬЯНСАХ

**Фоміченко І.П., Храмов В.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Інформатизація, спрямована на ефективнішу організацію продуктивної діяльності людини, радикально змінила та продовжує змінювати форми ділової активності. Можливість постійно перебувати в онлайн-режимі об'єднує людей і бізнес у різних частинах планети, допомагає обговорювати та приймати бізнес-рішення, спільно розв'язувати проблеми тощо.

Проблеми стратегічних альянсів у деяких ракурсах висвітлювалися в роботах таких вітчизняних та зарубіжних вчених як М.А. Бобиної та М.В. Грачова, В.В. Македона, В.А. Вергуна і О.І. Ступницького, К. Бартлетт, Р. Блейка, Дж. Блека, М. Борга, С. Госхела, Х. Грегерсена, Дж.Ді Стефано, С. Юшімуре, Д. Квіна, Ф. Клухона, Г. Лейна, К. Ліндзі, М. Менденхелла.

Метою дослідження є аналіз маркетингового забезпечення міжнародних стратегічних альянсів як форми співпраці компаній в ІТ-сфері та можливості включення українських компаній у ці відносини.

На сучасному етапі міжфірмова співпраця і міжнародні стратегічні альянси стали найважливішим інструментом ведення конкурентної боротьби і завоювання лідируючих позицій на ринку. з метою об'єднання наукового потенціалу, виробничої кооперації та розділу ризиків під час освоєння виробництва капіталомісткої і наукомісткої продукції і виходу з неї на ринок транснаціональні компанії все частіше використовують стратегічні альянси. Міжнародні стратегічні альянси зміцнюють співпрацю індивідуальних фірм і роблять так, щоб конкуренція досягла нового рівня між групами фірм з різними інтересами.

Міжнародним стратегічним альянсам ІТ-сфери характерно неповнота об'єднання учасників альянсу, тобто компанії ІТ-сфери, що вступають до міжнародних стратегічних альянсів, зберігають незалежність і самостійність у разі об'єднання частини активів кожної з них. Рішення компанії ІТ-сфери про участь у міжнародному стратегічному альянсі має важливі наслідки для її внутрішньої організації та є відповідною реакцією на зміни в конкурентному середовищі. Під час прийняття рішення про формування міжнародних стратегічних альянсів важливим є чітке розуміння цілей, що мають бути досягнуті компанією за допомогою альянсу.

Недостатня розвиненість стратегічних альянсів в Україні пояснюється передуючим умовами й особливостями економічного розвитку. Однак стратегічні альянси є однією з найбільш перспективних форм інтеграції, тому саме вони повинні стати основою корпоративної економіки України.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ БЕЗНАПІРНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ ШЛАМІВ ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

<sup>1</sup>Чернишов О.В., <sup>1</sup>Музичка Д.Г., <sup>1</sup>Зубрицький О.Б., <sup>1</sup>Коваленко О.К.,  
<sup>1</sup>Музичка В.А., <sup>2</sup>Щербина Є.Ю.

(<sup>1</sup>ДДТУ, м. Кам'янське, Україна; <sup>2</sup>НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

В умовах масового та багатосерійного виробництва при виготовлення таких деталей, що потребують на останньому етапі виробництва високої частки шліфувальних операцій (наприклад, підшипники, різальні інструменти та інші деталі) відбувається на шліфувальних дільницях.

Внаслідок отримання великої кількості шламів шліфувальних верстатів та дрібно елементної стружки для видалення її від верстатів та транспортування її до місця збору у цеху раціонально використовувати безнапірний гідротранспорт. З цією метою у цеху встановлюється магістральний та дільничні жолоби, по яких транспортується відходи.

Мастильно-охолоджувальна рідина (МОР), після виконання основної функції у зоні різання, змиває шлами і дрібноелементну стружку у піддон верстата, утворюючи суміш – пульпу, яка потім попадає у дільничний жолоб транспортної системи. З метою поліпшення процесу транспортування у магістральний жолоб подається певна кількість додаткової МОР.

Конструкція системи транспортування стружки до місця її переробки у цеху (включаючи дільничні та магістральні жолоби) є недосконалою: в місцях з'єднання жолобів між собою спостерігається накопичення шламів. У багатьох випадках жолоби гідротрас виготовляють з листової сталі, що у процесі їх виготовлення веде до короблення поверхні дна жолобу. Такі нерівності також приводять до турбулізації потоків та утворення заторів при транспортуванні пульпи.

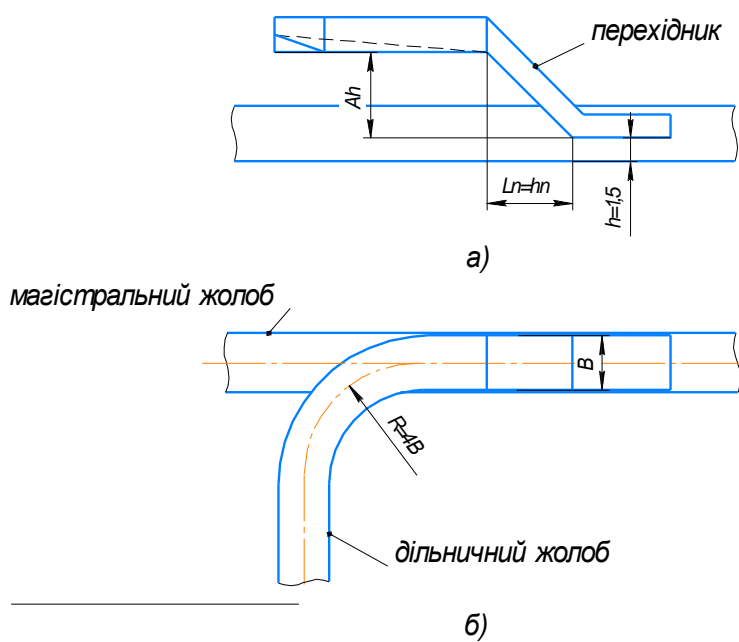
Значний вплив на роботу безнапірного гідротранспорту також має місцевий опір у вигляді поворотів траси та перетину потоків пульпи. Рух пульпи на закругленнях (у колінах) характеризується, перш за все, зміною величини і форми живого перетину потоку. Під дією відцентрової сили в жолобі з внутрішньої сторони закруглення глибина потоку зменшується, внаслідок чого створюються умови для утворення заторів. У цьому випадку спостерігається значне збільшення рівня рідини біля зовнішньої стінки, що може привести до її переливу через борт. Крім того, на повороті утворюються більш-менш значні зони, в яких спостерігаються вихори і протитоки рідини. Такі самі явища спостерігаються на ділянках приєднання дільничного жолоба до магістрального.

Для усунення вказаних недоліків, скорочення витрат додаткової кількості МОР та забезпечення надійної й ефективної роботи транспортної системи цеху необхідно, щоб дно жолоба мало певний ухил та низьку шорсткість поверхні, а місця повороту жолобів – певний радіус.

Для вирішення поставленої задачі проведено експериментальні дослідження процесу гідротранспортування шламів. При цьому для безнапірного гідротранспорту були розраховані геометричні параметри потоку пульпи у жолобі прямокутної форми на закругленні повороту траси (висота зовнішньої стінки на закругленнях, кут нахилу дна жолоба в поперечному перерізі до горизонту та ін.).

За отриманими результатами розроблено рекомендації щодо виготовлення форми жолоба та конструкції з'єднання дільничних жолобів з магістральними. З метою збільшення жорсткості запропоновано дно жолоба виготовляти зі швелера №22 або більше з подальшим нарощуванням бічних поверхонь листовою сталлю. Місця стиків зварювання швелерів між собою та бічних поверхонь зі швелером рекомендовано після зварювання шліфувати, надаючи стику рівну та гладку поверхню.

Також запропоновано дільничні жолоби розташувати таким чином, щоб рівень пульпи, що транспортується по них, був вищий за рівень пульпи (рис. 1), що знаходиться у магістральному жолобі. Це дозволить уникнути умов створення заторів шламу, оскільки верхній потік буде плавно перетікати та з'єднуватися з нижнім.



а) вид спереду; б) вид зверху

Рис. 1. Конструкція вузла з'єднання магістрального та дільничного жолобів

В результаті проведених досліджень визначено, що оптимальний кут нахилу для жолобу при транспортуванні пульпи становить  $0,6 \dots 3^\circ$ . Встановлено, що раціональні значення радіуса закруглення жолоба  $R$  залежать від його ширини  $B$ :

$$R = 4B. \quad (1)$$

Отримані результати можуть бути використані на машинобудівних підприємствах, де застосовується централізоване очищення МОР.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КУВАННЯ ГАКІВ ВЕЛИКОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ З ПОКРАЩЕННЯМ ЇХ ЯКОСТІ

**Чухліб В. Л., Колісник К. Д.**  
(НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна)

Гаки великої вантажопідйомності застосовують для вирішення широкого кола завдань вантажно-розвантажувальних робіт. Їх використання відіграє важливу роль в багатьох галузях промисловості, машинобудування, металургійних комбінатах, будівництва, морських портах, складах тощо. З часом гаки виходять з ладу через втому металу, тому будь-яка несправність гака під час його використання призведе до негативних наслідків. Тож гаки великої вантажопідйомності відносяться до виробів відповідального призначення. В більшості споживачі застосовують ковани гаки. Процес виготовлення гаків методом кування є трудомісткий і має цілий ряд технологічних операцій, які в свою чергу мають вплив на якість готового гака.

У роботі [1] автори зробили аналіз та оптимізацію процесу кування гаків стрілочних замків. Вони запропонували оптимізований розмір поковки і геометрію інструменту та перевіряються моделюванням за допомогою програмного забезпечення Simufact Forming. Результати моделювання перевіряються з реальним станом. Автори робіт [2], [3] розглянули основні фактори які підвищують [2] та впливають [3] на якість продукції кування. Дослідження [4] полягало в розробці способу осаджування чотирипроменевих заготовок. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень автори розробили рекомендації з проектування технологічних процесів кування за новими схемами деформування злитків. Автори роботи [5] представили технологічну схему кування зливків за допомогою спеціального фігурного бойка та описали його вплив при виконанні операції протягування злитків. Комбіноване технологічне рішення дозволяє розширити номенклатуру поковок відповідального призначення.

Мета роботи - дослідження процесу кування гаків великої вантажопідйомності з покращенням їх якості при розробці технологічних режимів кування застосовуючи комп'ютерне моделювання.

Перспективним напрямком для оптимізації процесу кування гаків є поєднання операцій осаджування і протягування. Вони є основними операціями кування що забезпечують високі механічні властивості якості поковок. При осаджуванні і протягуванні поліпшується проробка литої структури поковок, зерна стають дрібнішими, закриваються внутрішні дефекти злитка та відбувається його формозміна [6]. При цьому відстежити вплив цих операцій на показники якості поковок буває дуже складно. Тому дослідження формозміни при куванні гаків виконувалось шляхом комп'ютерного моделювання програмним комплексом QForm. У ньому було досліджено напружено-деформований стан процесів осаджування та протягування з подальшою розробкою режимів кування і раціонально обрані їхні параметри, які мають вплив на показники якості. Основними параметрами ковальських процесів осаджування та протягування, які впливають на якість кованих гаків, є: дотримання температурного режиму кування, схеми протягування та осаджування, кути кантування при протягуванні, ступінь деформації за прохід тощо.

Отримані результати дозволяють вдосконалити процес кування вантажних гаків та підвищити їхню якість, яка необхідна для виробів відповідального призначення.

#### **Література:**

1. Numerical analysis and optimization of the hook forging process / Jan Rihacek, Jan Bartak, Kamil Podany, Michaela Cisarova, Eva Peterkova // MM Science Journal, 2021, June, p. 4356-4361.
2. A systematic review of factors affecting the process parameters and various measurement techniques in forging process / Shrutika Sharma, Mayank Sharma, Vishal Gupta, Jaskaran Singh // Steel research international, Volume 94, Issue 5, May 2023, p. 352.
3. Metallurgical integrity for economic production of quality steel forgings for advanced applications / V Divakar Rao // Materials today: Proceedings, Volume 39, Part 4, 2021, Pages 1434-1439.
4. Удосконалення технології виготовлення крупних поковок на основі використання нового способу осадження / Марков О. Є., Злигорев В. М., Іванова Ю. О., Лагер О. О., Дорофеев В. О. // Обработка материалов давлением. ISSN 2076-2151. 21.01.2020 р. №1 (50) с. 91-97.
5. Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighing More Than 100 Tons without Ingot Upsetting / O. E. Markov, M. V. Oleshko, V. I. Mishina // Metallurgical and Mining Industry, 2011, Vol. 3, №7, p. 87-90.
6. Основи творення машин / М.Я. Бучинський, О.В. Горик, А.М. Чернявський, С.В. Яхін (За редакцією О.В. Горика). – Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. – 448 с.

## РОЗРАХУНОК РОЗПИРАЮЧИХ ТИСКІВ В МАТРИЦІ ПРИ РАДІАЛЬНО-ПРЯМОМУ ВИДАВЛЮВАННІ

<sup>1</sup>Чучин О.В., <sup>2</sup>Тітов А.В., <sup>1</sup>Чепеленко О.Ю., <sup>1</sup>Шустова В.М.

(<sup>1</sup>ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна; <sup>2</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорьського, м. Київ, Україна)

Послідовне радіально-пряме видавлювання відноситься до процесів з розвиненою радіальною течією металу заготовки та дозволяє із суцільної заготовки виготовити порожнистий виріб типу стакану за один перехід [1].

Теоретичний аналіз цього процесу раніше був виконаний енергетичним методом [2, 3]. В роботі наведені формули для розрахунку приведенного тиску деформування.

Метою цієї роботи є отримання та подальший теоретичний аналіз формул для визначення розпираючих тисків на внутрішні поверхні роз'ємної матриці в процесі послідовного радіально-прямого видавлювання залежно від геометричних параметрів процесу та умов тертя. Результати розрахунків за цими формулами знадобляться для вибору конструкції, розмірів та матеріалу формозмінювальних матриць. Розрахункова схема процесу радіально-прямого видавлювання складалась з пластичних блоків, пластичного та жорсткого модулів, які розглядалися в циліндричній системі координат  $r, \theta, z$ . У розрахункову схему, крім швидкості активного пуансона  $V_a$ , також входили віртуальні швидкості  $\tilde{V}_1, \tilde{V}_2, \tilde{V}_3$ . Були отримані кінематично можливі поля швидкостей, які описували течію матеріалу заготовки та задовольняли граничним умовам у швидкостях, умові не стискання, умові безперервності нормальної компоненти швидкості на межах кінематичних модулів.

Введення віртуальних швидкостей в кінематично можливу модель деформованого матеріалу в процесі радіально-прямого видавлювання дозволило отримати формули для розрахунку приведених радіальних тисків  $\bar{q}_1, \bar{q}_2$  та  $\bar{q}_3$ , а також радіальних тисків на внутрішні поверхні матриці з боку формозмінювального металу, а подальші теоретичні дослідження цих формул для алюмінієвого сплаву АД31 дозволили встановити вплив геометричних параметрів процесу і коефіцієнтів тертя  $\mu$  на реактивні навантаження, що сприймаються нерухомими поверхнями матриці. Встановлено, що найбільший вплив на розпираючі тиски мають товщина дна стакану, радіус внутрішньої поверхні стакану, відношення товщини стінки до товщини дна стакану і коефіцієнт тертя  $\mu$ .

Результати розрахунків за цими формулами надалі використовуються для вибору конструкції, розмірів і матеріалу формоутворюючих матриць.

**Література:** 1. Алиев И.С. Савченко О.К., Чучин О.В. Технологические возможности процесса комбинированного радиально-прямого выдавливания. *Кузнечно-штамповочное производство*. 2007. 11. С. 21–25. 2. Крюгер К., Чучин О.В, Носаков А.А. Анализ процесса комбинированного поперечно-прямого выдавливания. *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії: Зб. наук. пр.* Краматорськ: ДДМА. 1999. С. 42–45. 3. Алиева Л. И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания: монография. Краматорск: ООО «Тираж–51». 2018. 352 с.



## ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ

**Шашко В.О., Мироненко Є.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Функціонування підприємств в умовах інтелектуалізації економіки та невизначеності зовнішнього середовища змінює організаційні форми їх існування та потребує нової внутрішньої інтеграції, набуття ними нових якостей, що посилює роль організаційного розвитку.

Організаційний розвиток промислових підприємств в умовах інтелектуалізації економіки – безперервні багатовимірні локальні зміни в технологіях менеджменту і поведінці співробітників, процес переходу до інтелектуальних промислових підприємств, здатних генерувати рішення щодо вибору найкращої організаційної поведінки [1]. Інтелектуальне промислове підприємство – сформований на базі інтелектуального капіталу єдиний виробничо-технічний комплекс, який характеризується загальним економічним призначенням продукції, що виробляється, технології управління та виробництва якого носять когнітивні риси.

Одним з інструментів забезпечення організаційного розвитку промислових підприємств в умовах інтелектуалізації економіки є штучний інтелект, як організована сукупність інформаційних технологій, які можуть брати на себе окремі когнітивні функції людини та виступати інтелектуальним агентом, який за допомогою системи наукових методів досліджень і алгоритмів обробки інформації сприймає оточуюче середовище та приймає рішення згідно поставлених управлінських та виробничих завдань [2]. Застосування цифрових технологій і штучного інтелекту є невід'ємною частиною розвитку промисловості як високотехнологічної галузі [3]. Застосування штучного інтелекту в промисловості є одним з напрямків роботи по діджиталізації підприємства. Ця технологія дозволяє попередити відмови устаткування, знизити витрати на техобслуговування і уникнути нанесення шкоди бізнесу через збої.

Впровадження штучного інтелекту вимагає зміни: – бізнес-моделей, прикладом можуть служити платформні бізнес-моделі Uber або Airbnb; – технічних моделей функціонування об'єкта, який перебудовується на автономний автоматичний режим роботи. Основний потенціал технологій штучного інтелекту для промислових підприємств полягає в можливості перетворювати дані в об'єкти інтелектуальної власності.

**Література:** 1. Дорошук Г.А. Організаційний розвиток як результат управління змінами. Управління змінами: підручник за заг. ред. А.А. Мазаракі. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2018. 544 с. 2. Піжук О.І. Штучний інтелект як один із ключових драйверів цифрової економіки. Економіка, управління та адміністрування. 2019. № 3 (89). С. 41-46. 3. Погорелов Ю.С. Способи розвитку підприємства: умови та результативність використання. Економічний журнал Одеського політехнічного університету. 2017. № 1. С. 76-84

## ІННОВАЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

**Шубна О.В., Осоненко Д.С.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Розробка та випуск нової конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції, а також впровадження у виробництво передових високотехнологічних процесів стає можливим завдяки інноваційному розвитку в аграрному секторі, що призводить до переходу на новий якісний рівень.

Метою цієї роботи є дослідження ролі інновацій у підвищенні конкурентоспроможності та впровадженні передових високотехнологічних процесів через інноваційний розвиток.

В сучасних умовах особливу увагу привертає дослідження впливу інновацій на конкурентоспроможність вітчизняних підприємств, особливо в умовах ринкової економіки. Однією з основних цілей підприємства стає удосконалення процесів створення нових товарів і виробництва, а не тільки забезпечення конкурентоспроможності. Оцінка новизни інновацій проводиться за технологічними параметрами та ринковою позицією. Технологічні параметри поділяють інновації на два класи: процесні та продуктові.

Процесні інновації – це впровадження нових або значно поліпшених способів виготовлення або доставки продукту. Продуктові інновації – включають в себе використання нових матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих, а також створення зовсім нових продуктів.

Класифікація інновацій за глибиною внесених змін є важливим аспектом у розумінні та аналізі інноваційного процесу в підприємстві чи галузі. Ця класифікація дозволяє визначити ступінь революційності та впливу інновацій на виробництво та продукти. Основні типи інновацій за глибиною внесених змін включають радикальні, поліпшуючі та модифікаційні.

Слід підкреслити, що саме інновації надають підприємству конкурентні переваги, сприяють зростанню його конкурентоспроможності, зміцнюють ринкові позиції та є гарантією сталого розвитку. Умови, такі як з'явлення великої кількості нових підприємств та організацій, лібералізація імпорту, формування ринку капіталу та акціонерних підприємств, а також вступ іноземних компаній на український ринок, значно ускладнили ринкову ситуацію та посилили конкуренцію в усіх галузях господарської діяльності [1].

Результати дослідження свідчать, що інновації мають вирішальне значення для підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарських підприємств. Впровадження інноваційних розробок уможливує реалізацію передових високотехнологічних процесів, що дозволяє підприємствам не лише утримувати свої ринкові позиції, а й досягати нових висот. Інноваційний розвиток є запорукою сталого розвитку підприємства в умовах жорсткої конкуренції.

**Література:** 1. Я.С. Ларіна, О.В. Четверик. Сучасні виклики у розвитку менеджменту і маркетингу аграрного сектору економіки України. Київ. НУБІП. Збірник тез доповідей, 2017 рік. URL: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u194/zbirnik\\_tez\\_marketing\\_0.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u194/zbirnik_tez_marketing_0.pdf)

## ЛОГІСТИКА ТОРГОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ЯК ФАКТОР ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБУТОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

**Шубна О.В., Скиба П.Р.**

*(ДДМА, м. Краматорськ – Тернопіль, Україна)*

Логістика збутової діяльності торгового підприємства в умовах воєнного стану набуває особливого значення як ключовий фактор, що впливає на ефективність його збутової діяльності. У цих умовах необхідно розробляти та впроваджувати стратегії, спрямовані на максимальну оптимізацію логістичних процесів з метою забезпечення постачання товарів до кінцевих споживачів навіть у непередбачуваних обставинах. Проблема полягає в тому, як оптимізувати всі процеси збуту, від постачання товарів до доставки кінцевим споживачам щоб максимально задовольнити потреби клієнтів і підвищити конкурентоспроможності підприємства.

Останні дослідження та публікації підтверджують, що ефективна логістика сприяє підвищенню продажів та зниженню витрат. Однак деякі питання, пов'язані з розробкою комплексної логістичної стратегії, що враховує коливання на ринку та зміни попиту, залишаються невирішеними.

Мета роботи – дослідити значення збутової логістики в забезпеченні ефективності збутової діяльності торгового підприємства та постановити завдання з розробки стратегій логістики, спрямованої на максимізацію ефективності.

В ході дослідження проаналізовано основні аспекти логістики збутової діяльності, включаючи управління запасами, оптимізацію маршрутів доставки та використання інноваційних технологій. Результати дослідження обґрунтовані з метою виявлення оптимальних шляхів вирішення поставленої проблеми.

Логістика збутової діяльності торгового підприємства є ключовим елементом у забезпеченні ефективного руху товарів від виробника до кінцевого споживача. Вона включає в себе планування, координацію та контроль всіх процесів збуту, з метою задоволення потреб клієнтів та максимізації прибутку [1].

Логістика збуту охоплює усі аспекти управління виробництвом та постачанням, що впливають на процес збуту. Вона визначає, які товари потрібно поставити на який ринок, в який час і за якою ціною. Це допомагає оптимізувати запаси, знижувати витрати та підвищувати рівень обслуговування клієнтів.

Роль логістики збутової діяльності полягає в тому, щоб забезпечити швидку та надійну поставку товарів, підтримуючи при цьому високу якість обслуговування. Для досягнення цієї мети необхідно використовувати стратегії, які орієнтовані на покращення управління запасами, оптимізацію маршрутів доставки та впровадження інноваційних технологій [2].

Однак, логістика збутової діяльності також стикається з викликами, такими як зміни в попиті, конкурентний тиск та нестабільність на ринку. Підприємствам доводиться швидко адаптуватися до зміни умов, зокрема до обмежень на рух товарів та обслуговування клієнтів, і розробляти нові стратегії логістики, щоб забезпечити безперебійну роботу підприємства в умовах воєнного конфлікту. Щоб успішно протистояти цим викликам, компанії повинні постійно аналізувати свою діяльність та шукати оптимальні рішення.

Основні функції логістики збутової діяльності включають управління запасами, транспортування, упаковку, складське господарство та обробку замовлень. Вона спрямована на забезпечення максимальної ефективності усіх цих процесів з метою забезпечення задоволення потреб клієнтів та збільшення конкурентоспроможності компанії [3].

Результати дослідження дозволяють зробити висновок про важливість логістики збутової діяльності та визначити перспективи подальшого розвитку в цьому напрямку. Вона дозволяє оптимізувати витрати, знижувати час доставки та підвищувати рівень задоволеності клієнтів, що сприяє зростанню прибутковості та стабільному розвитку бізнесу. Враховуючи швидко змінне бізнес-середовище, подальша робота в цьому напрямку буде спрямована на пошук нових інноваційних рішень та стратегій, спрямованих на оптимізацію збутової діяльності торгового підприємства.

#### **Література:**

1. Міщук І.П. Система логістики торговельного підприємства: напрями та інструменти інноваційного розвитку. Економічні науки. Вісник Хмельницького національного університету 2011, № 6, Т. 2011. С. 182-186.

2. Кара Н.І., Зинич Л.В. Шляхи підвищення ефективності збутової діяльності підприємств харчової промисловості України в умовах міжнародної економічної діяльності. Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку. Випуск №1 (9), 2023. С. 150-158.

3. Макалюк І.В. Сутність збутової діяльності підприємства та методологічна послідовність оцінювання її ефективності. Сучасні проблеми економіки і підприємництва. Випуск 23, 2019. С. 140-149.

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Заковоротний О.Ю., Хулап А.В.**  
(НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна)

Згідно з дослідженням [1], є чотири загрози, які необхідно терміново вирішити в безпеці інтернету речей: автентифікація пристрою, DoS/DDoS-атака, виявлення вторгнень і виявлення шкідливих програм. Традиційним рішенням цих проблем не вистачає здатності обробляти великі набори даних і виникає багато проблем, таких як низька ефективність і низька продуктивність у реальному часі. Більшість із них не можна перенести на інтернет речей. Методи штучного інтелекту, представлені машинним навчанням, можуть використовувати великі обсяги даних інтернету речей для отримання корисної інформації із даних і, таким чином, прогнозувати невідомі події, надаючи нові рішення для цих проблем [2, 3].

Штучний інтелект для автентифікації пристрою: традиційний вхід до пристроїв інтернету речей легко підробити через статичну природу ідентифікаційної інформації. Статичний ідентифікатор пристрою або ідентифікатор користувача дозволяє хакерам легко просканувати, прочитати та підробити ідентифікатор. Машинне навчання надає різноманітні методи для безпечної автентифікації пристроїв інтернету речей. Ці методи використовують різноманітні способи отримання інформації про пристрої та користувачів, яку можна перевірити: біологічні характеристики людини (відбитки пальців, райдужка, обличчя, ДНК, звуки тощо); Breath Print (технологія автентифікації для респіраторної акустики на мобільних пристроях Інтернету речей); характеристики людської поведінки (хода, почерк).

Атаки DoS і DDoS також можна виявити за допомогою машинного навчання. Шляхом аналізу пакетів які приходять на пристрій (адресні дані відправника, тип та зміст пакетів, час) нейромережа виведе ймовірність (коефіцієнт підозри) того, що вузли зазнають DoS-атаки. Якщо коефіцієнт підозри перевищує попередньо визначений поріг, вузол вимкнеться та заощадить енергію протягом заданого часу, обмежуючи атаку локальною областю мережі. У той же час відключення атакованих вузлів також знижує енергоспоживання та продовжує термін служби системи.

Штучний інтелект для виявлення вторгнень: знов таки, за допомогою розпізнавання образів мережевого трафіку виявляють неправильне використання або аномалії. Виявлення неправильного використання може

ефективно викривати відомі атаки відповідно до шаблонів атак [4]. Однак вони не можуть виявити невідомі нові типи вторгнень, оскільки ці атаки не схожі на інші відомі. Навпаки, виявлення аномалій аналізує звичайні шаблони трафіку та робить висновки на основі припущення, що поведінка зловмисника відрізняється від поведінки звичайних користувачів. Якщо характеристики певного трафіку далекі від нормальних моделей, трафік вважається вторгненням.

Штучний інтелект для виявлення шкідливих програм: так само, як виявлення вторгнень, згадане вище, виявлення зловмисного програмного забезпечення на основі сигнатур безсиле для шкідливого програмного забезпечення, яке раніше не з'являлося. Але нейромережа, натренована на відомих сигнатурах може з деякою вірогідністю виявляти і незнайоме шкідливе програмне забезпечення, особливо у поєднанні з іншими методами, такими як аналіз поведінки в мережі. Тобто зловмисне програмне забезпечення можна виявити ще до досягнення певного рівня зараження.

Підсумком дослідження є те, що для розв'язання усіх цих проблем можуть бути використані нейромережі, навіть нейромережі прямого поширення без зворотних зв'язків. Проблема зводиться до розпізнавання образів та виявлення аномальної поведінки: виявлення нетипового користувача, нетипових дій, нетипових підключень тощо. Але для інтернету речей постає питання обмежених ресурсів (обсяги пам'яті, використання обчислень з плаваючою комою, продуктивність). Це створює наступні проблеми навчання нейромереж, можливості обчислень у реальному часі та інше. Проблема оптимізації виконання нейромереж для виконання у інтернеті речей може бути темою для подальших досліджень.

#### **Література:**

1. Abdullahi M., Baashar Y., Alhussian H., Alwadain A., Aziz N., Capretz L.F., Abdulkadir S.J. Detecting Cybersecurity Attacks in Internet of Things Using Artificial Intelligence Methods: A Systematic Literature Review. MDPI, 2022. DOI: 10.3390/electronics11020198. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/2/198/htm> (дата звернення 21.05.2024).
2. Заковоротний О.Ю., Орлова Т.О. Порівняльний аналіз хмарних та туманних середовищ Інтернету речей. Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, випуск 2(72). С. 152-154. DOI: 10.26906/SUNZ. 2023.3.152
3. Kuzlu M., Fair C., Guler O. Role of Artificial Intelligence in the Internet of Things (IoT) cybersecurity. Springer, 2021. DOI: 10.1007/s43926-020-00001-4. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43926-020-00001-4> (дата звернення 21.05.2024).
4. Wu H., Han H., Wang X., Sun S. Research on Artificial Intelligence Enhancing Internet of Things Security: A Survey. IEEE, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3018170. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9172062> (дата звернення 21.05.2024).

## РОЗРОБКА ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПУСТОТІЛИХ ЗАГОТОВОК ПО ТИПУ ГІЛЬЗ

**Барабой М.М., Музикін П.С., Гром С.М., Музикін Є.С.**

*(ТОВ «Дніпровський електро-механічний завод», м. Дніпро, Україна)*

Важливою задачею для розвитку важкого машинобудування є підвищення якості та зниження витрат на виробництво деталей відповідального призначення. До таких деталей відносяться товстостінні пустотілі поковки. Пустотілі поковки типу гільз можна виготовляти куванням на конічній оправці. На сьогодні товстостінні гільзи виробляються з суцільних заготовок із використанням операції висвердлювання отвору. Як результат, підвищується тривалість виготовлення гільз за рахунок значної механічної обробки та підвищуються витрати металу. Це викликано з тим, що при куванні довгомірних гільз з довжиною більш 300 мм та діаметру отвору менше 90 мм використання ковальської оправки під час деформування неможливо. Тому проблема виготовлення заготовок товстостінних гільз на сьогодні залишається актуальною, яка потребує удосконалення.

Мета роботи – інструменту для виготовлення товстостінних гільз без використання оправки для зменшення часу та витрат металу при механічній обробці.

Для проведення експериментальних досліджень були спроектовані та виготовлені спеціальні вирізні бойки з випуклими крайками (кут вирізу  $\alpha = 120^\circ$  і довжина горизонтальної полиці 0,1 від діаметра заготовки  $D$ ), матеріал бойків – сталь 30. Паралельність деформуючого інструменту забезпечувалась штамповим пакетом. Для даної геометрії інструмента в процесі протягування на поверхні поковки не утворюються затиски та метал плине інтенсивніше вздовж осі. По закінченню процесу деформування поковка має поверхню, близьку до циліндричної.

За результатами досліджень встановлено ефективні геометричні параметри деформуючого інструменту для протягування гільз без оправки. Запропоновано новий інструмент для виготовлення пустотілих заготовок, які йдуть на виготовлення довгомірних товстостінних гільз з діаметром отвору більше 900 мм. Раніше такі вироби виготовлялись з суцільних заготовок свердленням, що потребувало значного часу на механічну обробку та збільшені витрати металу. Запропонований спосіб дозволяє виключити використання спеціальних оправок з жароміцної сталі. Встановлені в роботі рекомендації по геометричним параметрам інструменту є важливими науково-технічними напрацюваннями, які можна використовувати в теорії і технології процесів виготовлення пустотілих поковок з дном без оправки.

### **Література:**

1. Sizek, H. W. Radial Forging. Metalworking : Bulk Forming. 2005. P. 172–178.
2. Ghaei A., Movahhedy M.R., Karimi Taheri A. Finite element modelling simulation of radial forging of tubes without mandrel. Materials & Design. 2008. № 29. P. 867–872.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕФОРМУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБТИСКАННЯ СНАРЯДІВ

Гром С.М., Барабой М.М., Музикін П.С., Музикін Є.С.

(ТОВ «Дніпровський електро-механічний завод», м. Дніпро, Україна)

Альтернативою обтискання заготовок циліндричної форми є попереднє формування на заготовці виступів [1, 2]. Зміна поперечного переріза заготовки за рахунок формування виступів дозволить змінити НС металу при осадженні. Виступи заготовки будуть забезпечувати підпір металу при деформації, що буде сприяти зменшенню рівня середніх напружень що розтягують у металі заготовки. Це дозволить виключити тріщиноутворення та зменшити відсоток браку.

Метою роботи є розробка рекомендацій щодо геометрії інструменту для профілювання пустотілих заготовок, що буде сприяти оживальній частини у процесі обтискання снарядів.

Теоретичний аналіз осадження профільованих злитків проводився на основі скінчено-елементного моделювання. Заготовка мала виступи з ухилом в  $115^\circ$ . Відносна висота виступів ( $d/D$ ) змінювалась в інтервалі 0,75; 0,80; 0,85. Верифікація результатів закриття осьової пористості на свинцевих моделях проводилась експериментальними дослідженнями на сталі 34ХН.

Заготовки з відносною висотою виступів 0,85 при ступені деформації 40 % мають найменше значення відносної деформації отвору,  $d_1/d_0$  становить 0,6. Рекомендована величина обтискання, яка буде забезпечувати закриття осьової пористості, повинна бути більше 50 %. Для кута виступів  $115^\circ$  зі збільшенням їх висоти ступінь закриття отвору збільшується. Деформування профільованих злитків призводить до змінення НС заготовки. Максимальні стискаючі напруження утворюються у місці гирла заготовки для висоти виступів 15 %.

Результати з формозмінення й зменшення розмірів осьової пористості на свинцевих зразках перевірялися експериментом на сталі. Нагріті заготовки профілювали випуклим інструментом з кутом  $115^\circ$  з величиною обтискання за два проходи 20 %. По закінченню профілювання відбувалося обтискання на половину висоти заготовки. Після підготовки площини розрізу проводився макроструктурний аналіз зрізу конусної частини снаряду. Деформування профільованих заготовок бойками з кутом  $115^\circ$  та величиною обтискання 20 % дозволило визначити величину закриття осьової пористості. Отримані результати перевірялися у виробничих умовах при обтисканні заготовок вагою 35 кг.

### Література:

1. Banaszek G., Stefanik A. Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects. *J. Mater. Proc. Technol.*, 177 (2006), pp. 238–242.
2. Scarabello D., Ghiotti A., Bruschi S. FE modelling of large ingot hot forging. *Int. J. of Mater. Form.*, 3 (2010), pp. 335-338.



## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ДЕФОРМУВАННЯ ПОКОВОК ТИПУ ГІЛЬЗ

Музикін П.С., Барабой М.М., Гром С.М., Музикін Є.С.

(ТОВ «Дніпровський електро-механічний завод», м. Дніпро, Україна)

Пріоритетним напрямом розвитку важкого машинобудування на сьогоднішній день є підвищення якості деталей відповідального призначення для підвищення їх експлуатаційних характеристик та зниження витрат на їхнє виробництво. Існуючі методи виробництва таких поковок передбачають приварювання дна до порожнистих циліндрів, ротаційне кування, а також кування з оправкою для отримання порожнистих циліндричних поковок з дном. Ці методи виготовлення порожнистих циліндрів з дном не забезпечують усунення дефектів металургійного походження [1]. Однак визначення основних технологічних параметрів процесу виготовлення пустотілих заготовок з дном є складним завданням.

У роботі досліджувався вплив трьох факторів, що варіювалися на трьох рівнях (кубічна модель). Результати розрахунку: інтенсивність та заковування внутрішнього отвору під час протягування. Особливість кування бойками, які мають скоси – зміна довжини робочої горизонтальної полиці бойків. Це, своєю чергою, призводить до зміни величини подачі. Перевищення величини подачі довжини горизонтальної полиці бойків призведе до утворення хвилястості та затисків на поверхні поковки. При кутах скосів бойків в інтервалі  $10^\circ$ ;  $20^\circ$ ;  $30^\circ$  довжина горизонтальної полиці бойка відповідатиме відносній подачі ( $a/D$ ), що дорівнює 0,1; 0,2; 0,3 відповідно.

Загальною закономірністю для досліджуваних схем деформування є те, що при протяжці порожнистих заготовок з діаметром отвору  $d_0/D = 0,3$  відбувається заковування отвору при обтисканні більше 40%. Інтенсивність заковування отвору однакова при різних обтисканнях для постійних співвідношеннях розмірів заготовки. Отримані результати показують, що переважний вплив на заковування робить вихідний діаметр отвору заготовки. Однак інтенсивність заковування отвору зменшується зі збільшенням ступеня обтиснення заготовки, що є важливим науковим спостереженням і не було відомо раніше. Загальною закономірністю для досліджуваних схем деформування є те, що інтенсивність кування отвору однакова при різних обтисненнях для постійних співвідношеннях розмірів заготовки. При подачах більше  $0,2D$  не відбувається якісної та кількісної зміни залежності зміни ступеня та інтенсивності заковування отвору. Подача повинна бути в діапазоні  $(0,1 \dots 0,2)D$ .

**Література:**

1. Markov, O. E., Khvashchynskyi, A. S., Musorin, A. V., Markova, M. A., Shapoval, A. A., & Hrudkina, N. S. (2022). Investigation of new method of large ingots forging based on upsetting of workpieces with ledges. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, doi:10.1007/s00170-022-09989-1.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ДЕФОРМУВАННЯ ПОКОВОК ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Музикін Є.С., Музикін П.С., Гром С.М., Барабой М.М.

(ТОВ «Дніпровський електро-механічний завод», м. Дніпро, Україна)

У важкому машинобудуванні основна увага приділяється якості одержуваних поковок. Основною операцією для формування поковок є ковальська протяжка, яка інтенсивно подрібнює литу структуру та сприяє заковуванню осьових дефектів. Протяжкою без осадження складно накопичити високий рівень пластичних деформацій у тілі поковки та отримати з ковальських злитків бочки валу. Не застосовувати осадження з метою зниження витрат на деформування із збереженням якості поковок та забезпечити можливість отримання заданих розмірів поковки можливо за рахунок застосування нових схем деформування з інтенсивними пластичними деформаціями. Підвищити рівень пластичних деформацій у поковці та рівномірність їх розподілу можливо за рахунок деформування з профілюванням заготовки опуклими клиновими бойками. Протяжка опуклими бойками зменшує подовження, що дозволяє збільшити кількість проходів рахунок незначного зменшення площі поперечного перерізу при протяжці і накопичити високий рівень деформацій в тілі поковки. Кування опуклими клиновими бойками виключає утворення застійних зон під інструментом, що деформує, як у разі застосування плоских бойків. Застосування опуклих бойків сприяє опрацюванню поверхневих та центральних шарів заготівлі. Чим більший кут клина бойка, тим вищий рівень деформацій у центрі і більша площа продеформованої частини заготовки. Після формування чотирипроменевої заготовки опуклими бойками недеформованими зонами залишаються кути (ребра заготовки), а у разі кування плоскими – зони, що контактують із інструментом. Заготівля з увігнутою бічною поверхнею в поперечному перерізі забезпечує підпір центральної зони при подальшій обкатці чотирипроменевої заготовки, але при цьому може статися утворення поверхневих затискачів. Для вибору ефективної схеми кування провели кількісне порівняння розподілу деформацій по перерізу кування для схем деформування, які не призводять до утворення поверхневих затискачів. В результаті досліджень встановлена ефективна геометрія інструменту та технологічні режими кування, що дозволили накопичити високий рівень пластичних деформацій в поковці, які послужили рекомендаціями для проектування інструменту та розробки нових технологічних процесів кування великих поковок відповідального призначення без осадження.

### Література:

1. Markov, O. E., Khvashchynskyi, A. S., Musorin, A. V., Markova, M. A., Shapoval, A. A., & Hrudkina, N. S. (2022). Investigation of new method of large ingots forging based on upsetting of workpieces with ledges. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, doi:10.1007/s00170-022-09989-1.

## ЗМІСТ

<i>Abhari P.B., Solianov D.O., Lopaiev V.O.</i> Application of finite element simulation to investigate metal flow in lateral extrusion process .....	6
<i>Gnytko O.M., Rak A.O., Kuznetsova A.V.</i> Advantages of using rolling bearings with ceramic balls in high-speed machine supports .....	7
<i>Havrysh P., Segin V.</i> Effect of welding on the fatigue strength of crane steel structures.....	8
<i>Karnaikh S. G., Chosta N. V.</i> Study of the equipment for cutting by breaking of rolled metal.....	10
<i>Mykhailiuk V.V., Bembenek M., Deineha R.O., Deineha D.R.</i> Simulation tests on the operation of a ring adsorber .....	13
<i>Podlesny Sergy V.</i> Innovation through kaizen: Implementing technological innovation .....	16
<i>Алієв І.С., Абхари П.Б., Левченко В.М., Малій О.Г., Чепеленко О.Ю.</i> Холодне поперечне видавлювання складнопрофільованих деталей з відростками .....	19
<i>Антоненко Я.С., Жила О.В., Гончаров С.П.</i> Використання стилізації веб-сторінок на практичних заняттях з напряму «Галузеве машинобудування» в розрізі пошуку актуальної тематики для дослідження.....	20
<i>Баркова С.О., Сарієва Т.Р.</i> Digital-маркетинг як інструмент антикризового розвитку підприємств .....	23
<i>Бережна О.В., Пожидасєв А.В., Грибков Е.П., Івчик Р.С.</i> Автоматизоване проектування конструкції касети багатороликової листопривальної машини.....	24
<i>Бережний М.О., Бережна О.В., Малигіна С.В.</i> Математичне моделювання нагріву композиційного матеріалу при електроконтактному наплавленні поверхневого шару .....	26
<i>Бєлікова О.Ю., Дудін О.К.</i> Перспективи бережливого виробництва на вітчизняних підприємствах .....	28

<b>Бившева Л.О., Моховіков А.</b> Бізнес-ризиками та можливості машинобудівних підприємств донецького регіону в сучасних умовах .....	29
<b>Бочковий Д.О., Медяник А.С., Хмарський Д.П.</b> Моделювання процесу бокового видавлювання деталей з відростками при односторонній подачі ...	31
<b>Бурцева О.Є., Голубов І.О.</b> Інноваційні технології автоматизації та їх інтеграція у логістиці .....	32
<b>Васильченко Ю.В.</b> Тематична класифікація наукових статей у галузі важкого машинобудування .....	33
<b>Васильченко Я.В., Мироненко О.Є.</b> Вимірювання зубчастих асиметричних передач циліндричних коліс .....	34
<b>Віштак І. В.</b> Управління інноваціями та способи удосконалення управлінських процесів в машинобудуванні.....	35
<b>Гринь О. Г., Жаріков С. В., Воропаєв Є. В, Стеценко А. А.</b> Визначення деформаційних характеристик волочіння порошкового дроту .....	36
<b>Волошина О.О., Дерев'янка С.</b> Проблеми формування збутової стратегії великих підприємств Донецького регіону в умовах воєнного стану.....	37
<b>Грицай І.Є., Сліпчук А.М., Кук А.М.</b> Аналіз помилок у підходах до трактування процесу «Power skiving» .....	39
<b>Дорохов М.Ю., Максимов Д.Є.</b> Особливості математичного моделювання процесу обертання баштового крана.....	42
<b>Дорохов М.Ю., Русін А.В.</b> Перспективи використання роботів-маніпуляторів у 3D-будівництві .....	43
<b>Дорохов М.Ю., Семенченко С.Р., Єрмакова С.О.</b> Аналіз поведінки вантажу великої довжини при обриві однієї із гілок канату .....	44
<b>Дорохов М.Ю., Сушко О.М.</b> Напрямки модернізації конструкції механізму головного підйому для кранів великої вантажопідйомності .....	46
<b>Дорохов М.Ю., Єрмакова С.О., Котов В.А.</b> Дослідження навантажень на опорний контур баштового крана.....	48

<b>Єнікєєв О.Ф., Захаренков Д.Ю., Беркутов., Євсюкова Д.С, Набока О.В.</b> Інформаційна технологія моніторингу розподілу циліндрових потужностей .....	49
<b>Єрмакова С.О., Костенко М.К.</b> Дослідження динамічних навантажень на металеву конструкцію мостових кранів.....	51
<b>Жигуц Ю.Ю., Тотар М.В.</b> Особливості розрахунку металотермічної шихти для застосування технологій екзотермічних ливарних додатків для прокатних валів.....	52
<b>Задорожній М. О., Трофименко Д. Д.</b> Специфіка синтезу параметрів електромеханічних систем методом стандартних форм характеристичних поліномів .....	53
<b>Задорожня І.М., Чередниченко І.І.</b> Специфічні властивості електроприводів важких машин та їх вплив на енергоефективність керування.....	56
<b>Заковоротний О.Ю., Анциферова О.О., Шаповалов М.В., Степанов Р.І.</b> Оптимізація режимів обробки на важких верстатах з ЧПК за рахунок корекції швидкості різання.....	59
<b>Зубань Е.Ю.</b> Багатокритеріальний вибір вихідної заготовки шліцевого вала .....	61
<b>Іваненко О.І., Єрмакова С.О., Таровик М.Г.</b> Дослідження модельних випробувань параметрів пересування козлового крану при дії вітрових навантажень .....	64
<b>Кабачький О.В., Хорошайло В.В.</b> Сучасні ІТ-технології при вивченні дисципліни «Інженерна графіка» .....	67
<b>Калініченко В.В., Мельник М.С.</b> Перспективи створення моделей для визначення оптимальних режимів різання за результатами аналізу даних діагностики процесу механічної обробки .....	68
<b>Калюжний В.Л., Марков О.Є., Левченко В.М., Ярмоленко О.С., Чепеленко О.Ю.</b> Комбіноване гаряче видавлювання порожнистого виробу типу глибокого конічного стакану .....	70
<b>Калюжний О.В., Калюжний В.Л., Левченко В.М.</b> Дослідження напружено-деформованого стану та силового режиму процесу відборткування отвору у витягнутому вісесиметричному напівфабрикаті .....	72

<b>Кассов В.Д., Бородай Р.А.</b> Управління температурою різання на важких верстатах .....	74
<b>Кізіма Р.І.</b> Основні напрямки вдосконалення логістичних систем машинобудівних підприємств.....	76
<b>Кінденко М. І.</b> Зміна експлуатаційних властивостей свердел зі швидкорізальної сталі Р6М5 після імпульсної магнітної обробки .....	78
<b>Кінденко М. І.</b> Зміцнення інструменту виготовленого зі швидкорізальних сталей, обробкою в імпульсному магнітному полі з подальшим нанесенням антифрикційних покриттів.....	79
<b>Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Пікільняк А.В., Зуєв І.О.</b> Дослідження природи руйнування корпусних деталей та елементів конструкцій гірничо-металургійного обладнання на основі енергетичної концепції теорії розвитку тріщин.....	80
<b>Клименко Г.П., Богатов Д.Е., Лобур Ю.М., Вівчар П.М.</b> Дослідження надійності збірних різців для важких верстатів.....	82
<b>Клименко Г.П., Хроменкова А.Я., Винник В.В., Гарбар А.С.</b> Підвищення ефективності процесу експлуатації важких верстатів з ЧПК.....	84
<b>Клименко С.А., Клименко С.Ан., Конєйкіна М.Ю., Манохін А.С.</b> Аналіз температури на передньої поверхні інструменту із РсVN при точінні загартованої сталі .....	86
<b>Кобельник В.Р., Крупа В.В., Петречко І.Р., Войцешук Н.Т.</b> Новий спосіб визначення статичного головного заднього кута токарного різця .....	88
<b>Кобельник О.С., Лещук Р.Я., Кобельник В.Р., Ларочкін А.О., Бей М.І.</b> Ефективність свердління наскрізних отворів при регулюванні подачі на етапах врзання та виходу інструменту.....	90
<b>Ковалевський С.В.</b> До стратегії інноваційного розвитку машинобудування.....	93
<b>Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Сидюк Д.М.</b> Вплив магнітно-резонансної обробки на життєвий цикл виробів.....	95
<b>Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Щербакова А.Ю., Корчма Д.О., Захаров Є.О.</b> Пошук оптимальних законів керування режимами різання на важких верстатах з урахування змінного навантаження різального інструменту ....	97

<b>Ковальов В.Д., Коваленко А.В., Кметь І.А.</b> Методи підвищення ефективності важких токарних і глибокорозточувальних верстатів з ЧПК ...	99
<b>Кондратенко О.О., Аненко Н.В.</b> Роль соціальної психології в публічному управлінні.....	101
<b>Копей В. Б., Букатка Ю. С</b> Створення FEA-систем різьбових з'єднань на основі Python, Gmsh та CalculiX .....	103
<b>Корендій В.М., Паращин О.Я., Предко Р.Я.</b> Реалізація замкнених багатокутних траєкторій руху робочих органів вібраційних технологічних машин за допомогою вібробудників планетарного типу .....	105
<b>Королюк Р.І., Булич І.В., Микитишин А.А.</b> Система управління асинхронними двигунами на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi.....	108
<b>Королюк Р.І., Булич І.В., Смолій О.В.</b> Використання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi в системі управління кроковим двигуном .....	109
<b>Косарєв В.С., Фоменко А.В., Олійник Д.С.</b> Моделювання процесу радіального видавлювання фланців порожнистих виробів .....	110
<b>Крупа В.В., Захарій А.В.</b> Спосіб формування мікрорельєфів на бічних поверхнях архімедових черв'яків .....	111
<b>Кузнєцов Ю.М.</b> Сучасні методи відновлення великогабаритних деталей .....	113
<b>Кухар В.В., Тимошенко Д.О.</b> Порівняння аглодоменного переділу та технології прямого відновлення заліза MIDREX H2 у контексті переходу до зеленої металургії.....	114
<b>Лампіцький О.С.</b> Сучасні дослідження в галузі зміцнення композитних конструкцій з урахуванням концентраторів напружень .....	117
<b>Латинін І.В., Люта А.В.</b> Особливості модернізації гайконарізного автомата .....	119
<b>Левченко В.М., Алієва Л.І., Тітов А.В., Марков О.Є., Абхарі П.</b> Використання кінематичних модулів трикутної форми для моделювання процесів штампування .....	121
<b>Лещенко О. І.</b> Розрахунок деформації деталей від сил різання при їх нелінійній зміні шляхом 3D моделювання .....	123

<b>Лісовий С.В., Шашко В.О.</b> Машинобудування Донеччини: від стратегії смартспеціалізації до тактики та інвестицій .....	124
<b>Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.</b> Теоретичний метод оцінки похибок паралельної токарної обробки на вертикальному двошпиндельному верстаті з ЧПК.....	126
<b>Майборода В.С., Буріков О.О., Джулій Д.Ю., Слободянюк І.В.</b> Особливості магнітно-абразивного оброблення плоских поверхонь феромагнітних деталей торцевими головками на базі високопотужних магнітів .....	128
<b>Малигін М.О.</b> Дослідження міцності зварних вузлів станин верстатів, виконаних із застосуванням захисного покриття .....	132
<b>Махортов Д.Р., Бережна О.В.</b> Розробка системи автоматизованого керування електроприводом конвеєра .....	133
<b>Мельник М.С., Шаповалов М.В., Зубрицький З.В., Пономаренко О.В., Мироненко М.О.</b> Підвищення ефективності процесу обробки отворів у великогабаритних деталях.....	134
<b>Міранцов С.Л., Фоменко С.М., Рева Є.С.</b> Вплив умов процесу різання на енергоефективність обробки деталей на важких верстатах.....	136
<b>Мироненко Є.В., Клочко О.О., Шаповалов М.В., Гончаров В.С.</b> Підвищення ефективності чорнової обробки деталей на важких токарних верстатах за рахунок удосконалення конструкції збірної інструмента.....	137
<b>Мироненко Є.В., Міранцов С.Л., Гузенко В.С., Гузенко Д.Є.</b> Програмний комплекс для багатокритеріальної оптимізації параметрів токарної обробки на важких верстатах.....	139
<b>Миронова Т.М., Ашкелянець А.В.</b> Вплив карбідного перетворення та рекристалізації на поведінку цементиту при деформуванні .....	141
<b>Окіпний І.Б., Сенчишин В.С., Гоголюк В.П., Ющишин М.В.</b> Вплив дорнування на кінетику розвитку тріщин та залишкову довговічність алюмінієвих пластин з функціональними отворами .....	143
<b>Онисько О.Р., Фарилюк Р.М.</b> Першопричина відхилів тангенціального профілю ходових гвинтів.....	144



<b>Павленко І. В., Бага В. М., Яковчук В. В.</b> Розроблення робочого сопла пневмоабразивної установки для оброблення деталей важкого машинобудування в закритих камерах .....	146
<b>Павлик Д.А., Бережна О.В., Станков Д.М.</b> Теоретичне об'єднання світової економіки через додаток.....	147
<b>Пермяков О.А., Ткаченко Т.Ю.</b> Про технологічне забезпечення раціонального завантаження металорізальних верстатів з ЧПК при реверсивному інжинірингу в умовах дрібносерійного виробництва .....	150
<b>Плаксієв А.А., Буйкус Я.О., Анайко С.О.</b> Актуальність використання нанотехнологій при виробництві та відновленні деталей машин та інструменту.....	153
<b>Повстяной О.Ю., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Четвержук Т.І.</b> Технологія п'ятикоординатної обробки на фрезерних верстатах з ЧПУ .....	154
<b>Подлесний С.В.</b> Ефективність тайм-менеджменту в навчальному процесі інженерних спеціальностей.....	155
<b>Проданчук О.О.</b> Виготовлення та застосування блочних прес-форм для лиття під тиском середньосерійної продукції оборонного характеру .....	158
<b>Проданчук О.О.</b> Проблема виникнення візуального браку при литті поліацеталу та її вирішення в умовах виробництва .....	160
<b>Проц Л.А.</b> Статичний аналіз на міцність вилки карданного валу із застосуванням методу кінцевих елементів.....	161
<b>Рузметов А.Р.</b> Локалізація структурної невизначеності операційної технології в циклі «Розпізнання-управління» .....	162
<b>Сапон С.П., Дзюба Д.І., Лєгеза Є.В.</b> Проблематика створення і впровадження цифрових двійників в технологічних оброблюючих системах .....	163
<b>Світличний С.П.</b> Інженерні рішення у галузі проектування механічних передач .....	166
<b>Стецько А.Є.</b> Обробка зміцнених деталей машин з поверхневими композитними шарами.....	169

<b>Струтинський В.Б., Павлун В.С.</b> Обладнання та методи фізичного сканування місцевості наземними роботизованими комплексами із використанням елементів штучного інтелекту .....	172
<b>Суботін О.В., Новіков Д.С.</b> Особливості розгортання комплексної системізахисту інформації в установі .....	175
<b>Тарасенко Д. В., Бережна О.В.</b> Дослідження та розробка автоматизованої системі керування електроприводом скіпового підйомнику.....	178
<b>Тимофєєв В.О., Бережна О.В.</b> Синтез інтелектуальної систем управління кліматичним контролем зберігання борошна у силосі .....	185
<b>Тонконогий В.М., Голофєєва М.О. Морозов Ю.О.</b> Моделювання внутрішніх процесів в неметалевих гетерогенних матеріалах при акустичному інфрачервоному термометричному методі контролю.....	193
<b>Тулупов В.І., Онищук С.Г.</b> Визначення технологічних режимів комбінованих технологічних методів для забезпечення життєвого циклу виробів машинобудування .....	196
<b>Українченко М.Є., Хорошайло В.В., Гупка А.Б.</b> Особливості багаторізевої токарної обробки валів малої жорсткості .....	198
<b>Федорцов М.В., Хорошайло В.В., Сеник А.А., Яремчук Б.Б.</b> Підвищення ефективності ультразвукової фінішної обробки на верстатах з ЧПУ .....	199
<b>Фесенко М.А., Фесенко А.М.</b> Перспективи застосування технологій штучного інтелекту на промислових підприємствах .....	200
<b>Фесенко М.А., Фесенко А.М.</b> Перспективи виробництва виливків із модифікованих чавунів для машинобудівної галузі.....	201
<b>Фик С. В.</b> Впровадження САПР та CALS-технологій в автоматизацію виробничих процесів у машинобудуванні.....	202
<b>Фоміченко І.П., Храмов В.В.</b> Маркетингове забезпечення інформаційних технологій в міжнародних стратегічних альянсах.....	203
<b>Чернишов О.В., Музичка Д.Г., Зубрицький О.Б., Коваленко О.К., Музичка В.А., Щербина Є.Ю.</b> Дослідження процесу безнапірного транспортування шламів шліфувальних верстатів .....	204

<i>Чухліб В. Л., Колісник К. Д.</i> Дослідження процесу кування гаків великої вантажопідйомності з покращенням їх якості .....	206
<i>Чучин О.В., Тітов А.В., Чепеленко О.Ю., Шустова В.М.</i> Розрахунок розпираючих тисків в матриці при радіально-прямому видавлюванні.....	208
<i>Шашко В.О., Мироненко Є.В.</i> Застосування штучного інтелекту в промисловості в умовах інтелектуалізації економіки .....	209
<i>Шубна О.В., Осоненко Д.С.</i> Інноваційна діяльність як інструмент підвищення конкурентоспроможності підприємства.....	210
<i>Шубна О.В., Скиба П.Р.</i> Логістика торгового підприємства як фактор збільшення ефективності збутової діяльності.....	211
<i>Заковоротний О.Ю., Хулан А.В.</i> Основні напрямки використання штучного інтелекту для забезпечення захисту інтернету речей .....	213
<i>Барабой М.М., Музикін П.С., Гром С.М., Музикін Є.С.</i> Розробка інструменту для виготовлення пустотілих заготовок по типу гільз .....	215
<i>Гром С.М., Барабой М.М., Музикін П.С., Музикін Є.С.</i> Рекомендації для проектування деформуючого інструменту для обтискання снарядів.....	216
<i>Музикін П.С., Барабой М.М., Гром С.М., Музикін Є.С.</i> Дослідження способу деформування поковок типу гільз .....	217
<i>Музикін Є.С., Музикін П.С., Гром С.М., Барабой М.М.</i> Дослідження способу деформування поковок подвійного призначення.....	218

Наукове видання

**ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ  
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**МАТЕРІАЛИ  
XXII Міжнародної  
науково-технічної конференції**

Рекомендовано до друку вченою радою ДДМА,  
протокол № 10 від 30.05.2024

Відповідальний за випуск: Віктор КОВАЛЬОВ  
Комп'ютерне верстання: Максим ШАПОВАЛОВ

Підп. до друку 30.05.2024  
Ум. друк. арк. 5,81.  
Тираж 100 пр.

Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Обл.-вид. арк. 5,42.  
Зам. № 4

---

Видавець і виготівник  
Донбаська державна машинобудівна академія  
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру  
ДК №1633 від 24.12.2003