

Міністерство освіти і науки України  
АН Вищої освіти України  
НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»  
Національна металургійна академія України  
Київський національний університет технологій та дизайну  
Донбаська державна машинобудівна академія  
Одеський національний політехнічний університет  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
Луцький національний технічний університет  
Хмельницький національний університет  
Запорізька державна інженерна академія  
Львівський торговельно-економічний університет  
Сумський державний університет  
Технічний університет Молдови  
Вітебський державний технологічний університет  
Санкт-Петербурзький державний університет промислових технологій і дизайну  
Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського  
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Чернігівський національний технологічний університет  
Вінницький національний технічний університет  
Вінницький національний аграрний університет  
Херсонська державна морська академія  
Херсонський державний університет  
Спілка машинобудівників Болгарії  
ДП НДІ нафтопереробної та нафтохімічної промисловості «МАСМА»  
Державний концерн «Укроборонпром»



## МАТЕРІАЛИ

**IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції**  
**"Сучасні технології промислового комплексу:**  
**базові процесні інновації"**  
**Вересень 12, 2018 – Вересень 16, 2018**

ОФІЦІЙНІ ПАРТНЕРИ І СПОНСОРИ:



**Херсонський  
машинобудівний завод**



**ОБ'ЄДНАННЯ  
ОРГАНІЗАЦІЙ  
РОБОТОДАВЦІВ  
ХЕРСОНЩИНИ**

Херсон – 2018

Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу: базові процесні інновації – 2018», випуск 4. – Херсон: ХНТУ, 2018. – 326 с.

В матеріалах конференції викладені нові теоретичні і прикладні результати щодо застосування сучасних інноваційних технологій у промисловому комплексі регіонів України. Розглянуті проблеми в галузях: технології машинобудування, обробки матеріалів тиском, технології нанесення та обробки покриттів, виробництві нових матеріалів, зміцнення та відновлення деталей машин, технології проектування і виготовлення матеріалів і виробів легкої промисловості, експертної оцінки, дизайну та керування якістю виробів широкого вжитку, системного аналізу та математичного моделювання складних об'єктів, проблем надійності та енергозбереження, захисту довкілля, екологічної безпеки, ресурсозберігаючих технологій.

Викладені практичні рекомендації з використання результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок у машинобудуванні та легкій промисловості. Даний збірник є виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень провідних вчених України та Зарубіжжя, викладачів, аспірантів та студентів ВНЗ.

Збірник розрахований на наукових і інженерно-технічних робітників ВНЗ, конструкторських організацій і промислових підприємств.

Відповідальний за випуск: Розов Ю.Г., д.т.н., професор.  
Комп'ютерне макетування: Дмитрієв Д.О., Ткач В.О., Загора О.В.

Адрес редакційної колегії: 73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24, Херсонський національний технічний університет, корп. № 3, ауд. № 223.

**ISBN 978-966-97799-2-2**

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації.

**СЕКЦІЯ 2**  
**«ПРОГРЕСИВНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ**  
**МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАТРОНІКА, РОБОТОТЕХНІКА І**  
**АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ»**

<b>Алиев И.С., Таган Л.В., Корденко М.Ю.</b> КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ВАРИАНТЫ ПРОЦЕССА БОКОВОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ОТРОСТКАМИ	46
<b>Алиева Л.И., Картамышев Д.А., Махмудов К.Д.</b> ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ СПОСОБОМ КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЛЬНО-ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С РАЗДАЧЕЙ	50
<b>Стеблюк В.І., Розов Ю.Г.</b> УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПОЛІГОНАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ СТВОЛА ПЕРСПЕКТИВНОЇ МОДЕЛІ ПІСТОЛЕТА-КУЛЕМЕТА	54
<b>Огинский И.К., Таратута К.В., Востоцкий С.Н.</b> НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ БЕССЛИТКОВОЙ ПРОКАТКИ	58
<b>Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я., Кравець О.М.</b> ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ МОБІЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ-РОБОТІВ ПРИ ВИКОНАННІ ОПЕРАЦІЙ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ	61
<b>Головко Л.Ф., Романенко В.В., Блощицин М.С., Салій С.С., Свічкарь І.В.</b> ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО-ЛИВАРНОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІМЕТАЛІВ РІЗНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	66
<b>Головко Л.Ф., Романенко В.В., Блощицин М.С., Салій С.С., Свічкарь І.В.</b> УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ З'ЄДНАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНИМ МЕТОДОМ	67
<b>Коперсак В.М.</b> ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ФЛЮСІВ ЯК НАСИПНОЇ ГРАНУЛЬОВАНОЇ СУБСТАНЦІЇ	68
<b>Грабовський А.П., Бондарець О.А., Бабієнко І.І.</b> ПОШКОДЖУВАНІСТЬ ТА РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	72
<b>Larshin V.P., Lishchenko N.V.</b> GRINDING SYSTEM RESEARCH METHODOLOGY HELPS ADAPTING THE SYSTEM TO HIGHER PRODUCTIVITY	75
<b>Марчук І.В., Марчук В.І.</b> ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТИМИ ШЛІФУВАЛЬНИМИ КРУГАМИ	80

Де в відношеннях (6) – (9)  $\sigma_{ii}$  та  $\sigma_{ij}$  відповідно поточні величини модулів пружності з врахуванням кінетики пошкоджуваності конструкційних матеріалів;  $\mu_{ij}$  - поточні величини коефіцієнтів поперечних деформацій в відповідних напрямках;  $h_{\sigma i}$  - - коефіцієнт заліковування мікропошкоджень при осьовому повторно- статичному навантаженні в відповідних напрямках; - коефіцієнт заліковування мікропошкоджень при повторно-статичному зсуві в відповідних напрямках.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. А.В. Ханефт "Основи теорії упругості", КемГУ, 2009 - 99 стор.
2. A. Ganczarski, L.Barwacz "Notes on Damage Effect Tensors of Two-scalar Variable", Inst. of Applied Mechanics, Cracow Univer. of Technology, Intern. Journ of Damage Mechanics, vol 13, June 2004.
3. C.J. Tang, W. Shen "Characterization of Isotropic..." // Inter. Journ. Of Damage Mechanics, vol 11, January 2002.

UDC 621.923.4

## **GRINDING SYSTEM RESEARCH METHODOLOGY HELPS ADAPTING THE SYSTEM TO HIGHER PRODUCTIVITY**

<sup>1</sup>Larshin V.P., <sup>2</sup>Lishchenko N.V.

<sup>1</sup>Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

<sup>2</sup>Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

**Introduction.** There are many ways to survive in the world competition and the adaptation principle using in technology is one of them just as it occurs in nature. For example, metalworking industry had to be adapted to a higher productivity with the product quality ensuring at the same time. This is a worldwide task to help manufacturers find new ways to increase productivity and profitability through more intelligent automation and best practice standards [1]. There are many books on grinding which are dedicated to all those who are searching for a way to improve the productivity of man and machine. There are many investigations looking toward improvement of productivity within the manufacturing system [2, 3].

The adaptation principle in the mechanical engineering is gaining increasing recognition due to the success of its application in practice of automated production on CNC machines. This was the result of a natural process of computer-aided design of high technologies and the corresponding machining and grinding processes, including the gear grinding performed on the basis of CNC machine tools. One of the features of adaptive mechanical machining is its integration with on-machine process designing, monitoring (it is similar to measurement) and diagnosing (it is similar to control), which are performed on the same equipment, i.e. without the error of the workpiece setting and with eliminating the influence of the human factor. As a consequence, it is possible to significantly increase the process productivity, including profile gear grinding on CNC grinders. That is why the proposed work, which is the result of many years of experimental and theoretical research, is among the topical in mechanical engineering.

**Question Status.** From the technological possibilities of existing gear grinding methods considered it was established that the most applicable are two methods of gear grinding, to wit the profile and worm ones. The first is now used instead of the former well known MAAG gear grinding method when the two dish grinding wheels worked without forced grinding

lubricoolant. There were both high thermal intensity and very low productivity. The modern profile gear grinding is performed with the lubricoolant at the high pressure but has more large contact spot duration which is a reason of the higher grinding temperature. The analysis of the gear grinding labor-intensiveness during the gears production process has been made. As a result a significant amount of time is spent on profile grinding operation (up to 40-70%) is established. Therefore, the task of profile gear grinding productivity increasing on the CNC grinder under the high and dangerous grinding temperature is actual and important.

It is necessary to note that appearance of CNC gear grinders, in itself, allowed increasing the productivity of the grinding by means of ensuring the self-sufficiency, autonomy and mobility of the grinding system with CNC software and with the minimum participation of a machine operator in the implementation of all stages of the grinding operation. The profile gear grinding compared to the worm grinding ensures the higher accuracy of DIN 3-6, but yields less productivity. That is why, it is necessary to find reserves for further increase in productivity. The advantages of the profile grinding are simple kinematics of movements, a higher rigidity of the grinding system, and there is possibility of grinding of any shape of the profile and with any gear modifications of the tooth in the range of both modules 0.5-35 mm and diameters – up to 8 m.

It is known that the grinding stock for gear grinding determines the productivity of the operation because the stock is similar to a distance that should be overcome by a grinding wheel with the selected velocity named radial infeed. Therefore, studies related to the stock determination which based on the results of its selective on-machine measurement in certain selected tooth spaces are relevant as well. The possibility of obtaining information about the stock value and its actual location allows controlling the grinding wheel axial feed, denoted the  $V_f$ , by means of switching the feed from the working to the accelerated one in the absence of touching a grinding wheel and a gear.

The grinding stock measurement along the periphery of a gear on CNC machine allows to take into account the individual features of the gear when aligning the stock along the lateral sides of their tooth spaces, to ensure the individual removal of the stock taking into account its real both value and location along the periphery of the gear being grinded. However, the stock on-machine measurement consumes the auxiliary operation time, so there is a problem to reduce this time by optimizing the number of on-machine measurements. The feature of the grinding stock to be removed is its unplanned change along the gear periphery, which is influenced by the stock aligning chosen method for the further gear angular position correction. The causes of this stock change are the following: kinematic and geometric eccentricities, effect of previous heat treatment of gear to be grinded, etc. Proceeding from this, we can assume that the grinding stock contains both systematic and random components. That is why the theoretico-probabilistic approach was accepted to study the grinding stock. However, there are no focused studies of this assumption and the corresponding theory of determining the stock on the basis of stochastic model that correspond to the specified components of the stock. In addition, these models can be used for determining the value of retracting the grinding wheel from the gear to be grinded.

Along with modern CNC grinding machines there are these of obsolete models, which don't have the possibility of making corrections in the angular position of the gear without man's help. Therefore, to further increase the grinding operation productivity it is necessary to develop a method of aligning the stock without the gear angular position correction for additional loading of the obsolete grinders which will allow increasing the productivity of the grinding machines shop area. This issue has not been given due attention in the literature.

The gear grinding temperature is one of the factors limiting the productivity of the profile grinding operation. In the analysis of mathematical models of the temperature field during grinding, one of them should be used to determine the grinding temperature for a three-, two- and one-dimensional temperature field based, e.g., on the Fourier differential heat conduction equation. The analysis of the relevant works showed that there is no acceptable solution to define the grinding temperature for the purpose of operation designing, monitoring, and diagnosing. To

substantiate this solution it is necessary to find conditions for the replacement of the complex thermophysical problem (two- and three-dimensional) to the simpler one, e.g., one-dimensional solution, without a significant loss of accuracy in determining the gear grinding temperature. It has been shown that with a large grinding wheel axial feed  $V_f$ , when the Peclet number is more than 4, the one-dimensional solution mentioned above may be used.

The profile grinding is discontinuous because it contains the heating and cooling stages, which alternate from time to time. Therefore, it is necessary to develop a model for determining the temperature of the discontinuous grinding with forced lubricoolant. At the heating stage under the influence of the heat flux, the temperature increases, and at the cooling stage under the influence of the grinding lubricoolant the temperature decreases. On the basis of such a cycle, a model of the temperature of discontinuous grinding both at low frequency of heat flux pulses (macro-discontinuity) and high frequency (micro-discontinuity) can be obtained. This allows us to describe the grinding temperature in a wide range of both the heat flux pulses duty factor and frequency of the pulses including macrocycles of reciprocating displacements of a gear grinding wheel, macrocycles in the grinding by the wheels with artificial discontinuous surface as well as microcycles in the grinding with high-porous wheels. Such an approach has not been considered in the literature and is of interest in choosing grinding modes by the temperature criterion and for substantiating the characteristics of the profile grinding high-porous wheels. All of these researches help the gear grinding operation productivity increase.

To assess the grinding operation productivity a number of profile gear grinding characteristic values are used, among which common are: the specific material removal rate  $Q'_w$  in  $\text{mm}^3 / (\text{s} \cdot \text{mm})$  and the specific material removal  $V'_w$  in  $\text{mm}^3 / \text{mm}$ . Each of them is reduced to a unit width of the grinding wheel profile. However, the literature does not describe the applied methods of determining the high-production grinding modes on the basis of these grinding operation indicators. There is no information on grinding operation designing, monitoring and diagnosing subsystems in real time. There is no mathematical dependence to determine the  $Q'_w$  and  $V'_w$  for an arbitrary curvilinear profile, which differs from the rectangular profile for traditional rectangular grinding schemes. It is a common opinion that the  $Q'_w$  and  $V'_w$  parameters predetermine the grinding temperature and grinding wheel wearing but the corresponding mathematical dependencies have not yet been installed. The analysis of literature has shown that the relationship between the  $Q'_w$  parameter and the thermal burn is still a formal one, because it is unknown the relationship between the  $Q'_w$  parameter and the grinding temperature  $T$ . Therefore, it is necessary to establish this relationship, i.e. to find the functions  $T(Q'_w)$  and  $W(V'_w)$ , where  $W(V'_w)$  is the grinding wheel wearing.

The urgency of the operation designing, monitoring and diagnosing subsystems in gear grinding is due to the lack of deterministic relationships between the grinding system output parameters (gear accuracy and quality) and the input control (grinding modes) ones. The output parameters are determined after the end of the machining (the results control), when there is no possibility of correction of the results, which creates a problem to control the gear grinding operation. Therefore, the control of the relevant grinding system state parameters (grinding temperature, grinding wheel wear, etc.) could may the necessary corrections possible for obtaining the output parameters by means of input parameters regulation as well. However, the lack of both monitoring of these state parameters and the corresponding system of grinding diagnosing constrains the decision of the problem of increasing the profile gear grinding productivity.

Thus, status question show that machining and grinding as an object to create and control are just material removal processes in which every the corresponding manufacturing system of mentioned above have to be adapted to higher throughput with ensuring the product quality limits (geometry, roughness, etc.). The knowledge on both practical experience and how it can suggest ways to control the machining and grinding processes can be obtained by using the methodology of researching the manufacturing system as a control object having the input, state

and output. This knowledge is more important with automated computer controlled systems than it has ever been before, because quantitative knowledge is needed to design and operate these systems [4]. There are both the manufacturing system design and control problems, which have to be solved both on at the preparing production stage and on-machine control stage with the correct distribution of control actions at these stages of manufacturing production in accordance with the Saridis' theory of hierarchically intelligent control systems with its the principle of increasing precision with decreasing intelligence [5].

**Research Methodology.** A reproducible methodology for scientific research is one of the work stages because quantitative knowledge is needed to design and operate these systems [4]. The methodology of scientific research predetermines the effectiveness of obtaining new knowledge and new opportunities for managing the technological process and operations. However, in the available literature there is not enough systematized information on methods of research of production systems. The available information [6] is not accompanied by examples of applications to grinding systems, in particular form grinding on CNC machines.

Scientific research – theory and experiment – contains two stages of decision making: analysis (qualitative, quantitative) and synthesis (based on analysis results). At the first stage, the object and the subject of the study are analyzed. At the second stage, systems-constructions and system-processes are developed to achieve the research goal. The proposed methodology is based on the use of related scientific categories of modeling, optimization and control.

**Modelling** allows replacing complex phenomena (geometric, thermophysical, dynamic, etc.) with appropriate models (modeling) and investigating these phenomena on the models (simulation), including the analysis and synthesis stages of the grinding system that has to be created and controlled. In its turn, the models can be physical and mathematical. Physical models, for example, processes-analogs and computer-graphic models, like AutoCAD, COMSOL Multiphysics, etc., make it possible to purposefully investigate certain grinding system properties with the elimination of the influence of disturbing factors on them. For example, physical modeling the form gear grinding by processes-analogs – flat or round rectangular grinding – allows determining the influence of the modes of form rectangular grinding on the quality of the surface machined and the surface integrity. The replacement of the real object – a gear to be grinded – with its computer-graphic model makes it possible to determine the effect of the basing error both on the distribution of the grinding stock before grinding and the change in the accumulated error of the pitch of the teeth.

**Optimization** in manufacturing technology is the methodology of scientific research aimed at finding the most advantageous option among the possible alternatives, using methods that avoid full search and evaluation of options [7, 8]. It allows choosing the best solution for any criterion: engineering, time or financial. For example, it is necessary to choose the optimal number of the grinding stock measurements at the stage of setting the gear grinding machine based on the smallest error in determining the extreme values of the stock. The application of optimization methods is possible for the stages of preparation of production (optimization as a design method) and actual production (optimization as a control method). In both cases, optimization is performed at structural and parametric levels [6, 8-10]. Structural optimization is associated with the choice of the system composition, parametric optimization – with the selection of quantitatively variable parameters, for example, the mode parameters for gear grinding [11]. Optimization as a method of designing the gear grinding system includes the following steps: 1) formation of the structure of the operation; 2) definition of modes and labor cost for each structure; 3) comparison of different operation structures.

**The control** allows providing the proper functioning of the grinding system, proceeding from ensuring of required parameters of the system in time. The dependence of the parameters on time assumes the potential possibility of using the theoretico-probabilistic and frequency approaches to their investigation. In general, the input, state and output of the system are vector time functions having the corresponding dimension. For all these phenomena (physical and

other), the following principles of the theory of systems are valid: physical realizability, determinateness (certainty), stochasticity [12]. The control is carried out in two forms: direct and indirect. Direct control includes checking and regulation, indirect one – monitoring of the state parameters and / or diagnosing of the process on the basis of measuring in time the process state parameters or the accuracy parameters of the part to be machined. For example, diagnosing of the grinding system state on the grinding temperature can prevent grinding burns and cracks [13, 14].

**Grinding subsystems for operation designing, monitoring and diagnosing.** In accordance with the equations derived (not shown here), a block diagram of computer subsystem for on-machine gear grinding operation designing, monitoring and diagnosing is developed [15], which differs from the existing monitoring system on the CNC grinders by the possibility of determining both the specific grinding work  $e$  in  $J/mm^3$  and the gear grinding temperature  $T$  in  $^{\circ}C$ . Input parameters for the gear grinding system unit are the following: the initial part drawing data,  $a$  is the material thermal diffusivity in  $m^2/s$ ,  $\lambda$  is material thermal conductivity in  $W/(m \cdot ^{\circ}C)$ ,  $\psi$  is share of heat flow transferred into the gear in grinding. Input parameters for the calculating device unit:  $t_v$  is the grinding depth in mm,  $V_f$  is axial feed in mm/min,  $B$  is grinding wheel width in mm,  $z^L(n)$  and  $z^R(n)$  are the left and right grinding stocks in mm ( $n$  is the current tooth number),  $AE$  is signal of acoustic emission in relative units, and  $P$  is grinding power in W.

**Conclusions.** 1. Machining and grinding as an object to create and control are just material removal processes in which every the corresponding manufacturing system of mentioned above have to be adapted to higher productivity with ensuring the product quality limits (geometry, roughness, etc.).

2. The knowledge on both practical experience and how it can suggest ways to control the machining and grinding processes can be obtained by using the methodology of researching the manufacturing system as a control object having the input, state and output. This knowledge is more important with automated computer controlled systems than it has ever been before, because quantitative knowledge is needed to design and operate these systems [4].

3. There are both the manufacturing system design and control problems, which have to be solved both on at the preparing production stage and on-machine control stage with the correct distribution of control actions at these stages of manufacturing production, e.g., in accordance with the Saridis' theory of hierarchically intelligent control systems with its the principle of increasing precision with decreasing intelligence [5].

## REFERENCES

1. OMAC – The organization for machine automation and control, <http://omac.org/news> [Date accessed 15/08/18].
2. King Robert I. Handbook of modern grinding technology / Robert I. King, Robert S. Hahn. – New York, London, 1986.
3. Larshin V., Lishchenko N. (2019) Adaptive profile gear grinding boosts productivity of this operation on the CNC machine tools. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.
4. Analysis of material removal processes / Warren R. DeVries, New York: Springer-Verlag, 1992.
5. Lima, Pedro U. Design of intelligent control systems based on hierarchical stochastic automata / Pedro U. Lima, George N. Saridis. Singapore: World Scientific Publishing, 1996.
6. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навч. посібник / Б.О. Пальчевський. – Львів: Світ, 2001. – 232 с.
7. Реклейтис Г. Оптимизация в технике: В двух книгах. Кн. 1. Пер. с англ. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэтсдел. – М.: Мир, 1986. – 349 с.
8. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.8.

“Оптимизация технологических процессов в машиностроении”. – Одесса: ОНПУ, 2004. – 509 с.

9. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов / В.К. Старков. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.

10. Ларшин В.П. Профильное шлифование зубчатых колес высокопористыми абразивными кругами / В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко, С.В. Рябченко, В.В. Нежебовский, Г.В. Серета // Оборудование и инструмент. – 2016. – №5 /190/. – С.20-23.

11. Лищенко Н.В. Оптимизация профильного зубошлифования на станке с ЧПУ и системой измерения припуска / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, В.В. Нежебовский // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків, НТУ "ХП", 2016. – Вип.1 (26) . – С.50-61.

12. Freeman Herbert. Discrete-time systems: an introduction to the theory / Herbert Freeman. – New York: J. Wiley, 1965. – 241 p.

13. Larshin V.P. Grinding system modelling and simulation / V.P. Larshin, N.V. Lishchenko // Современная наука: проблемы, инновации, решения – IV: материалы научн.-практ. конф. с междунар. участием. (Курск, 15-16 декабря 2016 г.). – Курск: ООО "Учитель", 2016. – С.13-18.

14. Larshin V.P. Gear grinding temperature determination / V.P. Larshin, N.V. Lishchenko // Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта, матеріали XIX-ої міжнар. наук.-технічн. конф. 19-22 червня 2018 р., Київ: НТУУ «КПІ», 2018. – С. 91-94.

15. Lishchenko N.V. Increase of productivity for profile CNC gear grinding / N.V. Lishchenko, V.P. Larshin, // Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта, матеріали XIX-ої міжнар. наук.-технічн. конф. 19-22 червня 2018 р., Київ: НТУУ «КПІ», 2018. – С. 94-97.

УДК 621.822.681.2:369.64

## ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ БЕЗЦЕНТТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТИМИ ШЛІФУВАЛЬНИМИ КРУГАМИ

Марчук І.В., Марчук В.І.  
Луцький національний технічний університет

Враховуючи складний характер зв'язку приведеного показника температури  $\omega$  з глибиною шліфування  $t$  та швидкістю деталі  $V_d$  виконаємо відповідно до залежності

$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot t = \frac{\lambda \cdot \omega}{c \cdot \rho \cdot l_2} \sqrt{\frac{2 \cdot R_{\text{кр}} \cdot \omega}{l_2 \cdot l_1}}$  кількісну оцінку впливу глибини шліфування  $t$  на основні параметри теплового процесу. Під час розрахунку використовуємо вихідні дані:  $c = 175,9$  Дж/(кг·°C);  $\rho = 15 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda = 50$  Вт/(м·°C);  $2R_{\text{кр}} = 0,25$  м;  $V_d = 600$  мм/хв.

В табл. 1. наведені значення безрозмірної величини  $\bar{l}_1$ , розраховані згідно залежності:  $\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot t = \frac{\lambda \cdot \omega}{c \cdot \rho \cdot l_2} \sqrt{\frac{2 \cdot R_{\text{кр}} \cdot \omega}{l_2 \cdot l_1}}$ , і значення приведеного показника температури  $\omega$ , розрахованого згідно до залежності:  $\bar{l}_1 = -\ln((1 - \omega) + \omega)$

Таблиця 1.

Розрахункові значення параметрів  $\bar{l}_1$ ;  $\omega$ ;  $l_2$ ;  $l_1 = t$ ;  $l_2 / l_1$ ;  $Q_1 / Q$ ;  $Q_2 / Q$ ;  $Q_2 / Q_1$

$t \cdot 10^{-3}$ , м	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
$\bar{l}_1$	0,0042	0,012	0,022	0,034	0,047
$\omega$	0,09	0,15	0,19	0,24	0,27