



ISSN 2079 – 1747
DOI 10.32820/2079-1747-2021-27

Міністерство освіти і науки України
Українська інженерно-педагогічна
академія

Галузеве машинобудування
Матеріалознавство
Прикладна механіка

Машинобудування

Engineering

Збірник наукових праць
Видається 2 рази на рік
Видається з грудня 2007 р.

Industry engineering
Material Science
Applied mechanics

Збірник наукових праць
«Машинобудування» входить до
Категорії Б наукових фахових
видань, включених до Переліку
наукових фахових видань України
(технічні науки), в яких можуть
публікуватися результати
дисертаційних робіт на здобуття
наукових ступенів доктора наук і
доктора філософії (кандидата наук)
наказ МОН України №409 від
17.03.2020.

УІПА

Редакційна колегія:**Головний редактор**

Купріянов О. В., д.тех.н., доц.

Заступник головного редактора:

Фідровська, Н. М., д.тех.н., проф.

Члени колегії:

Гордєєв А. С., д.тех.н., проф.

Григоров О. В., д.тех.н., проф.

Залога В.О., д.тех.н., проф.

Ларшин В. П., д.тех.н., проф.

Литвин О. М., д. физ.-мат. н., проф.

Ловейкін В. С., д.тех.н., проф.

Петраков Ю.В., д.тех.н., проф.

Ромасевич Ю.О., д.тех.н., доц.

Соколов В. І., д.тех.н., проф.

Хавін Г. Л., д.тех.н., проф.

Alper Uysal, Ph.D., Assoc. Prof.

Dagmar Caganova, Ph.D., Assoc. Prof.

Dimitar Dichev, D.Sc., Prof.

Milan Edl, Ph.D., Assoc. Prof.

Predrag Dasic, D.Sc., Prof.

Відповідальні редактори

Подоляк О.С., к.тех.н., доц.

Сичов Ю.І., к.тех.н., доц.

Грінченко Г.С., к.тех.н., доц.

Випусковий редактор

Соболь Л.А.

Відповідальний секретар

Соболь Л.А.

Адреса редакції:

Україна, 61003, м. Харків

вул. Університетська, 16

Українська інженерно-педагогічна академія

Тел. (057)733-79-17

Факс (057)731-32-36

E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua

<http://jmash.uipa.edu.ua>

Address of editorial office:

16 Universitetska vul., Kharkiv

61003, Ukraine

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy

Tel. (057)733-79-17

Fax (057)731-32-36

Машинобудування

2021, № 27

Збірник наукових праць

Засновник

Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА)

Видається з грудня 2007 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
Серія KB № 12132 – 1016Р від 26.12.2006.
ISSN 2079 – 1747
DOI 10.32820/2079-1747-2021-27

Мови видання:

українська, англійська

Друкується за рішенням Вченої ради УІПА,
протокол №13 від 01.06.21 р.

При використанні матеріалів збірника посилання
на збірник – обов'язкове.

Журнал відображено у базах даних:

Національна бібліотека України імені

В. І. Вернадського – <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>

Bielefeld Academic Search Engine –

<https://www.base-search.net/>

Index Copernicus – <http://www.indexcopernicus.com/>

Google Scholar – <http://scholar.google.com.ua/>

OpenAIRE (Open Access Infrastructure for Research
in Europe) – <https://www.openaire.eu/>

WorldCat – <https://www.worldcat.org/>

© Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА), Харків, 2021

Шановні автори публікацій!

Редакційна колегія збірника «Машинобудування» вживає заходів щодо підвищення якості нашого видання, спрямовані на входження в провідні світові наукометричні бази. З цією метою сайт збірника перенесений на платформу Open Journal Systems і впроваджується незалежне рецензування рукописів, що подаються до публікації. Збірник «Машинобудування» тепер має власний сайт, який розташовується за посиланням: <http://jmash.uipa.edu.ua>

Використання платформи Open Journal Systems дозволяє автоматизувати весь видавничий процес: подачу рукописів авторами, рецензування, внесення редакторських правок, розміщення статей у відкритому доступі і їх подальше індексування наукометричними базами. Ми починаємо приймати рукописи через сайт збірника, і надавати там результати рецензування. Для цього всі учасники видавничого процесу, від авторів до рецензентів і редакторів, повинні зареєструватися на сайті. Сайт доступний в трьох мовних версіях: українська, російська та англійська, тому у наших іноземних авторів не повинно бути мовних проблем. На час перехідного періоду рукописи приймаються і за старою схемою, але давайте разом освоювати перспективну редакторську платформу.

З метою забезпечення високої якості видавання, статі, які отримали низьку оцінку рецензентів, не будуть опубліковані. У разі виникнення труднощів, пишіть нам на E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua.

Запрошуємо фахівців в галузі машинобудування брати участь у рецензуванні, в процесі реєстрації на сайті збірника є можливість подати запит на додавання в рецензенти.

Ми докладаємо зусиль по розширенню географії авторів, і запрошуємо як українських, так і зарубіжних авторів подавати рукописи до збірника. При подачі статті слід стежити за правилами оформлення та академічною доброчесністю.

Давайте разом постійно покращувати наш збірник з метою вивести його в лідери машинобудівного напрямку!

Головний редактор

Купріянов Олександр Володимирович

Dear Authors,

The editorial board of the journal "Engineering" is taking steps to improve the quality of our publication with the aim of entering the world's leading scientometric databases. Accordingly, the website of the journal is moving to the Open Journal Systems platform and an independent review of manuscripts submitted for publication is being introduced. The journal "Engineering" now has its own website, which you can visit following the link <http://jmash.uipa.edu.ua>.

Using the Open Journal Systems platform allows automating the entire publishing process, which includes submitting manuscripts by authors, reviewing, editing, publishing articles in the open access, and then indexing them by scientometric databases. We are beginning to accept manuscripts via the website of the journal, which is where we are also starting to present the results of reviewing. To this end, all participants in the publishing process, from authors to reviewers and editors, must register on the website. The website is available in three languages: Ukrainian, Russian and English, so our foreign authors will not encounter any language-related problems. During the transition period, the manuscripts are still accepted according to the previous scheme, but let us start exploring this promising editorial platform together.

In order to ensure high quality of published articles, those papers which have received a low rating from reviewers will not be published. In case of technical difficulties, please email us at mashynobuduvannia@uipa.edu.ua.

We are inviting specialists in the field of mechanical engineering to take part in reviewing; for this purpose, while registering on the website of the journal there is an opportunity to submit a request to become a reviewer.

We are making efforts to expand the geography of the authors, so we are inviting both Ukrainian and foreign authors to submit manuscripts to the journal. When submitting an article, you should follow the guide for authors and the rules on academic honesty.

Let us together constantly improve our journal in order to make it a leader in the field of mechanical engineering.

Oleksandr Kupriyanov

Editor-in-Chief

Уважаемые авторы публикаций!

Редакционная коллегия сборника «Машиностроение» предпринимает шаги по повышению качества нашего издания, направленные на вхождение в ведущие мировые наукометрические базы. С этой целью сайт сборника перенесен на платформу Open Journal Systems и вводится независимое рецензирование подаваемых к публикации рукописей. Сборник «Машиностроение» теперь имеет собственный сайт, который располагается по ссылке: <http://jmash.uipa.edu.ua>

Использование платформы Open Journal Systems позволяет автоматизировать весь издательский процесс: подачу рукописей авторами, рецензирование, внесения редакторских правок, размещение статей в открытом доступе их последующее индексирование наукометрическими базами. Мы начинаем принимать рукописи через сайт сборника, и предоставлять там результаты рецензирования. Для этого все участники издательского процесса, от авторов до рецензентов и редакторов, должны зарегистрироваться на сайте. Сайт доступен в трех языковых версиях: украинский, русский и английский, поэтому у наших иностранных авторов языковых проблем быть не должно. На время переходного периода рукописи принимаются и по старой схеме, но давайте вместе осваивать перспективную редакторскую платформу.

С целью обеспечения высокого качества издаваемых статей, получившие низкую оценку рецензентов материалы не будут опубликованы. В случае технических трудностей, пишите нам на E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua

Приглашаем специалистов в области машиностроения участвовать в рецензировании, в процессе регистрации на сайте сборника есть возможность подать запрос на добавление в рецензенты.

Мы прикладываем усилия по расширению географии авторов, и приглашаем как украинских, так и зарубежных авторов подавать рукописи в сборник. При подаче статьи следует следить за правилами оформления и академической добросовестностью.

Давайте вместе постоянно улучшать наш сборник с целью вывести его в лидеры машиностроительного направления!

Главный редактор

Куприянов Александр Владимирович

Галузеве машинобудування	5
Lebed' V.T., Subotin O.V., Tselik Y.B. Prerequisites for creating an automated control system for the process of thermal assembly of oversized composite gear wheels.....	5
Ламнауер Н.Ю., Пташний О.Д. Градації якості технологій виготовлення деталей машин на основі оцінки виправленої дисперсії	22
Подольак О.С., Староста Ж.С., Аненко К.К. Огляд стану питання забезпечення позиціонування і контролю вантажу стрілового самохідного крана	29
Подольак О.С. Аненко К.К. Староста Ж.С. Огляд стану питання забезпечення вантажної стійкості стрілового самохідного крана	36
Фролов Е.А., Дерябкіна Е.С., Агарков В.В., Муравьев В.В. Критерії граничного зношування напрямних елементів переналагоджуваних штампів	43
Матеріалознавство	50
Стрельчук Р.М. Моделювання взаємодії інструменту з деталлю при електроерозійному алмазному шліфуванні зі змінною полярністю електродів в зоні різання	50
Прикладна механіка	58
Сітніков Б.В., Маршуба В.П. Деякі особливості формування швів при зварюванні магнітокерованою дугою з неплавким катодом	58
Кондратюк О.Л., Скоркін А.О. Передумови адаптивного керування процесом різання при стрічковому шліфуванні з урахуванням затуплення інструменту	67
Скоркін А.О., Кондратюк О.Л., Старченко О.П., Камчатна-Степанова К. В. Підвищення ефективності фрезерної обробки за рахунок використання систем моніторингу динамічних характеристик.....	76
Долгов В.В., Ружинська Л.І. Інтенсифікація масообмінних процесів при очищенні біогазу від баластних домішок	87
Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка	96
Грінченко Г.С., Артюх С.М., Бурдейна В.М., Черняк О.М., Кіпоренко О.В. Імплементация вимог стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 щодо невизначеності вимірювання при при оцінюванні відповідності	96
Артюх С.М., Бурдейна В.М., Грінченко Г.С., Черняк О.М., Тріщ А.Р. Аналіз вимог до оснащення випробувальних лабораторій у відповідності до ДСТУ ISO/IEC 17025:2017.....	104
Тріщ Р.М., Бурдейна В.М. Артюх С.М., Черняк О.М., Грінченко Г.С. Аналізування вимог міжнародних стандартів щодо міжлабораторних та внутрішньолaborаторних порівнянь результатів випробувань випробувальних (калібрувальних) лабораторій	110
Тріщ Р.М., Черняк О.М., Артюх С.М., Бурдейна В.М., Грінченко Г.С. Імплементация вимог міжнародних стандартів щодо невизначеності вимірювань в метрологічну діяльність підприємств	117
До уваги авторів	125

DOI 10.32820/2079-1747-2021-27-5-21

UDC 621.002.5-52:621.771.07:658.587

PREREQUISITES FOR CREATING AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF THERMAL ASSEMBLY OF OVERSIZED COMPOSITE GEAR WHEELS

© Lebed' V.T. , Subotin O.V., Tselik Y.B.

Donbass State Engineering Academy

Інформація про авторів / Сведения об авторах / About the Authors:

Лебідь Володимир Тимофійович (Лебедь Владимир Тимофеевич, Lebid' Volodymir Tymofiyovich):

ORCID: 0000-0002-5768-6141; vl.ti.lebed@gmail.com.ua; доктор технічних наук, доцент, Донбаська державна машинобудівна академія, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, вул. Академічна 72, м. Краматорськ, 84313, Україна.

Суботін Олег Володимирович (Субботин Олег Владимирович, Sybotin Oleg Volodymirovich):

ORCID: 0000-0002-6095-5840; e-mail: o.v.subotin@ukr.net; кандидат технічних наук, доцент, Донбаська державна машинобудівна академія, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, вул. Академічна 72, м. Краматорськ, 84313, Україна.

Целик Юрій Борисович (Целик Юрий Борисович, Tselik Yurii Borisovich): yuricell@yandex.ru;

завідувач лабораторією кафедри автоматизації виробничих процесів, Донбаська державна машинобудівна академія, вул. Академічна 72, м. Краматорськ, 84313, Україна.

The intensity of the dynamic loads of large composite gear wheels during their operation makes high demands on the quality of the processing and assembly of such parts. These requirements are maintained during the subsequent restoration of the product. Large-sized products include gear wheels with a diameter of more than 3250 mm, and heavy ones – starting from 25 tons and above. The technological processes during the machining of such parts have a number of peculiarities, which are associated with the dimensions and weight of the parts, as well as with the conditions of their manufacture. Therefore, improving the quality of the assembly process due to automated control of measurements of the parameters of a large gear ring when it is heated is an urgent task. The article analyzes the technological features of the assembly of gears, which is carried out by heating the embracing part. With the overall dimensions of the wheel, which do not allow heating operations to be performed on standard technological equipment, this process is to be carried out from individual heating elements stationary or on a rotary platform. It has been found that to control the body temperature of the part and change its bore diameter during heating, it is necessary to interrupt the process. In this case, the parameters are to be measured by two operators manually. To ensure automation of the measurement process and the subsequent control of these parameters, the application of modern methods and means of remote measurement of temperature and linear parameters of the covering part has been considered. This will allow measurements to be taken without interrupting the process. Investigations were made of the heating process of the covering part in order to obtain information about the behavior of the measured parameters. Analysis of product heating was performed by modeling the gear ring heating process in SolidWorks Simulation. A measuring system has been developed for collecting, converting data received from temperature and linear displacement sensors, as well as for subsequent data transfer to a computer at the operator's workplace for processing in a user program. The developed software involves the dynamic control of the heating of the gear ring using the scheduling process. To ensure high-quality performance of the process of heating the gear ring, an algorithm has been created for the program in case of unplanned failures of sensors, equipment or a violation of the technological

process. Experimental studies were carried out, which consisted of physical modeling of the process of thermal expansion while heating the ring gear for assembly in the temperature range starting from 20 ° C to 300° C. Modeling of the process was carried out on an installation with a model of the workpiece in a scale of 1:10. The results of experimental studies allow us to lay foundations of the basic prerequisites for automating the assembly process of composite wheels by developing and creating an intelligent complex to control the parameters of the gear ring during the heating process.

Keywords: oversized composite gear wheels, parameters of measurements, automation, system, modeling, experiment.

Лебідь В.Т., Суботін О.В., Целик Ю.Б. «Передумови створення автоматизованої системи управління процесом термічного складання негабаритних складених зубчастих коліс»

Інтенсивність динамічних навантажень великогабаритних складених зубчастих коліс при їх експлуатації пред'являє високі вимоги до якості процесу обробки та складання таких деталей. Ці вимоги зберігаються і при наступному відновленні виробів. До великогабаритних виробів відносяться зубчасті колеса діаметром більше 3250 мм, а до великогабаритних – від 25 т і вище. Технологічні процеси при обробці таких деталей мають ряд особливостей, що пов'язано з габаритами і масою деталей, а також з умовами їх виготовлення. Тому підвищення якості процесу складання за рахунок автоматизованого контролю вимірювань параметрів великогабаритного зубчастого вінця при його нагріванні є актуальним завданням. В роботі проведено аналіз технологічних особливостей складання зубчастих коліс, яке здійснюється шляхом нагрівання вінця колеса. При габаритних розмірах колеса, що не дозволяють проводити операції нагріву на типовому технологічному обладнанні, цей процес виконується від окремих нагрівальних елементів стаціонарно або на поворотній платформі. Встановлено, що для контролю температури тіла деталі і зміни його посадкового діаметра при нагріванні необхідно переривання технологічного процесу. При цьому вимірювання параметрів проводиться двома операторами вручну. Для забезпечення автоматизації процесу вимірювань і подальшого контролю цих параметрів розглянуто застосування сучасних методів і засобів дистанційного вимірювання температури і лінійних параметрів вінця колеса. Це дозволить проводити вимірювання без переривання технологічного процесу. Проведено дослідження процесу нагрівання вінця колеса з метою отримання інформації про поведінку вимірюваних параметрів. Аналіз нагріву виробу виконано шляхом моделювання процесу нагрівання вінця в SolidWorks Simulation. Розроблено вимірювальну систему для збору, перетворення даних, прийнятих від датчиків температури і лінійного переміщення, а також для подальшої передачі даних в комп'ютер на робочому місці оператора для обробки в призначеній для користувача програмі. Розроблене програмне забезпечення передбачає динамічний контроль ведення нагріву вінця за допомогою диспетчеризації процесу. Для забезпечення якісного проведення процесу нагріву зубчастого вінця створено алгоритм роботи програми при непланових збоях датчиків, обладнання або порушення технологічного процесу. Проведено експериментальні дослідження, які полягали у фізичному моделюванні процесу термічного розширення при нагріванні зубчастого вінця під збірку в діапазоні температур від 20 °C до 300 °C. Моделювання процесу проводилося на установці з моделлю заготовки в масштабі 1:10. Результати експериментальних досліджень дозволяють закласти основні передумови для автоматизації процесу складання складених коліс шляхом розробки і створення інтелектуального комплексу з контролю параметрів вінця в процесі нагрівання.

Ключові слова: великогабаритні складені зубчасті колеса, параметри, вимірювання, автоматизація, система, моделювання, експеримент.

Introduction

In modern machines and assemblies, heavily loaded gear wheels are widely used, which are designed to transfer torque with a change in the shaft rotation per min [1].

In Fig. 1, as an example, a general view of the large-sized composite gear wheel (LSCGW) of the gearbox is shown.

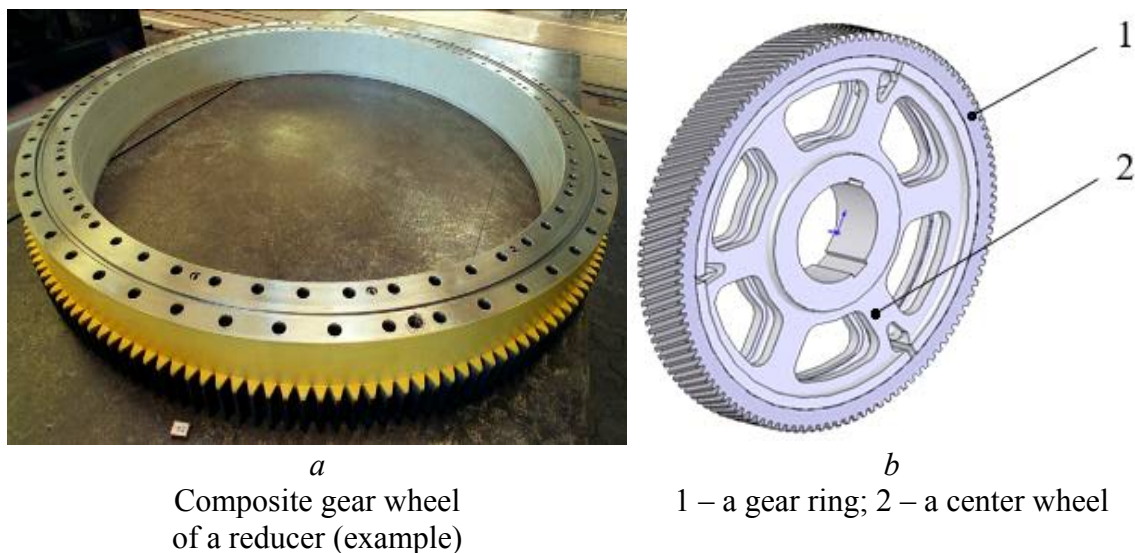


Figure 1 – General view of large composite gears (*a*, *b*)

The design of large gear wheels is usually implemented in a composite version, as shown in Fig. 1. *a*.

In Fig. 1. *a*: a ring gear (embracing part) (1) and a hub or center (embraced part) (2) are marked.

It is considered that large-sized products include gear wheels with a diameter of more than 3250 mm [2]. Technological processes during the machining of such parts have a number of peculiarities. On the one hand, this is related to the dimensions and weight of the parts, and on the other hand, to the conditions for their manufacture (individual or small-scale production).

The relevance of the problem. Current trends are aimed at increasing of the intensity of dynamic loads of large-sized composite products (LSCP) during their operation. This makes high demands for the quality of the processing of such parts. The specified requirements are followed also during the subsequent restoration of the product.

The aim of the present development is to improve the quality of the assembly process and the culture of technological operations at the expense of the automated control of measurements of the parameters of a large gear ring (LGR) during thermal treatment of it. This will ensure the optimal performing of the heating process of the embracing part when using an intellectual complex of measuring facilities.

The object of study is a system of automated control of the gear ring of LSCGW parameters in the process of its thermal preparation for assembly with a center (hub) under the guaranteed interference.

The subject of the study is automatic control of the temperature parameters and linear expansion of the short-circuit protection during thermal exposure.

Scientific novelty is determined by establishing the prerequisites for creating an integrated intellectual system for measuring the parameters of a large composite gear wheel in the process of thermal preparation of the gear ring for the assembly with the center.

The practical value of the study is the development of the prerequisites for the creation of an automated complex for monitoring and measuring a number of parameters of large-sized parts to ensure an optimal thermal assembly process.

According to the normative documentation [2–4], large-sized products of the rolling body class include parts with a diameter of 3250 mm or more, and heavy ones from 25 t (previously 20 t [2]) and more.

In the study [3], this indicator is 72 tons. In the framework of this article, the products with a lower level of the mass ranging from 5 tons and overall dimensions from 1000 mm are being considered. The values of these meanings are established on the basis of the cost analysis of the blanks produced at the heavy engineering plant.

Composite (bandaged) gear wheels with gear rings with spur, helical and chevron teeth with one, two or three discs in a cast-iron center are being considered (Fig. 1.b). These products are widely used in industry, for example, in gearboxes of stands of rolling mills.

The structural dimensions of the bandage and the oversized composite gear wheels (OSCG) cast-iron center are taken based on the conditions of their equal strength, and the fitting diameter of the crown boring is determined based on the condition of the transfer with an interference fit of the maximum torque allowable by the bending strength of the teeth. The generalized parameters of a number of LSCGW are given in Table 1.

The assembly of the ring gear with the center of the wheel is carried out by thermal action (heating) on the embracing part according to the technological parameters (Fig. 2). The gear ring is heated in the heating furnaces (with the appropriate dimensions of the product and the characteristics of the processing equipment). The heating time is adjusted depending on the overall dimensions of the embracing part. After the assembly of OSCG, processing is to be carried out in accordance with typical technologies.

The main provisions (stages) of the thermal action assembly and processing of the OSCG are shown in Fig. 3 [5, 6].

When the overall dimensions of OSCG that do not allow heating operations to be performed on typical technological equipment, this process is to be carried out from individual heating elements permanently or on a rotary platform.

When heating the gear ring, the control of the body temperature of the part and changes in its boring diameter is required for LSCGW. To ensure safe access for the personnel with a measuring tool to the embracing part, according to the safety conditions, of the process should be interrupted. In this case, the measurement of the inner diameter of the heated gear ring is to be made by two operators (controllers).

General conditions of the processing of large sized composite gear wheels when being assembled by heating (Fig. 3).

Based on the basic provisions of the technology, in order to ensure an automated measurement process and subsequent control of their parameters, the following tasks are solved:

- application, based on the analysis of traditional ways, modern methods of measuring temperature and linear parameters of the embracing part;
- assessment and selection of methods and means of measuring temperature and linear parameters of the embracing part.

The main part of the preparation of the gear ring LSCGW for assembly by thermal influence is the measurement and control of these two parameters to assess the state of the heated crown.

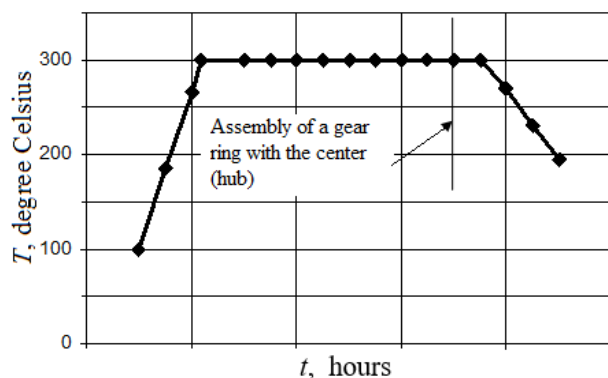


Figure 2 – Technological parameters of the temperature heating of the ring gear for the assembly of LSCGW

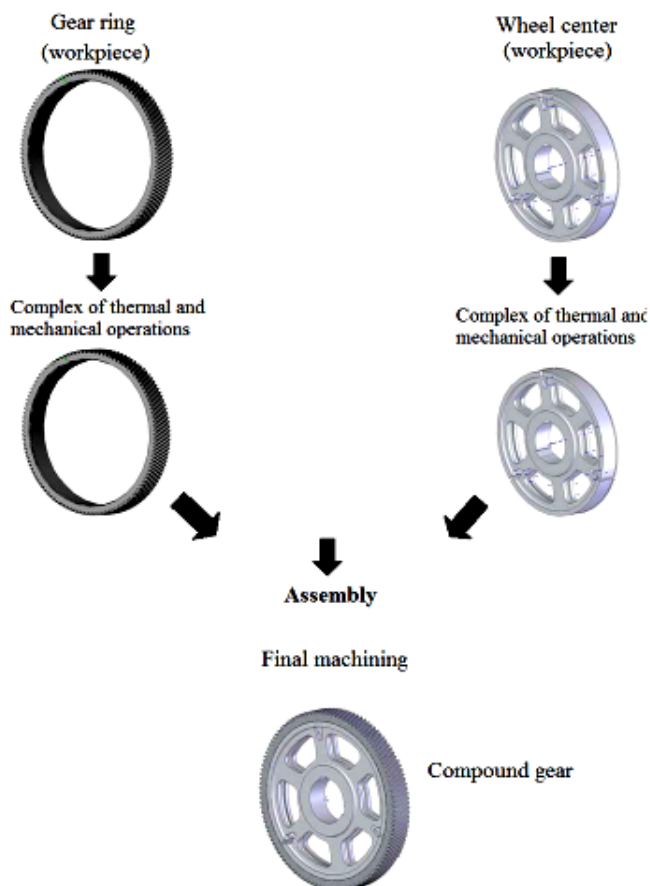


Figure 3 – General provisions for the processing of oversized gears in a composite version during assembly by thermal action

One of the directions of modern trends in improving engineering and processing technology in heavy engineering is to increase the accuracy and prompt response when conducting the measuring parameters during the manufacturing process.

Automation of production and the widespread use of flexible production systems allow us to solve this problem [7–12].

It is advisable to measure the linear dimensions of the fitting diameter of the crown and its temperature during heating in automatic mode, without interrupting the process [13]. The organization of the measurement process is shown in Fig. 4.

The main means of heating the oversized gear ring of OSCG are induction heaters and gas burners. The heating of the part occurs due to the thermal conductivity of the material and is weakened by the convective influence of the environment. To eliminate this phenomenon, a special device [14] has been developed.

When a temperature of 300 °C is reached at the heating sites, the intermediate sections of the embracing part are at a lower temperature level. For a part in a static position, it is 130 ... 160 °C.

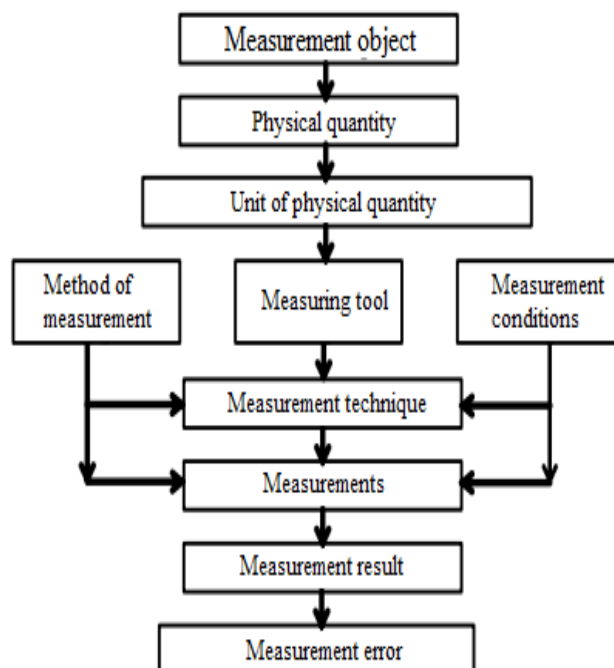


Figure 4 – Process measurement structure

The control of the heating process of the embracing part for assembly is usually performed in the manual mode. With this approach, in some cases, uneven heating of the embracing part and an overspending of the energy can be noticed.

The task is to automate the measurement process, which requires the selection of appropriate primary measuring transducers (sensors) to ensure the necessary accuracy and quick response of the speed of control of the required parameters [15, 16].

Table 2 shows the characteristics of the main types of analog non-contact sensors for measuring distances.

Table 3 shows the ways for measuring the main parameters (temperature and linear displacements) and their features.

Based on the analysis of the sensors, pyrometric and ultrasonic non-contact sensors were used to measure the temperature and determine the change in diameter of the gear ring model of LSCGW. Investigations were made of the heating process of the embracing part in order to obtain information about the behavior of the measured parameters.

The analysis of product heating was performed by modeling the thermal process on the ring in SolidWorks Simulation. The simulation results of the basic process of heating the embracing part are shown in Fig. 5 and Fig. 6.

In Fig. 6 shows the results of a study of the temperature distribution during heating of the embracing part.

A visual representation of a uniformly heated gear ring to a temperature of 310 °C is shown in Fig. 6. Uneven expansion when the part is heated reaches 6 mm.

During the simulation, the basic parameters of the LSCGW and the conditions of the performing the process taking into account the material of the part, the environment (air) and temperature effects (local heating at variable power) have been considered.

At the present stage of research, the model is simplified, but sufficiently fully provides information about transient processes during thermal influence on the embracing part.

The main parameters adopted during the simulation are summarized in Table 4, and the simulation results are shown in Table 5.

A measuring system has been developed for collecting, converting data received from temperature and linear displacement sensors, as well as for subsequent data transfer to a computer at the operator's workplace for processing in the user program [13, 19].

Monitoring the normal operation of the system is provided by indicators in the form of signal LEDs. Peripheral device management is guaranteed by the STM32L4A6ZG logic controller with ultra-low power consumption (Table 6).

The block diagram of the measuring device of this system is presented in Fig. 7. *a*, and the operator's workplace – in Fig. 7. *b*.

Table 2 – Characteristics of linear distance measuring sensors

A type Parameter	Sensors			
				
	inductive	ultrasound	optical	
Distance, mm	0 ... 200	10 ... 10 000	10 ... 2 000	10 ... 500 000
Resolution, microns	0,1	100,0	1,0	500,0
Accuracy, microns	1	200	2	2000
Linearity, %	0,4 ... 5,0	0,5	0,05 ... 1,00	0,001
Time, ms	0,3	20,0	1,0	1,0

Table 3 – Comparison of methods for measuring temperature and linear parameters

Tool type	Measurement error	Tool reliability	Instrument value (relative units)	Safety and comfort when using
Contact, manually	subjective factor	positive	1,0	non-compliance with safety standards
Contact, automated	low	negative (due to tool wear)	5,0	need for service
Contactless automated	low	positive	6,0	safety compliance

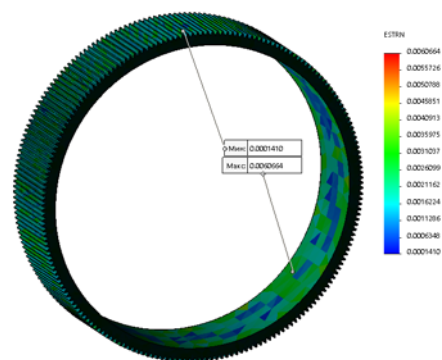
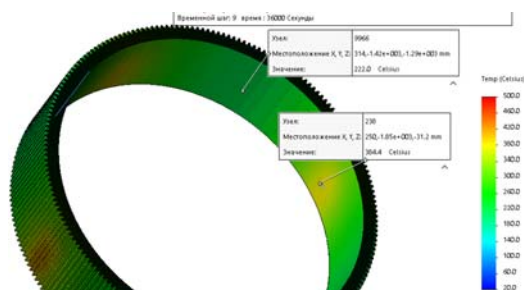


Figure 5 – SW Simulation: temperature gradient when heated

Figure 6 – SW Simulation: diameter expansion at $T = 310\text{ }^{\circ}\text{C}$

Table 4 – the Source parameters of the simulation SW Simulation

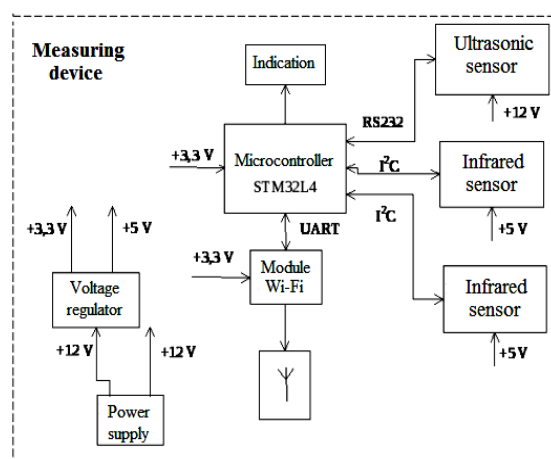
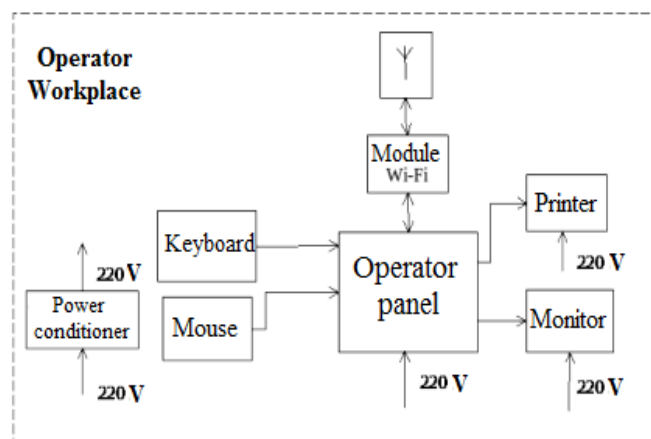
Parameter	Units	Value
Ambient temperature	°C	20
Convection	W / (m ² °C)	7
Thermal expansion transitions	1 / °C	1,7 x 10 ⁻⁵
Thermal conductivity	W / (m ² °C)	384
Specific heat capacity	J / (kg °C)	390
Diameter	mm	3700
Weight	kg	15 730

Table 5 – SW Simulation simulation results

Parameter	Units	Value
Spent time	seconds	36 000
Power consumption	kW	1000
Delta temperature	°C	162
Maximum temperature	°C	385

Table 6 – Controller Specifications

Parameter	Value
Core	ARM® 32-bit Cortex®-M4 CPU with FPU
Working frequency	up to 80 MHz
Memory	1 MB Flash, 320 KB of SRAM
Supply voltage	1.71 V to 3.6 V power supply
Current	91 µA / MHz run mode (LDO Mode)
Interfaces	USB OTG 2.0, SAIs, I2C FM +, U (S) ARTs, CAN

*a**b*Figure 7 – Block diagram of the measuring device (*a*) and block diagram of the operator's workplace (*b*)

During the cycle of heating the gear ring, it is necessary to control the uniformity of heating of the embracing part. To solve this problem, it is necessary to take measurements in two zones – the closest to the heat source and the intermediate zone, which requires two sensors. Also, when choosing a sensor, the main parameter is the optical resolution of the measuring device. The

temperature, depending on the state of the metal, can be measured with sufficient accuracy by infrared pyrometers. Moreover, the choice of the most effective method is associated with the consideration of several factors.

The decisive factors are: the stability of the radiating characteristics of the surface during the assembly process, the degree of condition of the metal surface and climatic conditions in the measurement zone [15].

Theoretical analysis is based on the assumption that pyrometers are used in a narrow wavelength range and therefore the change in readings depending on the temperature measurement can be determined according to the Planck's law. As practice shows, most radiation receivers have a wide range of waves, and the use of filters does not sufficiently limit this range to consider it to be strictly monochromatic.

According to additional studies, pyrometric monochrome sensors operating in the wavelength range of 8 ... 14 microns have been chosen for consideration.

The most promising option for application is the Melexis MLX9061DCI model. Its difference from expensive sensors is that it has version without housing with subsequent installation in a complete measuring device. The main advantage is the availability of inbuilt temperature sensor that measures the temperature of the sensor. Connection to the controller is performed by using the I2C interface.

This infrared thermometer provides non-contact temperature measurement. Due to the low noise level of the 17-bit analog-to-digital converter and a powerful digital signal processor, high accuracy and resolution are achieved.

To ensure the elimination of interference in the form of radiation close to infrared, an optical filter is provided with a transmission range of 5.5 to 14.0 μm .

The device is available in the TO39 industry standard enclosure.

The thermometer is calibrated over a wide range of temperatures: -40 ... +125 °C for ambient temperature and -70 ... +380 °C for object temperature. MLX9061 is made of two chips:

- infrared sensor based on thermoelectric battery MLX81101;
- ASSP MLX9030 output signal processor.

The sensor supports a two-wire data transfer protocol, in Slave mode (secondary device), built on the basis of PWM / SDA and SCL:

- SCL - a digital input that is used as a timer for SMBus joint communication. This contact has an auxiliary function to provide stabilization of the external voltage;
- PWM / SDA - digital input / output, which is used to output PWM measured object temperature (s) or digital input / output for the SMBus protocol.

To control the change in the diameter of the gear ring during thermal treatment, a sensor has been adopted that provides accuracy within $\pm 0.5\text{mm}$ with a measurement range of not less than least 3000 mm [20].

A comparison of the characteristics of a number of sensors for some indicators is given in Table. 7. According to the aggregate of the compared parameters, the wms-340 / RT model of Microsonic GmbH is a promising option.

In the conditions of machine assembly factory shops, for the considered gear rings, the ultrasonic distance sensor can be the best choice (Table 7).

The task of the monitoring microcontroller STM32L4A6ZG is to form a trigger pulse and measure the value of the echo signal. The sensor is connected to the port A, 8-pin is responsible for initializing measurements and port 15 is responsible for obtaining the result. The code that provides this task starts with initializing the pins in the port.

To get the distance value anywhere in the program, the `getDistanceIntact()` method is used. The result is written to the `echoSMResult` variable. To cyclically obtain the distance, it is necessary to ensure the interval between measurements.

The required accuracy is ensured by changing the coefficient value in a global variable when debugging a device which has been installed on equipment.

The communication of the measuring device with the computer is provided by Wi-Fi wireless technology. The SPWF04SA module, which is a multi-element turnkey solution, provides 802.11 b / g / n data transfer standard. The exchange of information, as well as the transmission of commands and the reception of messages from the module, is carried out by using the USART interface. There is also a microcontroller on board, with the help of which the low-level operation with the module is carried out.

The control of this measuring system (module) is carried out by using AT-commands. To connect the module to a common network, it is necessary to enter a series of commands in a terminal program in sequence. After a reboot, the module is connected to the network and access point, and it is assigned an IP address.

The process of assembling LSCGW by thermal treatment on the embracing part is time-consuming due to the significant overall dimensions and masses of the products which require consideration of environmental conditions. When creating software, the problem remains of the dynamic control of the heating of the gear ring with the help of process scheduling.

The program is being developed for the Microsoft Windows operating system in the free VisualStudio Community application development tool. A system is used to build Windows Presentation Foundation (WPF) client applications, which provides visually attractive user experience.

Table 7 – Comparison of indicators of ultrasonic sensors

Model	Range of measurements, mm	Measurement accuracy, mm	Reliability EN 60529	Cost, conventional units
Microsonicwms-340 / RT	350 ... 5 000	± 0.35	IP 65	170
Microsonic mic-340 / IU / M	350 ... 5 000	± 0.16	IP 67	620
PIL Sensoren Series P48	10 ... 3 000	± 1.00	IP 67	150
Maxbotix MaxSonar-WRLST	500 ... 10 000	± 1.00	IP 67	220

The basis of WPF is a vector visualization system that is created taking into accounts the capabilities of modern graphic devices.

It is planned to develop a program interface for presenting in a convenient form the values characterizing the temperature and the bore diameter of the embracing part. Creating a calculation module provides the calculation of the necessary resulting values from the source data (initial mass and diameter). At the same time a manual mode is provided, which ensures flexibility in using the program.

The work is carried out using the extensible markup language XAML (eXtensible Application Markup Language) for declarative programming of applications. Everything developed in XAML can be converted by using more traditional NET languages, such as: C # or Visual Basic.NET.

A peculiarity of the application of this technology is the reduction in the complexity of the tools used for processing.

In the upper part of the workspace there is the “Menu” panel, in the lower part there is a status panel that reflects the current date, time and current status of the program.

A program interface has been developed for dialogue with the user when entering data or switching functions.

To ensure a high-quality conduct of the gear ring heating process, a program algorithm has been created for unplanned failures of sensors, equipment, or a technological process violation.

The software application in automatic mode monitors the value of temperature sensors and a sensor of linear dimensions. The application informs about exceeding threshold values by a message. This function allows timely response in an unpredictable situation, for example, in case of the failure of the measuring device.

The algorithm of the program in emergency mode is shown in Fig. 8.

The demonstration of the trial program (Fig. 9. *a*) shows its interface in the operating mode.

In the information input fields, the set values for the initial, current and threshold values of temperature and the diameter of the ring gear are displayed. The graph shows a dynamic change in the current value and the mark of the required diameter is highlighted. When determining the temperature, the average measurement value of two sensors is given. The maximum permissible heating temperature is controlled in a logic code, when a critical point is reached; a warning is displayed on the screen.

The measuring system with the developed software is installed on the stand and meets the minimum requirements for Microsoft to use Windows. Fig. 9.b shows the screen for consuming the computer resources by software.

Experimental studies have been carried out, which resulted in modeling the process of thermal expansion when heating the ring gear for assembly in the temperature range from 20 °C to 300 °C. The parameters of OSCG are accepted for consideration, with its fitting diameter of 2735 mm and a width of 120 mm. Modeling of the process was carried out on an installation with the gear ring model OSCG in a scale of 1:10.

A general view of the experimental setup for trial testing of the process of heating of the gear ring and the subsequent assembly of the OSCG model is shown in Fig. 10.

The LSCGW model is represented by a gear ring (1) with a diameter of 273.5mm, a width of 12 mm, mounted on a platform (2). The installation consists of a base platform (3) with an electric drive (4), providing rotation of the product for uniform heating. Warming up is carried out by a gas ring burner (5) located under the gear ring. Measuring equipment (6) is placed in a zone that excludes temperature effects.

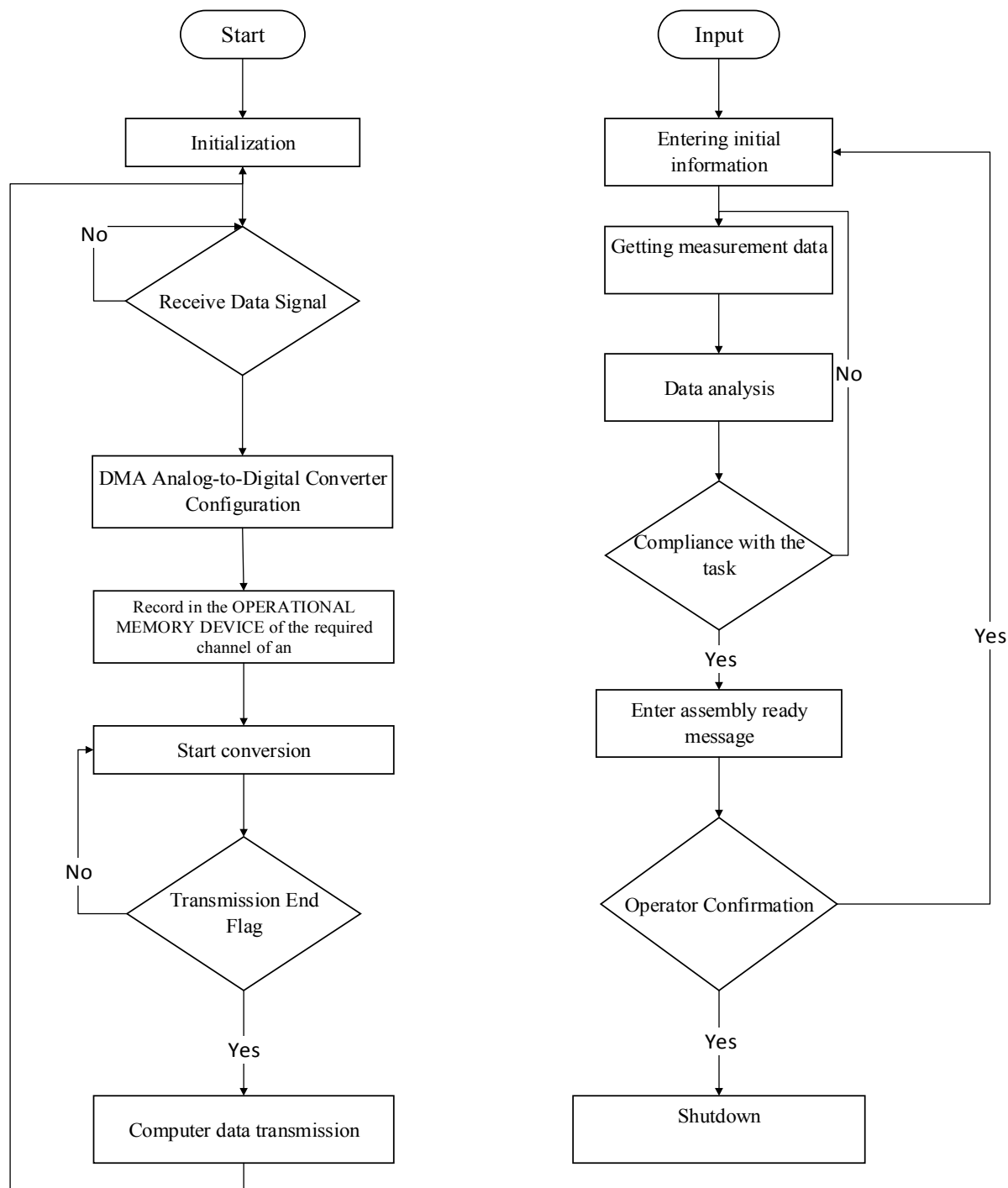


Figure 8 – The algorithm of the program in emergency mode

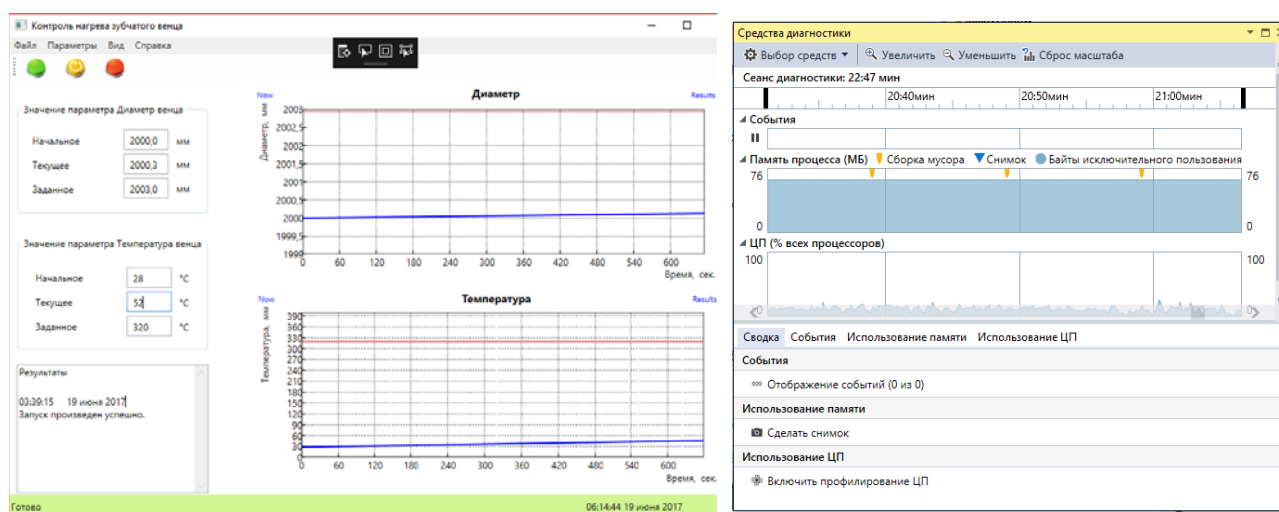
*a**b*

Figure 9 – Demo mode of the trial program (*a*) and computer resource consumption by software (*b*)

Trial testing of the experimental setup for the process of heating the ring gear and subsequent assembly of the LSCGW model is shown in Fig. 11

A comparison of a number of measurement results made by automatic and manual methods is carried out.

The control of temperature parameters and the size of the bore diameter during heating were carried out automatically by sensors of infrared temperature measurement (7) and ultrasonic distance measurement (8) with an interval of 30 seconds.

At the same time, an additional control of temperature measurement was carried out using a Testo 830-T4 pyrometer with an interval of 300 seconds. Measurement error of ± 2 °C is over the entire range. A control measurement of the diameter of the gear ring was carried out by using a caliper. Instrument - ЧИЗ models (C1.2).

The measurement interval is the above mentioned. Measurement of the fitting diameter of the crown (273.5 mm) was carried out in two planes with an accuracy of ± 0.1 mm at 20 °C.

The control measurement of the diameter, after the end of the heating process to $T = 240$ °C, is equal to 274.3 mm.

The models of the gear ring and the hub, as well as their assembly into the model of the composite gear wheel are shown in Fig. 11.



Figure 10 – General view of the heating installation:
1 – model of the gear ring; 2 – rotary platform; 3 – installation casing; 4 – electric drive; 5 – gas burner; 6 – measuring equipment; 7 – temperature sensor; 8 – distance sensor

*a**b*

Gear ring models (*a*) and hub (*b*)

*c*

Gear ring heating (*c*) for assembly

*d*

Assembly of the crown
and hub (*d*)

*e*

Compound gear model (*e*)

Figure 11 – Trial testing of the process of heating the
ring gear and the subsequent assembly of the OSCG
model

Conclusions

Ensuring a high-quality assembly process by the thermal treatment of LSCGW with optimal process control in laboratory conditions is achieved by creating a measuring system to control the parameters of the embracing part. The system consists of a device for the direct measurement of temperature and linear dimensions and a software product; it provides scheduling of the technological process of assembly of gear rings under thermal treatment on the embracing part.

Measurements of the parameters of the embracing – temperature and linear dimensions – were made by non-contact sensors. To take into account the temperature gradient along the inner surface at significant dimensions (width) of the crown, two temperature sensors are used that measure the values of heating in the zones of active heating and in the intermediate position of the product in order to control the temperature gradient.

An automated control system for the process of heating the gear ring for assembly of the LSGW model under thermal treatment at the experimental bench has been tested.

The applied non-contact measurement method has advantages in terms of results by comparing indicators of reliability, accuracy, cost and compliance with the production culture up to 4 %.

The results of experimental studies make it possible to lay foundations for the basic prerequisites for automating the assembly process of the LSGW by developing and creating an intelligent complex for controlling the parameters of the gear ring during the heating process.

Список використаних джерел

1. Краузе Г. Н. Оборудование прокатных станков / Г. Н. Краузе. – М. ; Л. : Машгиз, 1963. – 266 с.
2. Технические условия погрузки и крепления грузов / М-во путей сообщения. – М. : Транспорт, 1988. – 408 с.
3. Правила дорожного движения Украины. – Київ : Літера, 2013. – 76 с.
4. Технические условия размещения и крепления грузов. Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении. – Минск : Амалфея, 2015. – С. 463–474.
5. Лебедь В. Т. Ресурсосбережение в тяжелом машиностроении. Реинжиниринг крупногабаритных изделий : монография / В. Т. Лебедь, А. А. Пермяков, А. Н. Шелковой. – Краматорск : ДГМА, 2015. – 301 с.
6. Цеков В. И. Восстановление деталей металлургического оборудования / В. И. Цеков. – М. : Металлургия, 1977. – 152 с.
7. Целик Ю. Б. Автоматизация процесса контроля и замера посадочного диаметра венца составного зубчатого колеса при нагреве детали под сборку / Ю. Б. Целик, В. Т. Лебедь // *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : матеріали наук.-техн. конф.* (31 жовт. – 2 листоп. 2018 р., м. Краматорськ). – Краматорськ : ДДМА, 2018. – С. 189–191.
8. Измерения в промышленности : в 3-х кн. Кн. 3 : Способы измерения и аппаратура : пер. с нем. / под ред. П. Профоса. – М. : Металлургия, 1990. – 344 с.
9. Климченков С. С. Нормирование точности и технические измерения в машиностроении / С. С. Климченков. – Минск : Новое знание, 2013. – 248 с.
10. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2005. – 656 с.
11. Скляр В. А. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии [Электронный ресурс] / В. А. Скляр. – Донецк : ДонНТУ, 2014. – 224 с. – Режим доступа : <https://www.twirpx.com/file/1540187>. (дата обращения: 25.06.2020).
12. Системы управления гибким автоматизированным производством / под общ. ред. А. А. Краснопрошиной. – Киев : Вища школа, 1987. – 383 с.
13. Капиев Р. Э. Измерительно-вычислительные комплексы / Р. Э. Капиев. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.
14. Пат. № 140881 Україна. Пристрій для нагрівання негабаритних складених зубчастих коліс / В. Т. Лебідь, Ю. Б. Целік, О. В. Суботін, Є. В. Думенко та ін. – № u 2019 09416 ; заявл. 19.08.2019 ; опубл. 10.03.2020, Бюл. 5.
15. Гольдштейн А. Е. Физические основы получения информации / А. Е. Гольдштейн. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – 292 с.
16. Фрайден Дж. Современные датчики : справочник / Дж. Фрайден. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.
17. Библиотека электронных компонентов. Вып. 15: Датчики фирмы “Honeywell”. – М. : ДОДЭКА, 2010. – 48 с.
18. Магда Ю. С. M12 N1 Measurement Studio: практика разработки систем измерения и управления на C++ / Ю. С. Магда. – М. : ДМК Пресс, 2013. – 190 с.
19. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – М. : Техносфера, 2006. – 856 с.
20. Азимов Р. К. Оптоэлектронные преобразователи больших перемещений на основе полых световодов / Р. К. Азимов, Ю. Г. Шипулин. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 56 с.

21. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Гребе, М. Э. Сальгадо. – М. : БИНОМ ; Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.
22. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

References (transliterated)

1. Krauze, GN 1963, *Oborudovanie prokatnyh stanov* [Equipment for rolling mills], Mashgiz, Moskva, Leningrad.
2. Ministerstvo putej soobshhenija 1988, *Tekhnicheskie uslovija pogruzki i krepjenija Грузов* [Specifications for loading and securing cargo], Transport, Moskva.
3. *Pravila dorozhnogo dvizhenija Ukrainy. 2013. Razdel 22. Perevozka Грузов* [Traffic rules of Ukraine. 2013. Section 22. Carriage of goods] 2013, Litera, Kiev.
4. 'Tekhnicheskie uslovija razmeshhenija i krepjenija Грузов' 2015, *Prilozhenie 3 k Soglasheniju o mezhdunarodnom zheleznodorozhnom Грузовом соobshhenii* [Technical conditions for placing and securing cargo. Appendix 3 to the Agreement on International Freight Traffic by Rail], Amalfeya, Minsk, pp. 463-474.
5. Lebed, VT, Permjakov, AA & Shelkovoij, AN 2015, *Resursosberezhenie v tiazhelom mashinostroenii. Reinzhiniring krupnogabaritnyh izdelij* [Resource saving in heavy engineering. Reengineering of large-sized products], Donbasskaja gosudarstvennaja mashinostroitel'naja akademija, Kramatorsk.
6. Cekov, VI 1977, *Vosstanovlenie detalej metallurgicheskogo oborudovanija* [Restoration of details of metallurgical equipment], Metallurgija, Moskva.
7. Celik, JuB & Lebed, VT 2018, 'Avtomatizacija processa kontrolja i zamera posadochnogo diametra venca sostavnogo zubchatogo kolesa pri nagreve detali pod sborku' [Automation of the process of control and measurement of the landing diameter of the crown of a compound gear wheel when heating a part for assembly], *Mashinobuduvannja ochyma molodyh: progresyvni idei-nauka-vyrobnyctvo*, Donbaska derzhavna mashinobudivna akademija, Kramatorsk, pp. 189-191.
8. Profos, P (ed.) 1990, *Izmerenija v promyshlennosti*, book 3 *Sposoby izmerenija i apparatura* [Measurements in industry. Book. 3. Methods of measurement and equipment], Metallurgija, Moskva.
9. Klimchenkov, SS 2013, *Normirovanie tochnosti i tekhnicheskie izmerenija v mashinostroenii* [Rationing of accuracy and technical measurements in mechanical engineering], Novoe znanie, Minsk.
10. Kljuev, VV (ed.) 2005, *Nerazrushajushhij kontrol i diagnostika* [Non-destructive testing and diagnostics], Mashinostroenie, Moskva.
11. Skljjar, VA 2014, *Innovacionnye i resursosberegajushhie tehnologii v metallurgii* [Innovative and resource-saving technologies in metallurgy], Doneckij nacionalnyj tekhnicheskij universitet, Donetsk, viewed 25 June 2020, <<https://www.twirpx.com/file/1540187>>.
12. Krasnoproshinaja, AA (ed.) 1987, *Sistemy upravlenija gibkim avtomatizirovannym proizvodstvom* [Control systems for flexible automated production], Vishha shkola, Kiev.
13. Kapiev, RJe 1988, *Izmeritelno-vychislitelnye komplekсы* [Measuring and computing complexes], Jenergoatomizdat, Leningrad.
14. Lebid, VT, Celik, JuB, Subotin, OV, Dumenko, JeV et al. 2020, *Prystrij dlja nagrivanija negabarytnyh skladenyh zubchastyh kolis* [Device for heating oversized folded gears], UA Patent 140881.
15. Goldshtejn, AE 2010, *Fizicheskie osnovy poluchenija informacii* [Physical basis for obtaining information], Izdatelstvo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, Tomsk.
16. Frajden, Dzh 2005, *Sovremennye datchiki* [Modern sensors], Tehnosfera, Moskva.
17. *Biblioteka jelektronnyh komponentov. Vypusk 15 Datchiki Honeywell* [Library of electronic components. Issue 15: Honeywell Sensors] 2010, DODEKA, Moskva.
18. Magda, JuS 2013, *M12 N1 Measurement Studio: praktika razrabotki sistem izmerenija i upravlenija na C++* [Measurement Studio: practice of development of measurement and control systems in C ++], DMK Press, Moskva.
19. Oppengejm, A & Shafer, R 2006, *Cifrovaja obrabotka signalov* [Digital signal processing], Tehnosfera, Moskva.
20. Azimov, RK & Shipulin, JuG 1987, *Optoelektronnye preobrazovateli bolshih peremeshhenij na osnove polyh svetovodov* [Optoelectronic transducers of large displacements based on hollow optical fibers], Jenergoatomizdat, Moskva.
21. Gudvin, GK, Grebe, SF & Salgado, Mje 2004, *Proektirovanie sistem upravlenija* [Design of control systems], BINOM, Laboratorija znanij, Moskva.
22. Dorf, R & Bishop, R 2002, *Sovremennye sistemy upravlenija* [Modern control systems], Laboratorija znanij, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 12 квітня 2021 року

ГРАДАЦІЇ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ВИПРАВЛЕНОЇ ДИСПЕРСІЇ

©Ламнауер Н.Ю.¹, Пташний О.Д.²,

*Українська інженерно-педагогічна академія¹
Харківський національний автомобільно-дорожній університет²*

Інформація про авторів:

Ламнауер Наталія Юріївна: ORCID: 0000-0002-6779-8761; lamnaouernatali@gmail.com; доктор технічних наук; професор кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженернопедагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Пташний Олег Дмитрович: ORCID: 0000-0001-6123-7253; olegptashniy@gmail.com; кандидат педагогічних наук; доцент кафедри вищої математики; Харківський національний автомобільно-дорожній університет; вул. Я. Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна

Виробництво якісної продукції машинобудування забезпечуються якісними технологіями. Тому питання оцінки технологій є актуальним та потребує наукового розвитку. При виготовленні деталей машин одним з основним критеріїв якості є показник точності лінійного розміру. Від точності розміру виготовлених деталей залежить надійність та довговічність машин. Технології обробки можуть бути різними (різні верстати, різні режими та ін.). Це само по собі означає і різну якість отриманих деталей та, в свою чергу, різну вартість виробництва. Висока якість найчастіше супроводжується збільшенням витрат, що в умовах конкуренції на ринку є не завжди придатним для виробників продукції.

В залежності від потреб ринку стає необхідним використання саме тієї технології, що забезпечує потрібну якість. Створена раніше градація якості технологій, як інструмент оцінки, базується на використанні ймовірносно-статистичної моделі розподілу розмірів. Ця модель має параметри верхньої та нижньої границі розміру, його модальне значення, що виражено з використанням формули ділення відрізка в даному відношенні, та параметр форми.

З використанням графіків показано, що ця модель має три різні форми щільності розподілу при однаковому теоретичному розмаху значень розмірів та при однаковому числі проведених замірів розмірів деталей. По формі кривої щільності розподілу можна визначити якість технології по запропонованій градації.

Запропоновано розрахунок числових характеристики вибірки значень розмірів, а саме виправленої дисперсії, що є незміщеною оцінкою теоретичної дисперсії. За допомогою спостереження за зміною її значення можна оцінити якість технологічного процесу згідно запропонованій градації.

Запропоновані розрахункові формули дають змогу оцінити та спрогнозувати точність технологічного процесу та управляти якістю в машинобудуванні.

Ключові слова: точність, деталь, лінійний розмір, ймовірносно-статистична модель, виправлена дисперсія.

Lamnauer N., Ptashnyi O. «Grading the quality of manufacturing technologies of machine parts based on the assessment of the corrected variance»

Production of quality mechanical engineering products is ensured by quality technologies. Therefore, the issue of technology assessment is relevant and requires scientific development. When manufacturing machine parts, one of the main quality criteria is the accuracy of the linear size.

Reliability and durability of machines depend on the accuracy of the size of the parts produced. Processing technologies can be different (different machines, different modes, etc.). This in itself means different quality of the parts produced and, in turn, different prime cost of production. High quality tends to always be accompanied by increased costs, which in a competitive market is not always suitable for manufacturers.

Depending on the needs of the market, it becomes necessary to use exactly the technology that provides the desired quality. The previously created gradation of technology quality as an assessment tool is based on the use of probabilistic and statistical model of size distribution. This model has the parameters of the upper and lower limits of size, the modal value, which is expressed by the formula for dividing the segment, and the shape parameter.

Using graphs, it is shown that this model has three different forms of distribution density with the same theoretical range of size values and with the same number of measurements of part sizes. According to the graph of the distribution density, you can determine the quality of technology in accordance with the proposed gradation.

The calculation of numerical characteristics of the sample of size values, namely the corrected variance, which is an unbiased estimate of the theoretical variance, is proposed. By observing the change in its value, the quality of the technological process can be assessed according to the proposed gradation.

The proposed calculation formulas make it possible to assess and predict the accuracy of the technological process and manage quality in mechanical engineering.

Keywords: accuracy, machine parts, linear size, probabilistic and statistical model, corrected variance.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями

Будь-яка сфера сучасного людського життя не може обходитися без машин та механізмів. Тому приділення уваги до їх якості є актуальною задачею. Якість продукції машинобудування забезпечується технологіями. Виробнику необхідно контролювати наскільки обрана технологія забезпечує потрібну якість. Тому стає важливим створення інструментів оцінки технологій виготовлення деталей машин. Оцінка якості технологій проводиться по спостереженням за якістю отриманих виробів. Якість деталей характеризується багатьма факторами, кожен з яких впливає на надійність та довговічність машин. Одним з показників якості виробів деталей є точність лінійного розміру. Оцінити наскільки точність розміру відповідає номінальному та знаходиться у межах допуску можливо за допомогою спостереження за вибіркою отриманих деталей, що вироблені за допомогою визначеної технології. Важливим елементом, що використовується для контролю та аналізу якості технологічних процесів є ймовірносно-статистичні моделі розподілу випадкових величин. В нашому випадку цією величиною виступає лінійний розмір деталі. Знаходження для цих моделей оцінок параметрів та числових характеристик дає можливість вирішувати питання аналізу якості технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Рішення задач, що пов'язані з знаходженням оптимального варіанту технології виготовлення виробів машинобудування, є важним аспектом в науковому напрямку розвитку машинобудування. Досягнення максимально можливої якості з мінімальними витратами є важною проблемою. Проблема забезпечення якості виробів турбує як вітчизняних так і закордонних виробників. Існує багато інструментів управління якістю. Так

в [1] розглянута взаємодія контролю та технічного обслуговування обладнання. Контроль якості, як один з інструментів якості, грає важливу роль для моніторингу, аналізу даних для виявлення та рішення проблем виробничих процесів. Такі питання розглянуті в [2-6]. Питання пов'язані з контролем якості на основі побудови контрольних карт розглянуто в [8].

Аналіз сучасних наукових джерел в галузі якості та ефективності машинобудівного виробництва довів, що будь-який інструмент для її досягнення повинен розглядатися в сукупності з мінімізацією витрат [7], в тому числі пов'язану з доцільністю застосованої технології. В [11] було запропоновано використання градації якості обробки за параметром лінійного розміру деталей, яка дає можливість аналізувати якість в залежності від застосованої технології. В [12] на основі градації технологій було запропоновано аналітичні вирази для знаходження значень дисперсії по кожного інтервалу якості для моделі з [9], з параметрами верхньої та нижньої границі розміру, модальним значенням та параметром форми.

Метою роботи є запропонування аналітичних виразів розрахунку виправленої дисперсії для моделі розподілу лінійних розмірів з [10], для ідентифікації інтервалів градації технологій за якістю (висока, середня та низька).

Виклад основного матеріалу

Для аналізу якості технологічного процесу виготовлення деталей за параметром точності лінійного розміру, а також вирішення питань її прогнозування, було введено поняття інтервалів якості [11]:

- 1) інтервал високої якості технологічного процесу обробки;
- 2) інтервал середньої якості;
- 3) інтервал низької якості.

Це поняття ідентифікується через різні форми кривих щільності розподілів випадкової величини – розмірів деталей, для загальної ймовірно-статистичної моделі [10]. Ця модель має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{(1+k) \left[1 - \left(\frac{x-b+q(x-c)}{q(b-c)} \right)^{1/k} \right]}{c-b}, & b \leq x \leq \frac{b+qc}{1+q}; \\ \frac{(1+k) \left[1 - \left(\frac{b-x+q(c-x)}{b-c} \right)^{1/k} \right]}{c-b}, & \frac{b+qc}{1+q} < x \leq c. \end{cases}, \quad (1)$$

де $q = (a-b)/(c-a)$ та $a = (b+cq)/(1+q)$ - модальне значення, b - нижня межа та c - верхня межа розміру, k - параметр форми розмірів.

Ця модель має три різні форми щільності розподілу при однаковому теоретичному розмаху - $c-b$ та при однаковому числі n - лінійних розмірів вироблених деталей.

Графіки щільності розподілу (1) представлені на рис. 1, рис.2, рис.3.

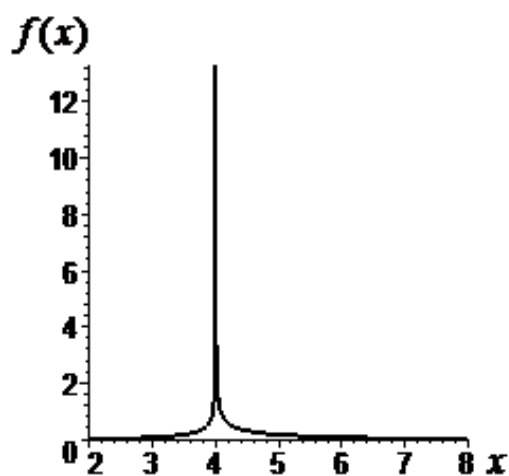


Рис. 1 – Графік щільності розподілу моделі (1) з параметрами $b = 2$, $a = 4$, $c = 8$, для технології високої якості

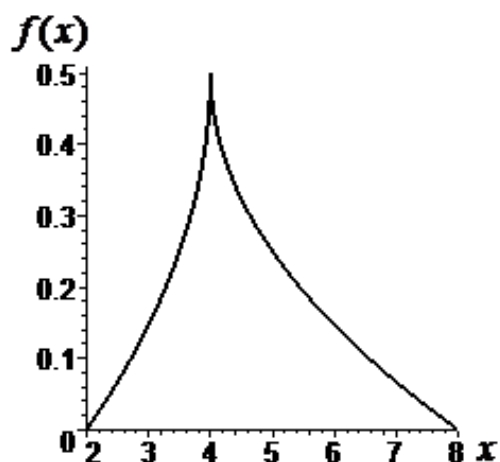


Рис. 1 – Графік щільності розподілу моделі (1) з параметрами $b = 2$, $a = 4$, $c = 8$, для технології, що забезпечує середню якість

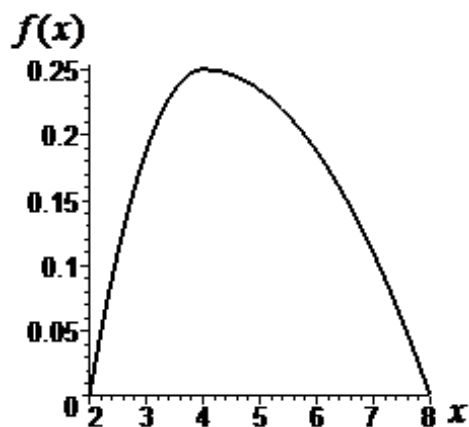


Рис. 1 – Графік щільності розподілу моделі (1) з параметрами $b = 2$, $a = 4$, $c = 8$, для технології, що забезпечує низьку якість

З представлених рисунків видно, що при однакових параметрах $b = 2$, $a = 4$, $c = 8$ для моделі (1) спостерігаються різні форми кривих, які й визначають різні технології та різну якість виготовлення деталей за параметром точності розмірів.

Оскільки точність виготовлення деталей визначається через дисперсію випадкової величини розміру деталей, то була знайдена формула для розрахунку дисперсії випадкової величини - розміру для моделі (1), яка має вигляд:

$$D(X) = \frac{(c-b)^2 (k+1)(2k^2q + 7k^2 + 7k^2q^2 + (4k+1)(q+1)^2)}{12(2k+1)^2(1+q)^2(3k+1)}. \quad (2)$$

За цією формулою були знайдені дисперсії розмірів деталей при трьох технологіях: $D_1(X) = 0,698$, $D_2(X) = 1,354$, $D_3(X) = 1,838$.

Функція розподілу для моделі (1), що дозволяє знаходити ймовірність влучення випадкової величини в заданий інтервал, має вигляд:

$$F(x) = \begin{cases} \frac{k \left[\frac{b-x+q(c-x)}{q(c-b)} \right]^{1/k} (b+qc-x-xq)}{(1+q)(c-b)} + \\ + \frac{[(1+q)(x-b+kx) - k(b+qc)]}{(1+q)(c-b)}, & b \leq x \leq \frac{b+qc}{1+q}; \\ \frac{k \left[\frac{b-x+q(c-x)}{c-b} \right]^{1/k} (b+qc-x-xq)}{(1+q)(c-b)} + \\ + \frac{[(1+q)(x-b+kx) - k(b+qc)]}{(1+q)(c-b)}, & \frac{b+qc}{1+q} < x \leq c. \end{cases} \quad (3)$$

Знайдемо частку виробів, що потрапили в інтервал $[3; 6]$ для моделей розподілів, що були представлені на рис.1, рис.2, рис.3 з параметрами $b = 2$, $a = 4$, $c = 8$ з використанням формули (3). Отримано для моделі розподілу значень розмірів з високою якістю технологічного процесу виготовлення деталей - $P_1 = 0,9142$. Для моделі середньої якості технологічного процесу - $P_2 = 0,7929$. Для моделі розподілу значень розмірів з низькою якістю технологічного процесу виготовлення деталей - $P_3 = 0,6875$.

Аналіз рисунків довів, що найбільш висока точність обробки спостерігається при першій технології на рис.1, де $D(X) = 0,698$. Тому модель (1) є моделлю технологічного процесу високої якості виготовлення деталей за точністю лінійного розміру. Щільність розподілу цієї моделі є дві вгнуті криві та значення щільності в моді уявляє нескінченно велике число. Технологія виготовлення за рисунком 2, де значення $D(X) = 1,354$ уявляє собою модель середньої якості технологічного процесу обробки деталей. У цієї моделі дві криві також вгнуті, але значення щільності в моді є кінцеве число. При даних параметрах $b = 2$, $a = 4$, $c = 8$, на рисунку 3, де $D(X) = 1,838$ - є самою великою дисперсією. Тут графік щільності розподілу уявляє собою дві випуклі криві та значення щільності в моді є граничне число. В цьому випадку модель (1) уявляє собою модель низької технологічної якості обробки за параметром точності лінійного розміру.

Наведені приклади підтверджують необхідність введення градацій якості технологічних процесів виготовлення деталей. Аналіз цих процесів дозволить вивчати їх тривання, прогнозувати зміни та за допомогою виявлених закономірностей оптимально управляти ними.

Для проведення аналізу якості технологічного процесу необхідно визначити як та коли проходить перехід процесу в іншу градацію якості. Для цього необхідно знати інтервали зміни числових характеристик для кожного з видів запропонованих градацій технологічних процесів. Визначимо границі зміни експериментальної характеристики точності через теоретичні значення параметрів моделі (1). Незміщеною оцінкою теоретичної

дисперсії $D(X)$ є виправлена дисперсія $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^r (x_i - \bar{x})^2 n_i$, де x_i - варіанта вибірки, n_i - частота варіанти, $n = \sum_{i=1}^r n_i$ - об'єм вибірки, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r x_i n_i$ - вибіркова середня.

Зазначимо, що для моделі (1) поправочний коефіцієнт для незміщеної оцінки середнього квадратичного відхилення не знайдено. Тому використовується виправлена дисперсія для розв'язання поставленої задачі.

Отримаємо наступний інтервал вибіркової дисперсії, що знайдений через лінійні теоретичні параметри, який має вигляд:

$$0 < S^2 < \frac{(c-b)^2(7q^2 + 2q + 7)}{144(1+q)^2}. \quad (4)$$

Для моделі середньої якості технологічного процесу виготовлення деталей за параметром лінійного розміру інтервал вибіркової дисперсії, що виражено через лінійні теоретичні параметри, має вигляд:

$$\frac{(c-b)^2(7q^2 + 2q + 7)}{144(1+q)^2} \leq S^2 < \frac{(c-b)^2(q^2 + q + 1)}{18(1+q)^2} \quad (5)$$

Модель низької якості технологічного процесу за параметром точності лінійного розміру має інтервал виготовлення деталей, що представлено у вигляді:

$$\frac{(c-b)^2(q^2 + q + 1)}{18(1+q)^2} < S^2 < \frac{(b-c)^2}{12}. \quad (6)$$

Висновки

1. Отримані розрахункові формули (4), (5), (6) дозволяють в процесі виробництва визначити точність технологічного процесу виготовлення деталей за параметром лінійного розміру.

2. Отримані значення виправленої дисперсії дозволяють проводити оцінку та градацію якості технологічного процесу виготовлення деталей за параметром точності лінійного розміру.

3. Результати досліджень дозволять спрогнозувати кількість якісних деталей та контролювати процес у часі.

Список використаних джерел:

1. Kurniati N. Quality inspection and maintenance: the Framework of interaction / N. Kurniati, R. HueiYeh, J. JangLin // *Procedia Manufacturing*. – 2015. – Vol. 4 – P. 244-251.
2. Abdullah M. M. The influence of ST and HT quality management practices on performance / M. M. Abdullah, J. J. Tari // *Asian pacific management review*. – 2012. – Vol. 17, № 2. – P. 177-193.
3. Costa M. Simultaneous consideration of TQM and ISO 9000 on performance and motivation: an empirical study of Spanish companies / M. Costa, A. Lorentes, T. Choi // *International Journal of Production Economics*. – 2008. – № 113. – P. 23-39.

4. Samson D. The relationship between total Quality management practices and operational performance / D. Samson, M. Terziovski // *Journal of Operations Management*. – 1999. – Vol. 17, № 4. – P. 393–409.
5. Wei Jiang. Integrating SPC and EPC Methods for Quality Improvement / Jiang Wei, John V. Farr // *Quality Technology & Quantitative Management*, – 2007. – Vol. 4, № 3. – P. 345–363.
6. Zhang Z. An instrument for measuring TQM implementation for Chinese manufacturing companies / Z. Zhang, A.B. Waszink, J. Wijngaard // *International Journal of Quality & Reliability Management*. – 2000. – Vol. 17, № 7. – P. 730–755.
7. Razzhivina M. A. *Application of information technologies and principles of lean production for efficiency improvement of machine building enterprises* / M. A. Razzhivina, B. A. Yakimovich, A. I. Korshunov // *Machine building enterprises. Pollack Periodica*. – 2015. – Vol. 10 (2). – P. 17–23.
8. Варнаков Д. В. Применение контрольных карт Шухарта в системах измерения параметров / Д. В. Варнаков, М. А. Афонин // *Аграрный научный журнал*. – 2018. – № 2. – С. 54–58
9. Ламнауер Н. Ю. Модель распределения размеров изделий и ее применение для оценки точности обработки / Н. Ю. Ламнауер // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Темат. випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях : зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 27. – С. 98–107.
10. Ламнауер Н. Ю. Загальна модель розподілу лінійних розмірів деталей та її застосування для поліпшення якості виробів / Н. Ю. Ламнауер // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Темат. випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях : зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – № 54. – С. 134–143.
11. Ламнауер Н. Ю. Про інтервали якості при оцінці технологій виготовлення виробів за параметром точності лінійного розміру / Н. Ю. Ламнауер, О. Д. Пташний, Г. С. Бобрицька // *Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад.* – Харків, 2019. – № 24. – С. 86–91.
12. Ламнауер Н. Ю. Про оцінку точності технологій виготовлення деталей за параметром лінійного розміру / Н. Ю. Ламнауер // *Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад.* – Харків, 2020. – № 25. – С. 114–120.

References:

1. Kurniati, N, HueiYeh, R & JangLin, J 2015, 'Quality inspection and maintenance: the Framework of interaction', *Procedia Manufacturing*, vol. 4, pp. 244-251.
2. Abdullah, M & Tari, J 2012, 'The influence of ST and HT quality management practices on performance', *Asian pacific management review*, vol. 17, no. 2, pp. 177-193.
3. Costa, M, Lorentes, A & Choi, T 2008, 'Simultaneous consideration of TQM and ISO 9000 on performance and motivation: an empirical study of Spanish companies', *International Journal of Production Economics*, no.113, pp. 23-39.
4. Samson, D & Terziovski M 1999, 'The relationship between total Quality management practices and operational performance', *Journal of Operations Management*, vol. 17, no. 4, pp. 393-409.
5. Jiang, W & Farr, J 2007, 'Integrating SPC and EPC Methods for Quality Improvement', *Quality Technology & Quantitative Management*, vol. 4, no. 3, pp. 345-363.
6. Zhang, Z, Waszink, A & Wijngaard, J 2000, 'An instrument for measuring TQM implementation for Chinese manufacturing companies', *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol.17, no.7, pp.730-755.
7. Razzhivina, M, Yakimovich, B & Korshunov, A 2015, 'Application of information technologies and principles of lean production for efficiency improvement of machine building enterprises', *Machine building enterprises. Pollack Periodica*, vol. 10 (2), pp. 17-23.
8. Varnakov, D & Afonin, M 2018, 'Primenenie kontrolnykh kart Shukharta v sistemakh izmereniya parametrov', *Agrarny nauchny zhurnal*, no. 2, pp. 54-58.
9. Lamnauer, N 2012, 'Model raspredeleniya razmerov szdeliy i yeye primeneniye dlya ocenki tochnosti obrabotki', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Seriya Matematychno modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, Kharkiv, no. 27, pp. 98-107.
10. Lamnauer, N 2013, 'Zagalna model raspredeleniya liniynih rozmiriv detaliy ta yiyi zastosuvannya dlya polipshennya yakosti virobiv', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Seriya Matematychno modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, Kharkiv, no. 54, pp. 134-143.
11. Lamnauer, N & Ptashnyi, O & Bobrytska, H 2019, 'Pro intervaly yakosti pry otsyntsi tekhnolohii vyhotovlennia virobiv za parametrom tochnosti liniinoho rozmiru', *Mashynobuduvannia*, Ukrainaska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 24, pp. 86-91.
12. Lamnauer, N 2020, 'Pro otsinku tochnosti tekhnolohii vyhotovlennia detalei za parametrom liniinoho rozmiru', *Mashynobuduvannia*, Ukrainaska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 25, pp. 114-120.

Стаття надійшла до редакції 12 травня 2021 року

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЗИЦІОНУВАННЯ І КОНТРОЛЮ ВАНТАЖУ СТІЛОВОГО САМОХІДНОГО КРАНА

©Подольак О.С., Староста Ж.С., Аненко К.К.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Подольак Олег Степанович ORCID: 0000-0002-1477-8548; podoliak15os@gmail.com; завідувач кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Староста Жанна Степанівна ORCID: 0000-0002-6656-3602; starostazanna@gmail.com; аспірантка кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Аненко Костянтин Костянтинович ORCID: 0000-0002-3103-4786; lorenkotcastiel@gmail.com; аспірант кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Стаття спрямована на пошук найбільш ефективного методу зменшення розгойдування стрілового самохідного крана при різних режимах роботи. Для цього було виконано огляд сучасної опублікованої літератури зарубіжних і українських видань та патентних досліджень.

Розглянуто класифікацію способів зменшення розгойдувань вантажу на гнучкому підвісі при роботі вантажопідійомних кранів. Наведені результати досліджень спрямовані на ефективне розв'язання питань коливання вантажу, що залежать від зовнішніх і внутрішніх впливів, таких як пориви вітру, швидкість і прискорення механізмів і. т. д. Відзначено, що особлива увага приділяється управлінню зі зворотнім зв'язком, що може зменшити коливання корисного навантаження. Також звернуто увагу на проблему горизонтальних коливань, розв'язання якої є можливим з використанням закону контролю, заснованого на лінеаризованій моделі. Розглянуто математичну модель стрілового крана, що враховує всі ступені свободи, а також нелінійний закон управління, який використовує кожен стан моделі для керування крана в бік бажаного еталона. Також розглянуто гасіння сферичних коливань, яке відбувається за рахунок компенсувальних рухів стріли. Висвітлено винахід, принципом дії якого є гіроскопічний ефект. Розглянуто спосіб управління за допомогою приводів механізмів крана. Проаналізовано роботу контролера, у якому управління зі зворотнім зв'язком поєднується з формуванням вхідних сигналів. Також представлено структурну схему загальної системи управління цього контролера. Обраний оптимальний напрям контролю розгойдування вантажу на стрілі крана.

Встановлено, що в більшості розглянутих досліджень увага приділялася, переважно, проблемі розгойдування і контролю позиціонування на кранах мостового типу. Стрілові самохідні крани в цьому напрямку найменш досліджені об'єкти.

Ключові слова: стріловий кран; розгойдування вантажу; система зворотного зв'язку; позиціонування; управління коливаннями.

Podoliak O., Starosta Zh., Anenko K. "Review of the status of the issue of ensuring the positioning and control of the load of the self-propelled jib crane".

The article is aimed at finding the most effective method to reduce the swaying of a boom mobile crane under different modes of operation. For this purpose, a review of modern published literature of foreign and Ukrainian publications and patent studies has been performed.

The classification of methods of reducing the swaying of the cargo on the flexible suspension during the work of hoisting cranes has been reviewed. The results of research are aimed at an effective solution to the problem of cargo swaying, which depends on external and internal influences such as wind gusts, speed and acceleration of mechanisms, etc. It is noted that special attention is paid to control with feedback, which can reduce the oscillation of the payload. Attention is also drawn to the problem of horizontal oscillations, which can be solved by means of using the control law based on a linearized model. The mathematical model of the jib crane, taking into account all degrees of freedom, as well as a nonlinear control law that uses each state of the model to control the crane toward the desired benchmark is considered. The extinguishing of spherical oscillations, which occurs due to compensating movements of the boom, has been also considered. The invention of the gyroscopic effect is covered. The way of controlling with the help of crane mechanism drives has been reviewed. The operation of the controller in which feedback control is combined with the formation of input signals has been analyzed. A block diagram of the general control system of this controller has been also presented. The optimal direction of controlling the swing of the cargo on the boom of the crane has been chosen.

In the conclusions, it was found that most of the examined studies focus mainly on the problem of swaying and positioning control on overhead cranes. Boom mobile cranes are the least studied objects in this direction.

Keywords: jib crane; cargo swing; feedback system; positioning; oscillation control.

Актуальність

Підйомні механізми з вантажозахоплювальним пристроєм на стрілі набули широкого розповсюдження і застосовуються при будівництві промислових об'єктів, торгових центрів, багатоповерхових будівель різного призначення. Оскільки стрілові крани є досить мобільними і мають хорошу вантажопідйомність їх можна використовувати у важкодоступних місцях. У сучасних умовах необхідні стрілові крани, які зможуть забезпечити точне позиціонування вантажу в задану точку з найменшим розгойдуванням.

Відомо, що розгойдування вантажу на стрілі крану є небезпечним та важкоуловним процесом. Через довготривалий процес вирівнювання вантажу темп робіт та продуктивність зменшується. Різноманітні способи зменшення коливань вантажу на вантажному підвісі стрілового крану можуть значно вплинути на підвищення продуктивності робіт, що виконуються, та забезпечити додаткову безпеку.

Колівання викликаються як навмисними рухами, керованими людиною - оператором, так і зовнішніми чинниками, що є основним обмеженням. Спроби оператора усунути проблему коливання вручну часто є важкими, особливо якщо кран демонструє нелінійну поведінку або в разі, коли оператор має обмежену видимість корисного навантаження. Так само канати вантажного підвісу мають властивість скручуватися і розкручуватися при коливаннях в різних площинах, а це в свою чергу призведе до передчасного зносу і навіть обриву.

Акцентуємо на потребі у системі управління, яка може ефективно контролювати розгойдування корисного навантаження під впливом команд оператора та зовнішніх чинників.

Мета - виконати огляд опублікованих джерел, наявних способів зменшення розгойдування вантажу і позиціонування вантажопідйомних кранів.

Огляд стану питання

Велика кількість дослідників з різних країн [1, 2, 3, 4, 9] займалася питанням щодо зменшення розгойдування вантажу на гнучкому підвісі і зниження динамічних навантажень.

Так, у роботі [1] схематично розглянута класифікація способів зменшення розгойдувань вантажу на гнучкому підвісі.

Сутність роботи ж полягає в теоретичному дослідженні деяких шляхів зменшення розгойдування вантажу на просторовому канатному підвісі при роботі механізму повороту стрілових кранів і вплив схеми запасовки підйомних канатів на навантаження на кран від вантажу, що розгойдується на канатах[1].

Також у роботі [1] запропонована методика побудови штучних характеристик двигуна при контролерному керуванні, при яких виходять найменші відхилення центру ваги вантажу від положення рівноваги.

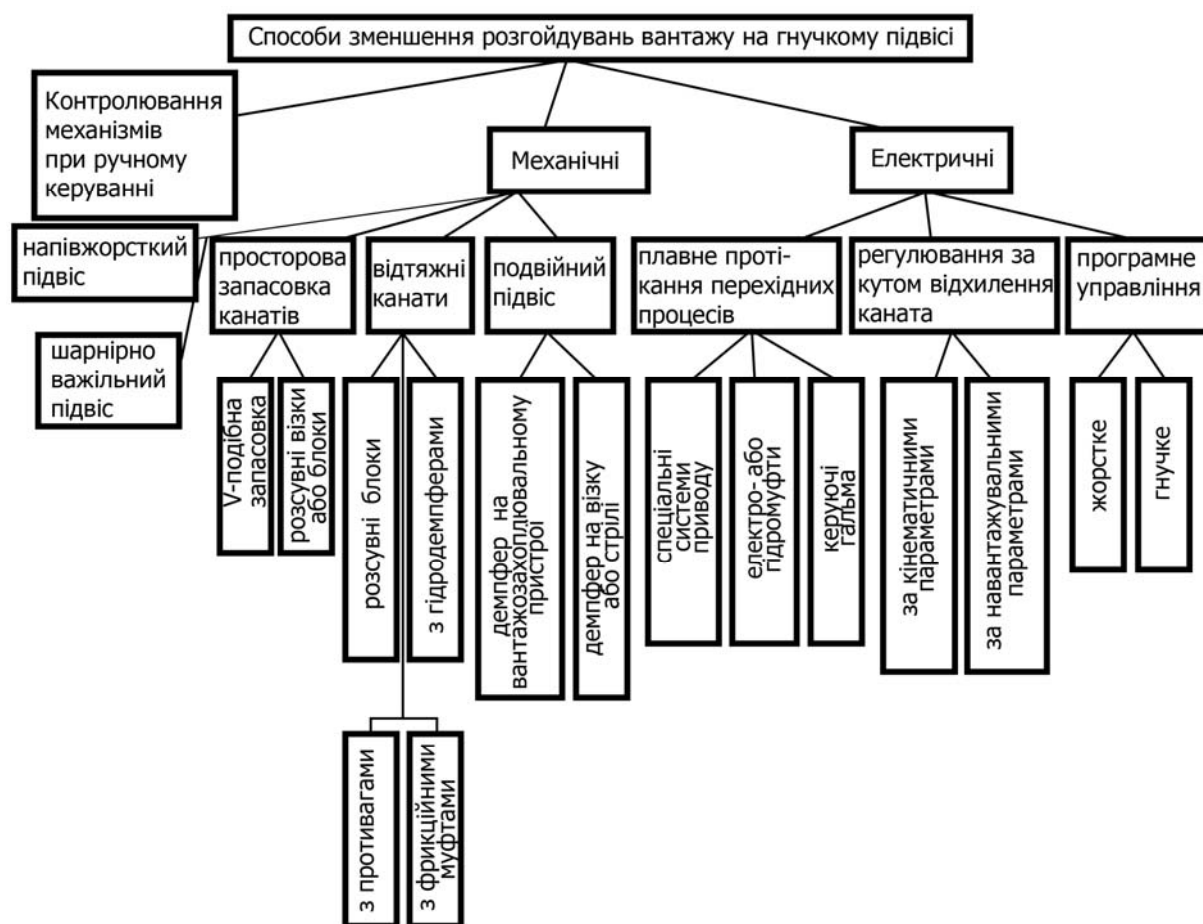


Рис.1 – Класифікація способів зменшення розгойдувань вантажу на гнучкому підвісі при роботі вантажопідйомних кранів

У роботі[1] визначено, що при коливаннях вантажу на підвісі за схемою I відбувається перерозподіл натягу в канатах і при відповідних умовах може відбутися ослаблення одного з них. Отримано формули для розрахунку навантажень на кран від розгойдуваного на канатах вантажу, які враховують схему підвісу вантажу і його інерційні характеристики. Показано, що ефективним засобом зменшення відхилення центру ваги вантажу від положення рівноваги може бути для схеми I рознесення канатів у верхніх точках. Розроблено програму

розрахунку на ЕОМ відхилень центру ваги вантажу і навантажень на кран від розгойдуваного на канатах вантажу.

Однак у роботі основна увага приділялася дослідженню стрілових систем тільки з просторовим підвісом вантажу. Також не розглядались електронні системи керування перехідними процесами.

У [2] роботі була запропонована комбінація формування команд і управління зі зворотнім зв'язком, яка може зменшити коливання корисного навантаження. Пристрій для формування вхідного сигналу усуває коливання вантажу, викликані командами оператора, а контролер зворотного зв'язку знижує вплив поривів вітру. Моделювання великого діапазону рухів використовується для аналізу динамічної поведінки стрілових кранів за допомогою запропонованого контролера [2]. Однак у роботі приділено велику увагу лише розгойдуванню під впливом зовнішнього навантаження від поривів вітру.

У роботі [3] для зменшення горизонтальних коливань вантажу знайдено оптимальний закон контролю зворотного зв'язку по станах, що заснований на лінеаризованій моделі.

У статті [4] запропонована докладна математична модель стрілового крана, що враховує всі ступені свободи (DoFs), які характеризують цей тип системи (тобто два повороти, довжина каната і кути повороту корисного навантаження). Незважаючи на всю складність моделі, спроектовано нелінійний закон управління, який використовує всі стани моделі для управління крана в бік бажаного еталона[4].

Також було проаналізовано винаходи або способи, які сприяють зменшенню коливань.

У винаході [5] управління являє собою гасіння сферичних коливань вантажу за рахунок відповідних компенсувальних рухів стріли під час і в кінці кожного маневру. Це показано на рис. 2, на якому зображені зустрічні рухи, що виконуються кінцем стріли, які протидіють коливанням вантажу. У результаті кут нахилу каната може бути обмежений до менше 3° .

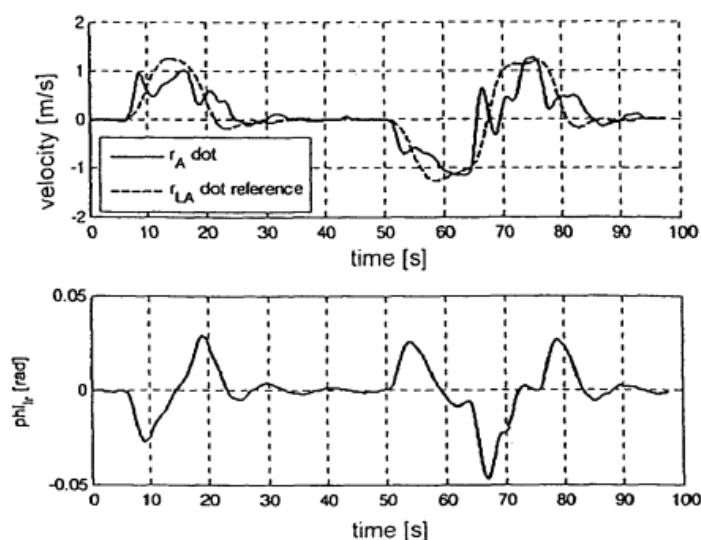


Рис.2 – Швидкість оголовка стріли порівняно з бажаною швидкістю навантаження і радіальним кутом каната, що виникає в результаті руху

Час розрахунку, необхідний для онлайн-розрахунку завдання оптимального рішення в модулі планування шляху, показано на рис. 3. Отриманий час розрахунку становить від 54 мсек до 66 мсек., що є вирішальним для цієї надзвичайно короткої реакції планування шляху на специфікації машиніста крана, та є швидка розв'язність через подальший лінійний шлях

нелінійного управління і нелінійної кранової системи, а також довжини, що збільшується, інтервали між контрольними точками прогнозу в межах горизонту прогнозування.

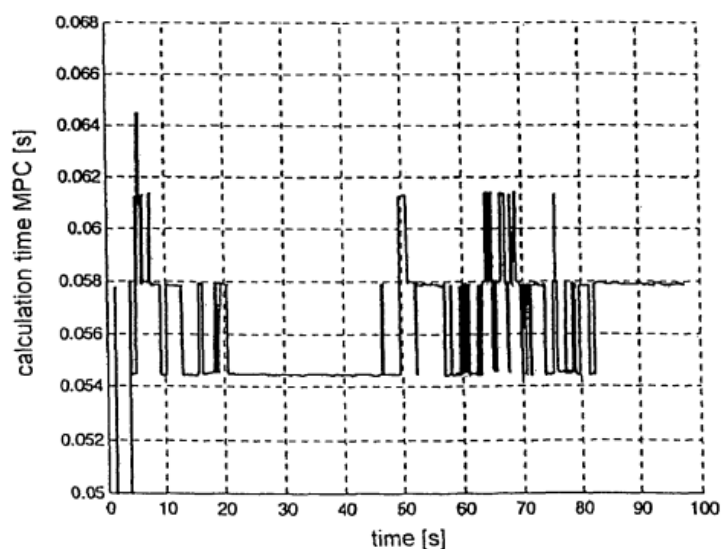


Рис. 3 – Час, необхідний для обчислення бажаних траєкторій

Винахід [6] забезпечує надійний та ефективний керівний процес для управління коливанням вантажу, підвішеному до точки, якою можна управляти у трьох вимірах з обертовим стріловим краном.

Принципом дії винаходу [7] є гіроскопічний ефект. Через розширення конструктивних особливостей підвищується ефективність гасіння коливань у двох взаємно вертикальних площинах. Результат досягається наявністю в пристрої горизонтальної та вертикальної рам з асинхронним двигуном, установленим в останній.

Відомий спосіб управління і захисту вантажопідіймальних кранів можна описати так: якщо в момент відриву ваги від землі канати, на яких висить вантаж, що не займає вертикального положення і починається розгойдування, приводи механізмів крана відключаються з незначною витримкою часу, призначеною для виключення впливу динамічних перешкод [8]. Недоліком цього способу є те, що динаміка вантажу, що переміщується, не враховується. Коливання вантажу мають низьку частоту, відфільтрувати яку неможливо.

Контролер в статті [9] був розроблений з урахуванням властивостей позиціонування і пригнічення коливань шляхом об'єднання управління зі зворотним зв'язком з формуванням вхідних сигналів. Елемент управління складається з окремих модулів, об'єднаних в єдину архітектуру управління. Кожен модуль призначений для управління одним аспектом роботи крана. Модуль управління зі зворотним зв'язком використовується для позиціонування корисного навантаження в бажаному місці, у той час як інший модуль зворотного зв'язку відхиляє перешкоди. Формування входу використовується в третьому модулі, щоб мінімізувати коливання, викликані рухом.

Описана в статті [9] система управління генерує команди опорної швидкості, які при видачі на нелінійний привід і двигуни досягають трьох бажаних результатів у корисному навантаженні: (1) точного позиціонування; (2) пригнічення коливань, викликаних рухом; і (3) усунення перешкод. Структурна схема загальної системи управління показана на рис. 4.

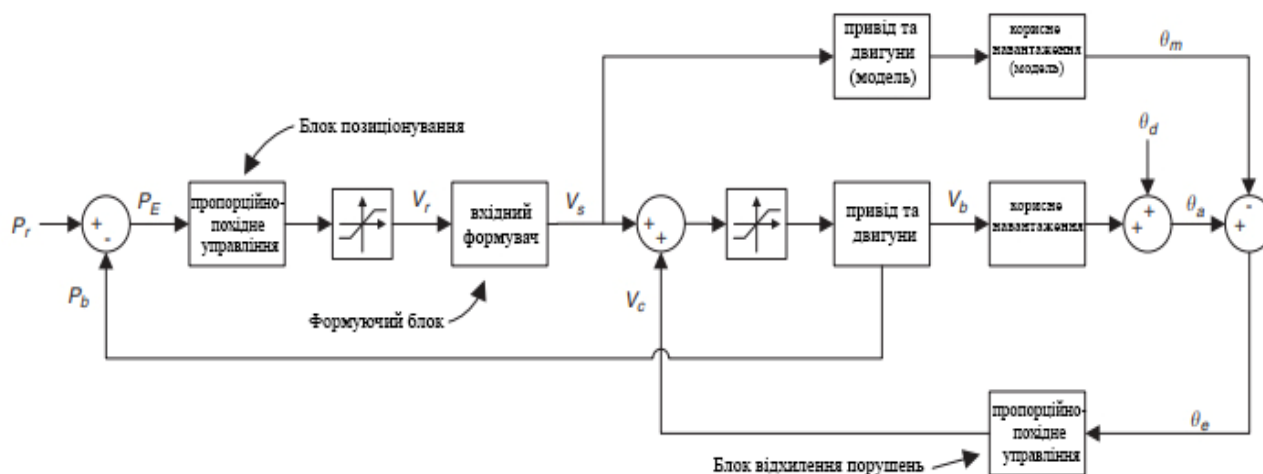


Рис. 4 – Комбінований контролер формування, позиціонування та відхилення порушення спокою

Модуль позиціонування контролює стан корисного навантаження по осі моста. Необхідне положення видається в контролер як опорний сигнал місця розташування, P_r .

Формувальні команди спочатку надсилаються на привід і двигуни, потім реакція приводу і двигунів приводить в дію корисне навантаження.

Модуль управління був розроблений для усунення розгойдування канату, викликаного зовнішніми перешкодами, що діють на корисне навантаження, такими як вітер. Придушення перешкод досягається за рахунок використання системи машинного зору для забезпечення сенсорного зворотного зв'язку фактичного кута нахилу канату θ_a . Ця інформація використовується в блоці PD для генерації команд швидкості, які гасять руйнівні коливання.

Висновки

Провівши аналіз праць та винаходів, націлених на розв'язання питання коливань вантажу на підвісі стрілового крана можна визначити, що більшість досліджень були спрямовані на зменшення розгойдування кранів мостового типу, стріловим самохідним кранам було приділено мало уваги. У наявних дослідженнях не враховуються всі чинники, які впливають на динамічний процес формування зусиль при роботі механізму підйому і повороту крана, а також позиціонування вантажу. Встановлено, що перспективним напрямом є керування приводом і розроблення оптимального нелінійного закону керування, який враховує всі ступені свободи цієї системи і всі стани моделі для керування крана в бід бажаного еталона.

Список використаних джерел:

1. Казаков Н. И. Уменьшение раскачиваний груза на пространственном канатном у и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов ркподвесе при работе механизма поворота стреловых кранов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. И. Казаков. – Л. : ЛПИ, 1984.
2. Huang J. Dynamics and swing control of mobile boom cranes subject to wind disturbances / J. Huang, E. Maleki, W. Singhose // IET Control Theory and Applications. – 2013. – Vol. 7, No. 9. – P. 1187–1195.

3. Kondo R. Anti-sway control of a rotary crane via switching feedback control / R. Kondo, S. Shimahara // *Control Applications : proceedings of the IEEE International Conference*. – 2004. – Vol. 1. – P. 748–752. doi:10.1109/CCA.2004.1387303.
4. Modeling and control of a 5-dof boom crane / M. Ambrosino, M. Berneman, G. Carbone, A. Dawans, E. Garone // *ISARC : proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (2020, Kitakyushu, Japan)*. – Kitakyushu, 2020. – Pp*.
5. Crane control, crane and method : Pat.no.: US8025167B2. Appl. No.: 12/152.717. Filed: Mar 16, 2008. Date of Patent: Sep. 27, 2011.
6. Anti-sway control for rotating boom cranes: Pat.no.: US5961563A. Appl. No.: 08/786,275. Filed: Jan. 22, 1997. Date of Patent: Oct. 5, 1999.
7. Устройство для гашения колебаний груза, подвешенного на канате строительного крана : пат. 2280607 РФ № 2004115124/11/ Л. А. Голдобина, А. П. Орлов, П. С. Орлов ; заявл. 19.05.2004 ; опубл. 27.07.2006. – Бюл. № 21.
8. Способ управления грузоподъемными механизмами с фиксацией их характеристик и устройство для его осуществления : пат. 2116240 РФ № 97104942/28 / Э. А. Казаков, В. В. Свиридов, И. С. Ходячих, С. В. Орлов, В. С. Котельников, М. Н. Чумак-Жунь, С. И. Галанов, С. С. Самойлов ; заявл. 31.03.1997 ; опубл. 27.07.1998.
9. Sorensen K. A Controller Enabling Precise Positioning and Sway Reduction in Bridge and Gantry Cranes / K. Sorensen, W. Singhose, S. Dickerson // *Control Engineering Practice*. – 2007. – Vol. 15. – P. 825–837. doi:10.1016/j.conengprac.2006.03.005.

References:

1. Kazakov, NI 1984, 'Umen'sheniye raskachivaniy gruzha na prostranstvennom podvese pri rabote mekhanizma povorota strelovykh kranov', *Kand.tekh.n. abstract, Leningradskij politehnicheskij institut, Leningrad*.
2. Huang, J, Maleki, E & Singhose, W 2013, 'Dynamics and swing control of mobile boom cranes subject to wind disturbances', *IET Control Theory and Applications*, vol. 7, no. 9, pp. 1187-1195.
3. Kondo, R & Shimahara, S 2004, 'Anti-sway control of a rotary crane via switching feedback control. Control Applications', *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference*, vol. 1, pp. 748-752.
4. Ambrosino, M, Berneman, M, Carbone, G, Dawans, A & Garone, E 2020, 'Modeling and control of a 5-dof boom crane', *ISARC Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Kitakyushu*.
5. *Crane control, crane and method* 2008, US Patent 8025167B2.
6. *Anti-sway control for rotating boom cranes* 1997, US Patent 5961563A.
7. Goldobina, LA, Orlov, AP & Orlov, PS 2006, *Ustroystvo dlya gasheniya kolebaniy gruzha, podveshennogo na kanate stroitel'nogo krana*, RF Patent 2280607, no. 2004115124/11.
8. Kazakov, EA, Sviridov, VV, Khodyachikh, IS, Orlov, SV, Kotelnikov, VS, Chumak-Zhun, MN, Galanov, SI, Galanov, SI & Samoylov, SS 1998, *Sposob upravleniya gruzopodnyimi mekhanizmami s fiksatsiyey ikh kharakteristik i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya*, RF Patent 2116240, no. 97104942/28.
9. Sorensen, K, Singhose, W & Dickerson, S 2007, 'A Controller Enabling Precise Positioning and Sway Reduction in Bridge and Gantry Cranes', *Control Engineering Practice*, vol. 15, pp. 825-837.

Стаття надійшла до редакції 21 травня 2021 року.

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВАНТАЖНОЇ СТІЙКОСТІ СТРІЛОВОГО САМОХІДНОГО КРАНА

©Подольак О.С., Аненко К.К., Староста Ж.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Подольак Олег Степанович ORCID: 0000-0002-1477-8548; podoliak15os@gmail.com; завідувач кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Аненко Костянтин Костянтинович ORCID: 0000-0002-3103-4786; lorenkotcastiel@gmail.com; аспірант кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Староста Жанна Степанівна ORCID: 0000-0002-6656-3602; starostazanna@gmail.com; аспірантка кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Стаття спрямована на пошук найбільш ефективного методу підвищення вантажної стійкості стрілового самохідного крана. Увагу приділено огляду літературних джерел та патентів. Розглянуто метод підвищення стійкості до перекидання гусеничних кранів, де використовуються рухомі противаги. Показано, що стабільна область положення рухомих противаг суттєво змінюється залежно від конфігурації крана та маси його корисного навантаження. В іншому випадку для підвищення безпечності введено два індекси. Визначено, що знаходження сили опори є ефективним засобом запобігання перекидання мобільного крана або виходу з ладу опори. Представлено механічну модель автокрана. Розглянуто спосіб підвищення стійкості до перекидання мобільного крана з врахуванням коливання корисного навантаження. Корисність цих кранів значно покращується, якщо вони можуть використовувати свою мобільну базу під час підйому та перенесення фаз експлуатації. Представлено принципову схему мобільного стрілового крана, що використовується для статичного аналізу. Також показано залежності максимально можливого корисного навантаження від кута повороту. Розглянуто варіант підйомного самохідного крана та спосіб його експлуатації, де є можливість знизити повну вагу противаги порівняно з іншими кранами такої ж вантажопідйомності. Наведено схему підйомного самохідного крана. Виявлено недостатню кількість досліджень спрямованих на розвиток та вдосконалення вантажної стійкості стрілових самохідних кранів. Знайдено перспективу подальшого вивчення питання щодо покращення конструкції противаги шляхом корегування зміни положення противаги залежно від маси корисного навантаження і урахування зовнішніх чинників.

Ключові слова: стріловий самохідний кран; вантажна стійкість; конструкція противаги; виносні опори; перекидання крана.

Podoliak O., Anenko K., Starosta Zh. "Review of the status of the issue of ensuring the load stability of the self-propelled jib crane."

The article is aimed at finding the most effective method to increase the load stability of a self-propelled jib crane. Attention is paid to the review of literature sources and patents. The

method of increasing the resistance to overturning of crawler cranes, where movable counterweights are used, is considered. It is shown that the stable region of the position of the movable counterweights varies significantly depending on the configuration of the crane and the mass of its payload. Otherwise, two indexes have been introduced to increase security. It is determined that finding the support force is an effective means of preventing the mobile crane from tipping over or the support from failing. A mechanical model of a truck crane is presented. The method of increasing the resistance to overturning of the mobile crane considering the fluctuations of the payload is considered. The utility of these cranes is greatly improved if they can use their mobile base during lifting and transfer of operation phases. The schematic diagram of a mobile jib crane used for static analysis is presented. The dependences of the maximum possible payload on the angle of rotation are also shown. The variant of the self-propelled crane and a way of its operation where there is a possibility to reduce full weight of a counterweight in comparison with other cranes of the same loading capacity are considered. The scheme of the self-propelled crane is offered. It is determined that the insufficient number of studies is aimed at the development and improvement of load stability of jib cranes. The prospect of further improvement of the counterweight design by adjusting the change in the position of the counterweight depending on the payload and taking into account external factors is outlined.

Keywords: self-propelled jib crane; cargo stability; counterweight design; remote supports; overturning the crane.

Актуальність

Вантажні підйомні крани є невід'ємною частиною сучасного будівництва, особливо багатопверхових будівель. Тому є важливим приділити велику увагу безпечності, вантажній стійкості, мобільності та удосконаленню конструкцій вантажопідйомних кранів.

Частою проблемою є перекидання стрілових самохідних кранів. Вантаж, який піднімає кран намагається перекинути його. Це відбувається з таких причин: перевищення допустимих норм маси вантажу, які встановив виробник; недостатня маса противаги; робота в умовах з сильними поривами вітру техніки, стійкість якої недостатня для проведення цих робіт; виконання вантажопідйомних дій без встановлення виносних опор або неправильне їх встановлення; неправильна підготовка площі для встановлення крану, потрібно виключити ймовірність просідання ґрунту; переміщення машини з підвішеним вантажем. Наслідком перекидання є повне руйнування крана, який далі неможливо відновити, додатково до цього, знищення майна та каліцтво людей.

Відповідно до [1] складові частини противаги і баласту мають бути закріплені або укладені в кожух для запобігання їх падінню та для унеможливлення зміни встановленої маси. У разі застосування для противаги або баласту дрібного штучного вантажу він вміщується в металевий ящик, влаштований так, щоб унеможливорювалися попадання в нього атмосферних опадів і втрата вантажу; застосовувати для противаги або баласту пісок, гравій і щебінь не дозволяється; на кранах стрілового типу як баласт і противага мають бути передбачені інвентарні марковані вантажі, виготовлення й укладання яких здійснюється за кресленнями розробника крана; Пересувні противаги мають переміщуватися автоматично зі зміною вильоту або мати видимий машиністу показник положення противаги залежно від вильоту.

Метою статті є проведення розгляду опублікованих джерел та способів підвищення вантажної стійкості стрілових самохідних кранів.

Основна частина

Противагу на крані забезпечують урівноважувальні сили, щоб кран не перекидався під час піднімання та переміщення важкого вантажу. Рухливі противаги мають низку переваг з точки зору ваги, мобільності і простоти використання в порівнянні з аналогічними кранами з фіксованими противагами. Кран з рухомими противагами використовує меншу загальну масу для власної противаги, оскільки він може переміщувати вантаж в різні місця для врівноваження вантажу. З огляду на меншу масу противаги, кран легше переміщувати як з одного робочого майданчика на інший, так і на будь-якому конкретному робочому майданчику. Рухомі противаги також спрощують роботу, оскільки не потрібно додавати і знімати масу противаги, оскільки корисне навантаження чергується з важкого на легке[2].

У статті [2] досліджується стійкість до перекидання гусеничних кранів з використанням рухомої противаги. Для визначення стійкості пропонується метод, який базується на мірі запасу стійкості кута сили. Індекс моменту перекидання в прямому і зворотному напрямках використовується, як критичний стан перекидання. Результати показують, як змінюються максимальне та мінімальне безпечне положення рухомої противаги в різних робочих умовах. Положення противаги регулюється для того, щоб гусеничний кран став стабільним при зміні кута стріли. Результати показують, що стабільна область положення рухомих противаг суттєво змінюється в залежності від конфігурації крана та маси його корисного навантаження.

На рис. 2 зображено кран із рухомою противагою, який був запатентований Cohen-Venezian.

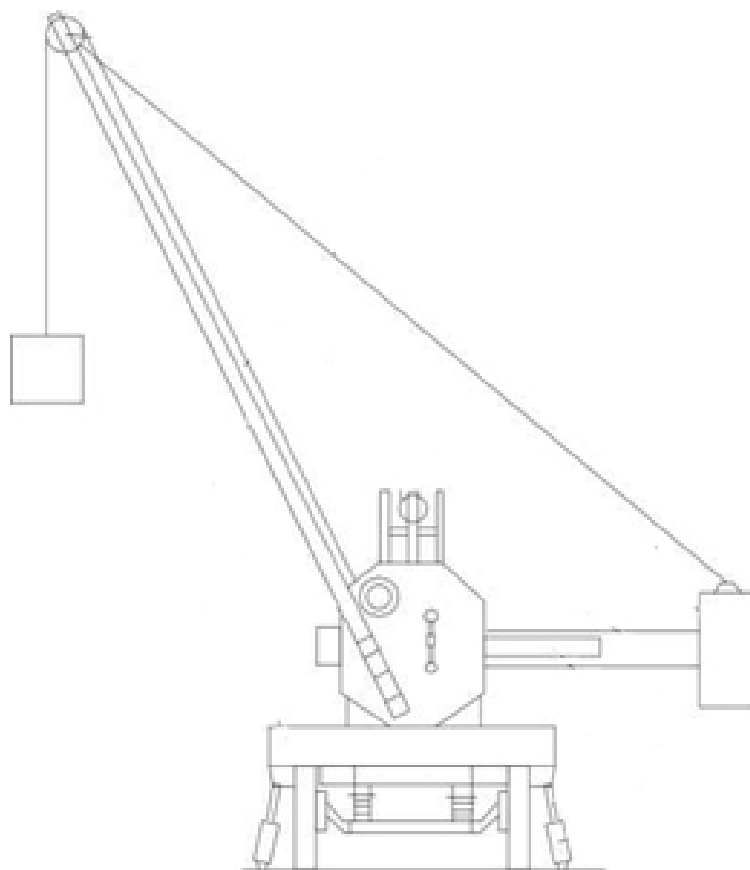


Рис.1 – Кран із рухомою противагою

У роботі [3] для вдосконалення заходів безпеки введені два індекси, тобто індекс моменту та індекс сили, які кількісно визначають тенденцію перекидання мобільних кранів та вивчають несучу здатність виносного механізму.

На рис. 2 представлений зовнішній вигляд мобільного гідравлічного крана, який розміщений горизонтально на платформі. Взявши платформу за базовий рівень, прямокутні координати з віссю X, Y - та Z встановлюються на перетині з центральною віссю обертання [3].

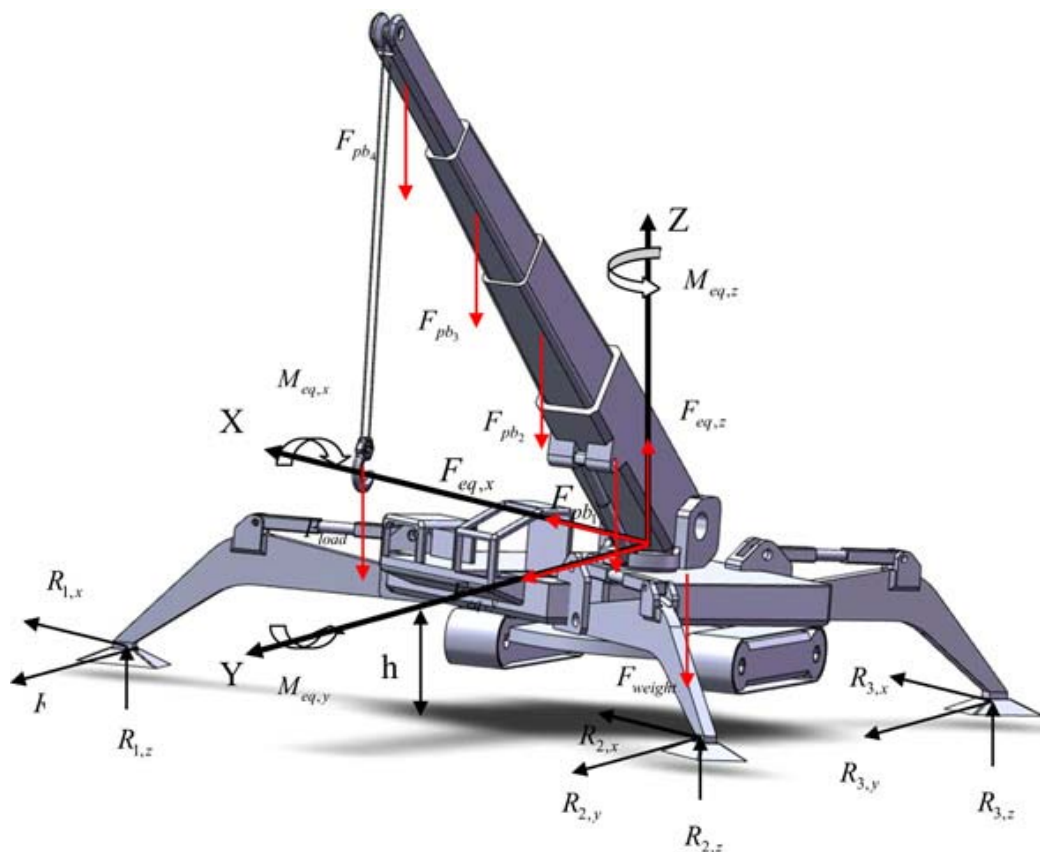


Рис.2 – Механічна модель автокрана

Де F_{weight} - гравітаційна сила верхньої рухомої платформи крана; F_{pbj} - сила тяжіння ділянки j телескопічної стріли; $F_{eq,x}$, $F_{eq,y}$, $F_{eq,z}$ - три складові сили рівноваги; $M_{eq,x}$, $M_{eq,y}$, $M_{eq,z}$ - три складники моменту рівноваги; $R_{1,x}$, $R_{1,y}$, $R_{1,z}$ - три компоненти сили реакції опори i ; F_{load} - гравітаційна вага піднятого вантажу;

У [4] досліджено стійкість до перекидання мобільного крана з урахуванням коливань корисного навантаження. Напівдинамічна модель була розроблена для розширення аналізу на врахування простих маневрів руху, які викликають коливання корисного навантаження та сили інерції. Результати напівдинамічного аналізу узгоджуються з результатами повного динамічного моделювання мобільного стрілового крана для низьких значень кута нахилу. Експерименти з апаратом з одним маятниковим краном підтвердили результати. Оцінка напівдинамічної моделі надає корисний і простий інструмент для дослідження стійкості до перекидання двомаятникових мобільних стрілових кранів з корисним навантаженням.

Також на рис.3. у роботі [4] представлена принципова схема мобільного стрілового крана, що використовується для статичного аналізу. Модель складається з платформи для

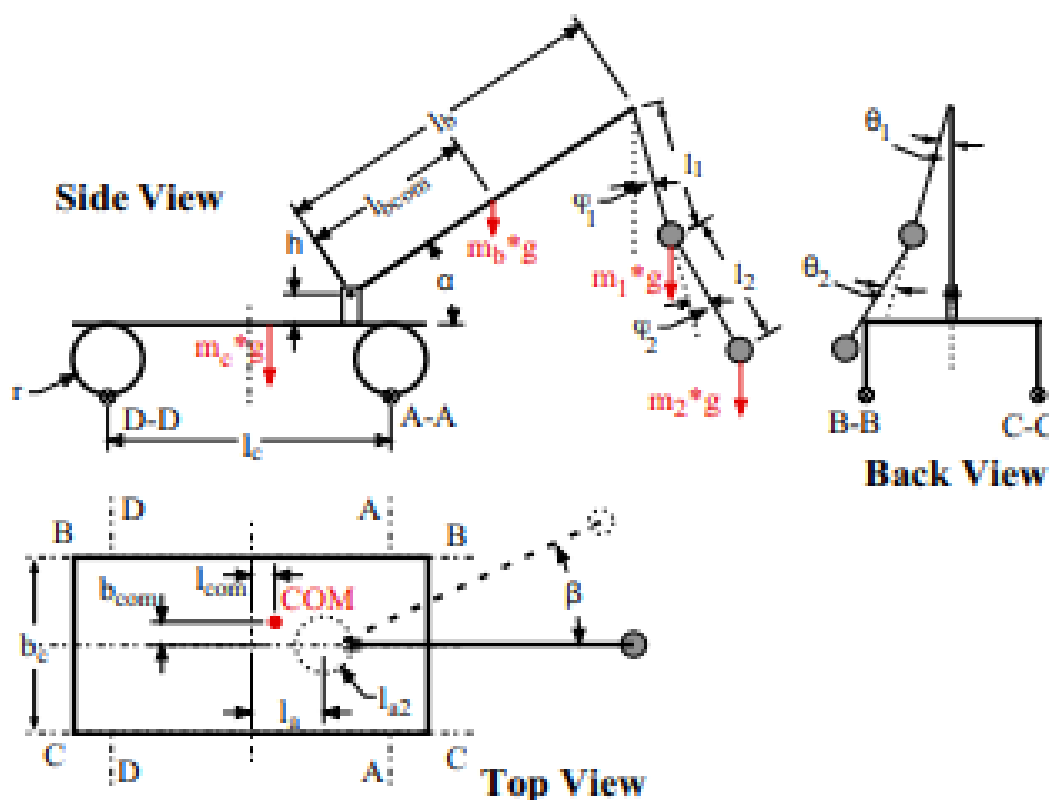


Рис.3 – Принципова схема мобільного стрілового крана.

У статті [4] показані залежності максимально можливого корисного навантаження від кута повороту β для різних значень кута вильоту стріли α , а також максимальні кути повороту для підвісу для різних максимальних швидкостей і прискорення. Відповідно до винаходу [5] пропонується самохідний підйомний кран і відповідний спосіб експлуатації для кранів невеликої вантажопідйомності. Цей спосіб дозволяє знизити повну вагу противаги порівняно з іншими кранами такої ж вантажопідйомності, проте при цьому

кран все ще є самохідним краном. Він може піднімати вантаж, який відповідає вантажам, що підіймаються іншими кранами і мають противагу зі значно більшою повною вагою. Також можлива варіативність і модифікація цього винаходу. Самохідний підйомний кран показано на рис.4.

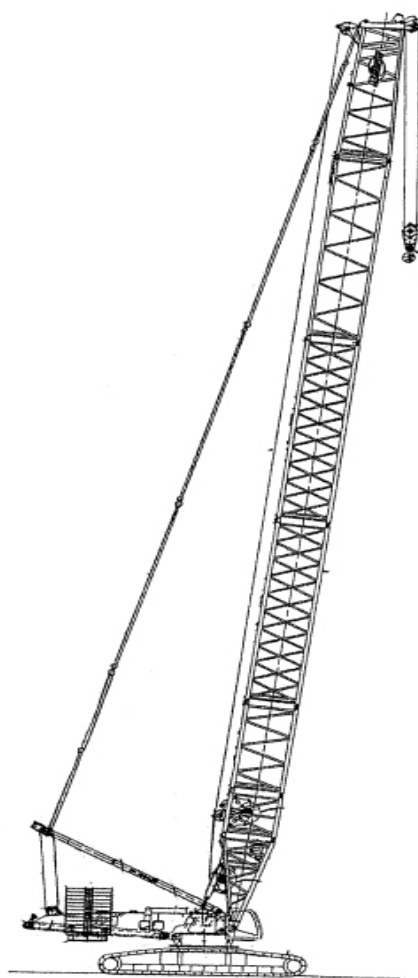


Рис. 4 – Самохідний підйомний кран

Висновки

Виконавши аналіз патентних досліджень та праць науковців, які розв'язують питання забезпечення вантажної стійкості вантажопідйомних кранів, можна зробити висновок, що удосконалення вантажної стійкості стрілового самохідного крана не було досліджено повною мірою.

Визначено, що перспективою подальшого вивчення питання є покращення конструкції противаги шляхом корегування зміни положення противаги в залежності від маси корисного навантаження та урахування зовнішніх чинників.

Список використаних джерел:

1. Про затвердження Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів та машин спеціального військового призначення : Наказ М-ва оборони України від 01 груд. 2016 р. N 653. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1727-16#Text>. (дата звернення: 21.04.2021).
2. Liu H., Tip-Over Stability of Crawler Cranes with Moveable Counterweights / H. Liu, W. Singhose, W. Cheng // Heavy Machinery-HM : 8 International Conference, 25-28 June 2014. – Serbia : Zlatibor, 2014. – P. 137–143.
3. Jeng S. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization / S. Jeng, C. Yang, W. Chieng // Mechanics Based Design of Structures And Machines. – 2010. – Vol. 38, no. 2. – P. 145–170.
4. Tip-over stability analysis of mobile boom cranes with swinging payloads / A. Rauch, W. Singhose, D. Fujioka, T. Jones // Journal Of Dynamic Systems, Measurement And Control, Transactions Of The ASME. – 2013. – Vol. 135, no. 3. – P. 031008–031008-6.
5. Подъемный кран с перемещаемым противовесом : пат. 2556678 РФ: МПК B66C23/76 № 2010133069/11 / Дэвид Дж. Печ, Джозеф Р. Русински ; заявл. 06.08.2010 ; опубл. 10.07.2015. – Бюл. № 19.

References:

1. Ministerstvoa oborony Ukrayiny 2016, *Pro zatverdzhennya Pravyi budovy i bezpechnoyi ekspluatatsiyi vantazhopidiymalnykh kraniv ta mashyn spetsialnoho viyskovoho pryznachennya: Nakaz vid 01 hrudnya 2016 roku no. 653*, viewed 21 April 2021, <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1727-16#Text>>.
2. Liu, H, Singhose, W & Cheng, W 2014, ‘Tip-Over Stability of Crawler Cranes with Moveable Counterweights’, *VIII International Conference Heavy Machinery-HM*, Zlatibor, pp. 137-143.
3. Jeng, S, Yang, C & Chieng, W 2010, ‘Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization’, *Mechanics Based Design of Structures And Machines*, vol. 38, no. 2. p. 145-170.
4. Rauch, A, Singhose, W, Fujioka, D & Jones, T 2013, ‘Tip-over stability analysis of mobile boom cranes with swinging payloads’, *Journal Of Dynamic Systems, Measurement And Control, Transactions Of The ASME*, vol. 135, no. 3, pp. 031008–031008-6.
5. Pech, DDzh & Rusinski, DzhR., 2015, *Podyemnyy kran s peremeshchayemym protivovesom*, RF Patent 2556678, MPK B66C23/76. № 2010133069/11.

Стаття надійшла до редакції 21 травня 2021 року

КРИТЕРІЙ ГРАНИЧНОГО ЗНОШУВАННЯ НАПРЯМНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ШТАМПІВ

Фролов Е.А.,¹ Дерябкіна Е.С.,² Агарков В.В.,³ Муравльов В.В.⁴

*Полтавський національний технічний університет імені Ю. Кондратюка¹
Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка²*

*Державне підприємство «Харківстандартметрологія»³
Полтавський державний аграрний університет⁴*

Інформація про авторів:

Фролов Євгеній Андрійович: ORCID 0000-0002-9415-1066, naumova olga1@mail.ru доктор. техн. наук, професор, професор кафедри технології машинобудування, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна.

Дерябкіна Євгенія Станіславівна: Ідентифікатор ORCID 0000-0002-5531-0124, 216464g@gmail.com, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. технологічних систем ремонтного виробництва, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, вул. Алчевських, 44 м. Харків, Україна.

Агарков Віктор Васильович - Ідентифікатор ORCID 0000-0001-9883-0480, 290@mti.kharkov.ua канд. техн. наук, заст. директора, Державне підприємство "Харківстандартметрологія", вул. Мироносицька, 36, м. Харків, Україна.

Муравльов Володимир Вячеславович: ORCID: 0000-0002-3221-0411; mvv02021975@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри галузеве машинобудування, Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна.

Визначений критерій граничного зношування направляючих елементів УЗПШ для розділових операцій. Випробування на надійність проводились у виробничих умовах, робота компонувань штампів вважалась надійною до моменту втрати точності параметрів штампівки, причиною якої є межовий знос направляючих елементів переналагоджуваних штампів.

Встановлено, якщо величина зміщення перевищує величину зазору між робочими частинами штампів, відбувається їх зарубування. При нерівномірному розташуванні зазору стійкість штампів знижується у 1,5 рази. Блоки УЗПШ оснащені направляючими елементами, які виготовлені по 5-му квалітету точності (для УПШ) і 6-7 квалітету точності (для УЗШ). Приведені значення найменших двосторонніх зазорів між матрицею і пуансоном ($z_{\min}$), для яких придатні компонування УЗПШ з направляючими елементами, що виконані по 6-7 квалітету точності з умови зміщення плити у горизонтальній площині.

Виконаний розрахунок величини зміщення пуансона відносно номінального положення (m) при обертанні на кут α для компонувань УСПШ з діагональним або осьовим розташуванням направляючих колонок. Приведені величини зміщення пуансона від номінального положення при обертанні верхньої плити діагональної або осрової компоновки УЗПШ, значення найменших зазорів між матрицею і пунсоном, для яких придатні блоки з направляючими ковзання по 5 квалітету точності.

Ключові слова: універсальний збірний переналагоджуваний штамп, розділові операції, граничний знос, напрямні елементи, матриця, пуансон.

Frolov E.A., Deryabkina E.S., Agarkov V.V., Muravlyov V.V. "Criteria for the limit wear of the guide elements of re-adjustable dies".

The criterion of the limiting wear of the USPSH guiding elements for separation operations has been determined. Reliability tests were carried out in production conditions, the operation of the die layouts was considered reliable until the loss of the accuracy of the stamping parameters, the cause of which is the extreme wear of the guide elements of the re-adjustable dies.

It has been established that if the displacement value exceeds the gap between the working parts of the dies, the latter are hacked. With an uneven position of the gap, the stability of the dies is reduced by 1.5 times. USPSH blocks are equipped with guiding elements, which are made according to the 5th grade of accuracy (for USPSH) and 6-7 grade of accuracy (for USSH). The values of the smallest double-sided gaps between the matrix and the punch ($z_{\min}$) are given, for which the UZPSH arrangements with guiding elements made according to 6-7 accuracy grades are suitable for the condition of plate displacement in the horizontal plane.

The calculation of the value of the displacement of the punch relative to the nominal position (m) when turning through the angle α for USPSH layouts with a diagonal or axial arrangement of guide columns has been performed. The values of the displacement of the punch from the nominal position during the rotation of the upper plate of the diagonal or axial arrangement of the UZPSH, the value of the smallest gaps between the matrix and the punch, for which blocks with sliding guides of the 5th grade of accuracy are suitable, are given.

Keywords: universal prefabricated re-adjustable dies, separation operations, limit wear, guide elements, matrix, punch.

Вступ

Поява і розвиток нових видів прогресивної штампового оснащення поставили перед виробництвом ряд нових проблем. Однією з таких проблем є підвищення надійності і довговічності штампів стосовно експлуатаційних умов.

Існуючі традиційні методи аналізу та оцінки надійності штампів, орієнтовані на прості поєднання елементів і вузлів, не можуть в повній мірі задовольняти потреби надійності і довговічності складної системи оборотних штампів [1-4]. Необхідний розвиток методів оцінки і забезпечення надійності цих штампів з урахуванням їх специфіки (можливість перебудови структури, зміни в широких межах параметрів штампованих деталей і серійності виробництва).

Постановка проблеми

Кількісні характеристики надійності системи оборотних штампів [3-7] оцінювалися на підставі експериментальних даних і аналітичного розрахунку.

Випробування на надійність проводилися у виробничих умовах при штампуванні деталей на річну програму. Робота компоновок штампів вважалася надійною і працездатною до моменту втрати точності штампованих деталей, причиною якої був граничний знос направляючих елементів переналагоджуваних штампів.

Встановлення граничного зносу є надзвичайно складним завданням, так як до деталей будь-яких конструкцій пред'являються найрізноманітніші вимоги.

До теперішнього часу методика розрахунку граничних зносів розроблена недостатньо для переналагоджуваних штампів в силу своїх конструктивних особливостей [8-10].

Метою досліджень було визначення критеріїв граничного зношування напрямних елементів переналагоджуваних штампів для розділових операцій.

Результати досліджень

Першим завданням, яку доводиться вирішувати при розрахунку граничних зносів і по ним термінів служби деталей машин, є встановлення критеріїв граничного зносу.

Довговічність роботи універсально-збірних переналагоджуваних штампів (УСПШ) в значній мірі залежить від якості виготовлення системи направляючих елементів.

У компоновках УСПШ між направляючою колонкою і отвором в направляючій обоймі є зазор, в межах якого неминуче зміщення верхньої частини щодо нижньої.

Якщо величина зміщення перевищує величину зазору між робочими частинами штампа, відбувається зарубання останніх. При нерівномірному розташуванні зазору стійкість штампів знижується в 1,5 рази.

Блоки УСПШ забезпечені направляючими елементами, виготовленими по 5 квалітету точності для універсальних переналагоджуваних штампів і 6 - 7 квалітету точності для універсальних збірних штампів.

Верхня плита таких штампів зміщується щодо нижньої в горизонтальній площині (рис.1 - а) і при повороті на кут α (рис.1 - б).

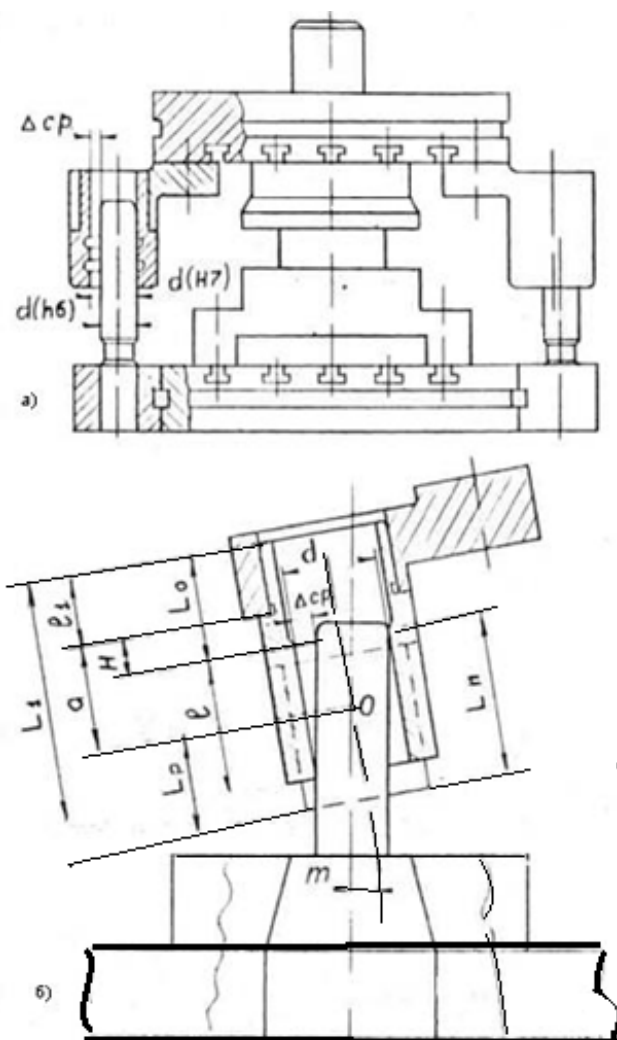


Рис.1 – Схема зміщення верхньої плити штампа щодо нижньої:
а - в горизонтальній площині; б - при повороті на кут " α ".

У горизонтальній площині зміщення відбувається на величину середньо вирогідному зазору між напрямними елементами.

Зсув розраховується за формулою:

$$\Delta = \pm \frac{1}{2} \Delta_{cp} = \pm \frac{\Delta A + \Delta C}{4}, \quad (1)$$

де ΔA - допуск на отвір направляючої втулки; ΔC - допуск на діаметр направляючої колонки.

Абсолютна ж величина зміщення пуансона від номінального положення дорівнює $m = 2\Delta = \Delta_{cp}$. Знак "±" означає, що плити зміщуються відносно один одного в обидва боки від номінального положення.

Найменший двосторонній зазор між матрицею і пуансоном ($Z_{\min}$), при якому може бути використана компоновка УСПШ, приймається рівним $Z_{\min} = k m$,

де k - коефіцієнт, що враховує допустиму нерівномірність розподілу зазору в штампах, $k = 1,3 \div 1,4$.

У табл. 1 наведені значення найменших двосторонніх зазорів між матрицею і пуансоном ($Z_{\min}$), для яких придатні компонування УСПШ з напрямними елементами, виконаними по 6 - 7 квалітету точності з умов зміщення плити в горизонтальній площині.

Таблиця 1- Величини зазорів, мм

Габаритні розміри блоку в плані L×B, мм	Діаметри напрямних колонок d, мм	Зазори, мм		
		у напрямних		між матрицею і пуансоном $Z_{\min}$, мм
		найбільший $\Delta A + \Delta C$	середній $\Delta_{cp} = m$	
280×250	28	0,037	0,019	0,027
320×280	32	0,044	0,022	0,031
360×310	32	0,044	0,022	0,031
360×360	32	0,044	0,022	0,031
400×350	40	0,044	0,022	0,031
480×360	40	0,044	0,022	0,031

Зсув пуансона щодо матриці при повороті верхньої плити блоку на кут α може відбуватися в площині центрів обох колонок і втулок (напрямних обойм). При повороті плити в площині однієї пари напрямних елементів зміщення пуансона щодо матриці матиме найбільше значення. Кут повороту плити визначається за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta_{cp}}{l}, \quad (2)$$

де Δ_{cp} - середнє вирогідна величина зазору між отвором напрямної обойми і колонкою; l - довжина контактної поверхні напрямної обойми з колонкою.

Таким чином, довжина контактної поверхні визначає кут повороту плити, тобто впливає на точності характеристики блоку.

Направляючі втулки (обойми) мають контактну поверхню тільки на частині довжини ($l = l_1 - l_a$), яка виступає з плити. З умов технологічності їх виготовлення на довжині L_0 зроблена розточування.

Зробимо розрахунок величини зміщення пуансона щодо номінального положення (m) при повороті на кут α для компоновок УСПШ з діагональним або осьовим розташуванням напрямних колонок.

Довжина прямої частини втулки прийнята рівною довжині контактної поверхні колонки з втулкою: $l = L_1 - L_0$

Відстань від центру повороту до нижньої площини верхньої плити:

$$a = \frac{l}{2} + (L_0 - l) \quad (3)$$

Розрахункова довжина пуансона, на якій відбувається зміщення при повороті на кут α :

$$L_p = (L_n + H) - a, \quad (4)$$

де H - товщина підкладної плити; L_n - довжина пуансона.

Зсув пуансона m' , дорівнює $m' = \pm L_p \operatorname{tg} \alpha$

де $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta_{cp}}{l}$, тоді $m' = \pm \Delta_{cp} \frac{L_p}{l}$.

Абсолютне (двостороннє) зміщення пуансона щодо номінального положення дорівнює подвоєному значенню

$$m = 2m' = 2\Delta_{cp} \frac{L_p}{l}$$

Величини зміщення пуансона від номінального положення при повороті верхньої плити діагональної або осьової компоновки УСПШ на кут α наведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Величини зміщення пуансона

Габаритні розміри блоку в плані L×B	Діаметр колонки, d, мм	$l_0 = L_1 - L_0$	$a = \frac{l}{2} + (L - l_1)$	L_n	$L_p = (L_n + H) - a$	$\frac{\Delta_{наиб}}{\Delta_{cp}}$	m	z_{min}
280×250	28	56	30	60	34	$\frac{0,037}{0,019}$	0,022	0,031
320×280	32	71	37,5	75	41,5	$\frac{0,044}{0,022}$	0,026	0,056
360×310	32	71	37,5	75	41,5	$\frac{0,044}{0,022}$	0,026	0,056
360×360	32	71	37,5	75	41,5	$\frac{0,044}{0,022}$	0,026	0,056
400×350	40	71	37,5	75	41,5	$\frac{0,044}{0,022}$	0,026	0,056
400×360	40	71	37,5	75	41,5	$\frac{0,044}{0,022}$	0,026	0,056

У табл. 3 наведені значення найменших зазорів між матрицею і пуансоном, для яких придатні блоки з направляючими ковзання по 5 квалітету точності.

Таблиця 3 - Найменші зазори між матрицею і пуансоном

Габаритні розміри блока у плані L×B	Діаметр колонки, d, мм	Зазор, мм		
		У напрямних		між матрицею і пуансоном $Z_{\min}$, мм
		найбільший $\Delta A_1 + \Delta C_1$	середній $\Delta_{cp}=m$	
280×250	28	0,022	0,011	0,015
320×280	32	0,022	0,011	0,015
360×310	32	0,022	0,011	0,015
360×360	32	0,022	0,011	0,015
400×350	40	0,026	0,013	0,018
480×360	40	0,026	0,013	0,018

Висновки

Аналізуючи значення найменших двосторонніх зазорів між матрицею і пуансоном ($Z_{\min}$), наведених в табл. 1 і 3, можна зробити наступні висновки:

1. Величина граничного зносу напрямних елементів системи УСПШ лімітується вимогами точності розташування пуансонів щодо матриць і визначається максимально допустимим зазором в з'єднанні "спрямовуюча колонка - втулка (обойма)".

2. При повертанні плити зміщення пуансона більше в 1,3 - 1,9 рази, ніж при її горизонтальному переміщенні. Такі конструкції компоновок УСПШ можуть бути використані при виконанні розділових операцій листового штампування матеріалів товщиною понад 1,5 мм.

3. Підвищення точності конструкції компоновок УСПШ може бути досягнуто за рахунок збільшення довжини контактної поверхні l.

4. Компонування УЗПШ з направляючими елементами ковзання 6 - 7 квалітетів точності H7/h6 при відповідному збільшенні довжини робочих поверхонь втулок можна застосовувати для операцій штампування при двосторонньому зазорі між робочими частинами штампа у межах 0,022-0,031 мм.

5. Подальше збільшення параметрів характеризує точність компоновок УСПШ, що досягається шляхом застосування напрямних елементів ковзання з полем допуску h5.

Встановлено кількісні характеристики і критерії граничного зношування напрямних елементів УЗПШ, що забезпечують точності характеристики штампованих деталей.

Список використаних джерел:

- Агарков В. В. Совершенствование универсально-сборных переналаживаемых штампов путем оптимизации конструктивных параметров компоновок в условиях машиностроительных производств : дис. ... канд. техн. наук / В. В. Агарков. – Харьков, 2013. – 210 с.
- Универсально-сборные переналаживаемые штампы для листовой штамповки / Н. К. Резниченко, Г. И. Ищенко, В. В. Агарков, А. Я. Мовшович // Вісник інженерної академії України. – 2011. – Вип. 3. – С. 95–98.
- Мовшович А. Я. Конструкции и технологические возможности специализированных переналаживаемых гибочных штампов / А. Я. Мовшович, Ю. А. Кочергин // Вестник Национального технического университета «КПИ». – Киев : НТУУ «КПИ», 2010. – С. 250–254.
- Фролов Е. А. Выбор эффективного метода интенсификации процессов формообразования деталей сложных форм из высокопрочных конструкционных сталей / Е. А. Фролов, О. Г. Носенко, Е. С. Дерябкина // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2012. – Вип.10. – С. 248–252.
- Отраслевая система переналаживаемой технологической оснастки для ускоренной технологической подготовки производства / Н. Д. Жолткевич и др. – М. : ЦНИИ информ., 1988. – 248 с.

6. Кочергин Ю. А. Обоснование возможности применения упрочняющих покрытий для повышения износостойкости гибочных штампов / Ю. А. Кочергин // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту : зб. наук. пр. // УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – Вип. 110. – С. 111–115.
7. Повышение износостойкости направляющих элементов штамповой оснастки методом эпиламирования / А. Я. Мовшович, Е. С. Дерябкина, М. Г. Ищенко, М. Е. Федосеева // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 4 (33). – С. 232.
8. Кочергин Ю. А. Повышение технологических возможностей штамповой оснастки и точности деталей при П-образной гибке / Ю. А. Кочергин, А. Я. Мовшович, Е. А. Фролов // Сборник научных трудов ДГМА. – Краматорск, 2010. – Вып. 3 (24). – С. 92–97.
9. Мовшович А. Я. К вопросу влияния конструктивно - технологических факторов на усилие штамповки при П-образной гибки / А. Я. Мовшович, М. М. Буденный // Високі технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т "ХПІ". – Харків, 2009. – Вип. 2 (19). – С. 110–116.
10. Исследование влияния покрытий и способов производства направляющих элементов на их износостойкость / Е. А. Фролов, Н. К. Резниченко, Е. С. Дерябкина, С. И. Кравченко, В. В. Агарков, С. Г. Ясько // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии / Нац. аэрокосмический ун-т им. М. Е. Жуковского "ХАИ". – Харьков, 2020. – № 89. – С. 33–47.

References:

1. Agarkov, VV 2013, 'Sovershenstvovanie universalno-sbornyih perenalazhivaemyih shtampov putem optimizatsii konstruktivnyh parametrov komponovok v usloviyah mashinostroitelnyih proizvodstv', Kand.tekh.n. thesis, Harkov.
2. Reznichenko, NK, Ischenko, GI, Agarkov, VV, Movshovich, AY & Reznichenko, NK 2011, 'Universalno-sbornyie perenalazhivaemye shtampyi dlya listvoy shtampovki', *Visnik Inzhenernoyi akademiyi Ukrayini*, iss.3, pp. 95-98.
3. Movshovich, AY & Kochergin, YuA 2010, 'Konstruktsii i tehnologicheskie vozmozhnosti spetsializirovannyih perenalazhivaemyih gibochnyih shtampov', *Vestnik Natsionalnogo tehnikeskogo universiteta Kievskij politehnicheskij institut*, Kiev, pp. 250-254.
4. Frolov, EA, Nosenko, OG & Deryabkina, ES 2012, 'Vyibor effektivnogo metoda intensivatsii protsessov formoobrazovaniya detaley slozhnyih form iz vysokoprochnyih konstruktivnyh staley', *Mashinobuduvannya, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia*, Kharkiv, iss.10. pp. 248-252.
5. Zholtkevich, ND et al. 1988, *Otraslevaya sistema perenalazhivaemoy tehnologicheskoy osnastki dlya uskorennoy tehnologicheskoy podgotovki proizvodstva*, Centralnyj nauchno-issledovatel'skij institut upravleniya, jekonomiki i informacii, Moskva.
6. Kochergin, YuA 2009, 'Obosnovanie vozmozhnosti primeneniya uprochnyayuschih pokrytiy dlya povsheniya iznosostoykosti gibochnyh shtampov', *Zbirnik naukovih prats Ukrainskoyi derzhavnoyi akademiyi zallzничного транспорту*, Ukrainskiy derzhavnyi universitet zaliznychnoho transportu, Kharkiv, iss. 110, pp.111-115.
7. Movshovich, AY, Deryabkina, ES, Ischenko, MG & Fedoseeva, ME 2012, 'Povyishenie iznosostoykosti napravlyayuschih elementov shtampovoy osnastki metodom epilamirovaniya', *Obrabotka materialov davleniem*, no.4 (33), p.232.
8. Kochergin, YuA, Movshovich, AY & Frolov, EA 2010, 'Povyishenie tehnologicheskikh vozmozhnostey shtampovoy osnastki i tochnosti detaley pri P-obraznoy gibke', *Sbornik nauchnyh trudov Donbasskoj gosudarstvennoj mashinostroitel'noy akademii*, Kramatorsk, iss. 3 (24), pp. 92-97.
9. Movshovich, AY & Budennyiy, MM 2009, K voprosu vliyaniya konstruktivno - tehnologicheskikh faktorov na usilie shtampovki pri P-obraznoy gibki, Visoki tehnologiyi v mashinobuduvanni, *Zbirnik Natsionalnogo tehnikeskogo universiteta Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Kharkiv, iss. 2 (19), pp.110-116.
10. Frolov, EA, Agarkov, VV, Yasko, SG, Reznichenko, NK, Deryabkina, ES & Kravchenko, SI 2020, 'Issledovanie vliyaniya pokrytiy i sposobov proizvodstva napravlyayuschih elementov na ih iznosostoykost', *Otkryitiye informatsionnyie i kompyuternye integrirovannyye tehnologii*, Nacionalnyj aerokosmicheskij universitet imeni ME Zhukovskogo Harkovskij aviacionnyj institut, Harkov, no. 89, pp. 33-47.

Стаття надійшла до редакції 22 травня 2021 року

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ІНСТРУМЕНТУ З ДЕТАЛЛЮ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ АЛМАЗНОМУ ШЛІФУВАННІ ЗІ ЗМІННОЮ ПОЛЯРНІСТЮ ЕЛЕКТРОДІВ В ЗОНІ РІЗАННЯ

©Стрельчук Р.М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Інформація про автора:

Стрельчук Роман Михайлович: ORCID: 0000-0002-7221-031X; r.m.strelchuk@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна

Зона контакту являє собою область взаємного проникнення різальних крайок в оброблюваний матеріал і виступів матеріалів в проміжки між зернами. До параметрів стану зони відносяться її розміри і форма, співвідношення зрізаної і незрізаної частин металу в кожній області зони, фізичні процеси формоутворення в тому числі: стружкоутворення, тепловиділення, пластичні деформації оброблюваного матеріалу, знос і руйнування інструментального матеріалу, фізичний і хімічний вплив на матеріали мастильно-охолоджувальної рідини.

До вихідних змінних зони відносяться сили різання, параметри теплового потоку, поля ріжучих поверхонь і полів вторинних процесів, швидкість зносу абразивного матеріалу і ряд інших змінних.

Розподіл теплових потоків, фізико-механічні властивості оброблюваного та інструментального матеріалів в зоні контакту.

У статті розглянуто аналіз закономірностей видалення матеріалу, роботи і руйнування, одиничних абразивних зерен. Вирішення цих питань в комплексі з відомими з літератури залежностями дозволило розглянути баланс переміщень у технологічній системі, розробити динамічні моделі видалення матеріалу і зносу інструменту, уточнити існуючі методики аналітичного розрахунку параметрів шорсткості поверхні і точності форми.

Вид отриманих співвідношень безпосередньо показує, що значна частина стружок освічених ріжучими крайками, що контактують з шорсткою поверхнею заготовки, є короткими і не стикаються зі зв'язкою до відриву від тіла заготовки навіть без урахування їх усадки.

Отримані співвідношення можуть бути використані і при вирішенні відповідних завдань шліфування периферією круга, наприклад, круглого шліфування. При більш чіткому описі процесу необхідно безпосередньо застосовувати нестационарне уявлення з урахуванням додаткових нестационарних, внесених траєкторіями різальних крайок як функції кута повороту круга і деталі в процесі їх взаємодії.

Ключові слова: процес стружкоутворення, математична модель, алмазний круг, деталь.

Strelchuk R. «Modeling the interaction of a tool with a part during EDM grinding with variable polarity of electrodes in the cutting zone»

The contact area is the area of mutual penetration of the cutting edges into the workpiece material and the protrusions of the materials into the gaps between the grains. The parameters of the state of the zone include its size and shape, the ratio of the removed and not removed parts of the metal in each area of the zone, physical processes of shaping, including chip formation, heat

release, plastic deformation of the processed material, wear and destruction of tool material, physical and chemical effects of lubricating and cooling liquid on materials.

The output variables of the zone include cutting forces, heat flow parameters, fields of cutting surfaces and fields of secondary processes, wear rate of abrasive material, and a number of other variables.

Distribution of heat fluxes, physical and mechanical properties of the processed and tool materials in the contact zone.

The article examines the analysis of the patterns of material removal, work and destruction, single abrasive grains. The solution of these issues in combination with the dependencies known from the literature made it possible to consider the balance of displacements in the technological system, develop dynamic models of material removal and tool wear, and clarify the existing methods for the analytical calculation of surface roughness and shape accuracy.

The form of the obtained ratios directly shows that a significant part of the chips formed by the cutting edges in contact with the rough surface of the workpiece are short and do not collide with the binder to tear off from the workpiece body even without taking into account their shrinkage.

The obtained ratios can also be used in solving the corresponding problems of grinding with the periphery of a wheel, for example, circular grinding. With a clearer description of the process, it is necessary to directly apply the non-stationary representation, taking into account the additional non-stationary ones introduced by the trajectories of the cutting edges as a function of the angle of rotation of the circle and the part in the process of their interaction.

Keywords: chip formation process, mathematical model, diamond wheel, detail.

Вступ

Для розкриття фізичної сутності процесу електроерозійного алмазного шліфування, в якому загальний ефект впливу складається з окремих явищ, що відбуваються в мікрооб'ємах за частки секунди (алмазне шліфування, електроерозійна правка), необхідно досліджувати саме ці мікропроцеси. У разі алмазного шліфування для вивчення процесу різання необхідно досліджувати мікрорізання окремим зерном. Переносячи потім результати, отримані при цих дослідженнях на реальний процес масового мікрорізання, можна отримати загальну картину явищ, які відбуваються при алмазному шліфуванні. Аналогічні методи існують і при дослідженнях електроерозійних процесів. Вивчаючи явища, які супроводжують поодинокі електричні розряди, можна описати інтегральний процес електроерозійної правки за умови збереження аддитивності процесу. Дослідженню явищ, які супроводжують поодинокі електричні розряди, присвячені багато робіт [1-3].

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

При реалізації схеми електроерозійного алмазного шліфування з підведенням додаткової електричної енергії (комбіноване шліфування) безпосередньо в зону різання, відбуваються як процеси механічного, так і електроерозійного видалення матеріалу, що викликається ефектом розрядів внаслідок контактування деталі, стружки, що зароджується з поверхнею шліфувального круга [4- 5].

При електроерозійному алмазному шліфуванні необхідно враховувати специфіку процесу стружкоутворення (рис.1), яка полягає в тому, що значну частину траси руху алмазних зерен при їх врізанні в тіло заготовки відбувається в шарі шорсткості [6], що вимагає врахування особливостей стружкоутворення при моделюванні електроерозійних процесів в зоні контакту круга і заготовки.

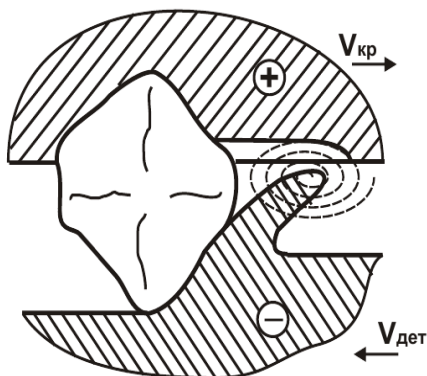


Рис. 1 – Процес стружкоутворення при електроерозійному алмазному шліфуванні

Для вирішення такого завдання необхідно уточнення моделі взаємодії алмазних зерен з поверхневим шаром заготовки. Для досягнення поставлених цілей в роботі вирішувалися такі проблеми:

- на підставі опису шорсткою поверхні деталі нормальним марковским процесом із застосуванням теорії викидів [7,8] побудовані оцінки нестационарної умовної щільності розподілу ймовірностей довжин стружок при проходженні зерна траси в шорсткою шарі деталі.

Побудова математичної моделі інструменту і деталі

Для побудови математичної моделі, що дозволяє оцінювати що відбуваються явлення необхідно математичний опис форми деталі.

Найбільш простим є уявлення форми круглої деталі в полярній системі координат з центром, розташованим в центрі деталі і кутом φ , що відраховується від деякої фіксованої точки, розкладанням в ряд Фур'є:

$$R(\varphi) = R_0 + \sum R_i \cdot \cos(\omega_i \varphi + \mu_i). \quad (1)$$

Представлення форми деталі в вигляді (рис.2) справедливо внаслідок періодичного характеру її форми як функції φ . Конкретні значення відповідних коефіцієнтів R_i , $i \in \{0...n\}$ можуть бути визначені в результаті вимірів відповідних відстаней, котрі утворюють деталь від її центру.

Для усталеного режиму шліфування можна вважати, що деталь обертається з постійною кутовою швидкістю ω і кут φ може бути визначений як

$$\varphi = \omega \cdot t + \mu_0 \quad (2)$$

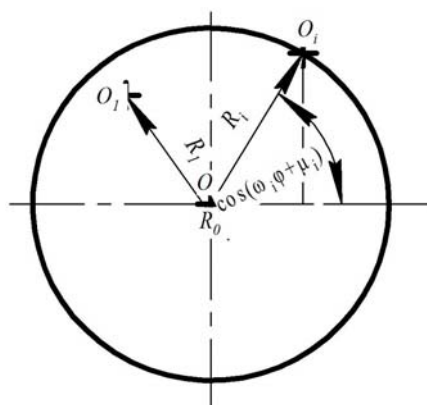


Рис. 1 – Деталь в полярній системі координат

Для високочастотної складової рівняння (1) - компонентів з великими значеннями i визначення відповідної фази в силу обмеженої точності фіксації початкової точки проводиться зі значною похибкою, що має випадковий характер. Доцільно використовувати уявлення енергетичних спектрів (спектрів потужності) процесів, які можуть бути побудовані на основі рівнянь Вінера - Хинчина,

$$S(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} K(\varphi) \cos(\omega\varphi) d\varphi, \\ K(\varphi) = \int_0^{\infty} S(\omega) \sin(\omega\varphi) d\omega \quad (3)$$

однозначно зв'язують кореляційні (взаємкореляційні) функції $K(\varphi)$ і енергетичні спектри $S(\omega)$.

Визначення конкретного виду кореляційної функції $K(\varphi)$ для вирішення рівняння (3) може бути вироблено по круглограмме деталі.

Вельми продуктивним є уявлення завісімоності (1) у вигляді (3) як випадкового процесу зміни радіуса як функції кута повороту, а, з урахуванням (2), і як функції часу. Цю залежність можна моделювати одновимірним марковским процесом, вважаючи, що умовна щільність ймовірності $f(\varphi_i, R_i; \varphi_j, R_j) = f(\varphi_i, R_i; \varphi_j, R_j)$, $\varphi_i < \varphi_j$ крім загальних умов, яким задовольняє будь-яка щільність ймовірностей:

$$f(\varphi_i, R_i; \varphi_j, R_j) > 0, \\ f(\varphi_i, R_i; \varphi_j, \pm\infty) = 0, \\ \int_{-\infty}^{\infty} f(\varphi_i, R_i; \varphi_j, R_j) dR_j = 1$$

задовольняє і співвідношенням Чепмена-Колмогорова.

$$f(\varphi_i, R_i; \varphi_j, R_j) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\varphi_i, R_i; \varphi_k, z) f(\varphi_k, z; \varphi_j, R_j) dz$$

для будь-якого $\varphi_i \leq \varphi_k \leq \varphi_j$, відбиває факт «гладкості» - безперервності зміни - відсутність розривів функції і диференціальних рівнянь в приватних похідних Фоккера-Планка-Колмогорова

$$\frac{\partial f}{\partial \varphi_j} + \frac{\partial}{\partial R_j} [a(\varphi_j, R_j) \cdot f] - \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial R_j^2} [b(\varphi_j, R_j) \cdot f] = 0. \quad (4)$$

Функції $a(\varphi_i, R_i)$ и $b(\varphi_j, R_j)$ характеризують мінливість математичного очікування і дисперсії радіуса, відповідно. Тут для компактності запису опущені відповідні аргументи щільності ймовірності.

У припущенні стаціонарності випадкової функції, що характеризує радіус деталі за період контакту, $a(\varphi_i, R_i)$ и $b(\varphi_j, R_j)$ не залежать від часу, причому $a(\varphi_i, R_i)$ є лінійною функцією R_i , а b – постійною величиною. У зазначеному випадку рішенням системи (4) є щільність нормального закону розподілу реалізації випадкового стохастичного процесу, а реалізація $R(t)$ задовольняє диференціальних рівнянь виду:

$$\frac{dR(\varphi)}{d\varphi} + \alpha \cdot R(\varphi) = \beta \cdot \xi(\varphi), \quad (5)$$

де $\xi(\varphi)$ и $\beta = \sigma_R / \sigma$ – нормальний білий шум одиничної інтенсивності і інтенсивність вхідного впливу.

Рішенням стохастичного рівняння (5) при початковій умові $R(0) = R_0 \in$

$$R(\varphi) = R_0 \exp(-\alpha\varphi) + \beta \exp(-\alpha\varphi) \int_0^\varphi \exp[\alpha\xi(x)] dx \quad (6)$$

У відповідності з формулою (3), співвідношенню (5) відповідає спектральна щільність і кореляційна функція виду:

$$S_R(\omega) = \frac{\alpha \cdot \sigma_R^2}{\pi(\omega^2 + \alpha^2)}$$

$$K_R(\varphi) = \sigma_R^2 \cdot \exp(-\alpha \cdot |\varphi|) . \quad (7)$$

Справедливо і зворотне [5]. Нормальні стаціонарні процеси з кореляційними функціями виду (7) або спектральними щільностями (6) є марковськими. До таких процесів або до n -мірним марковським процесам з більш складним описом слід віднести основні класи нормальних випадкових процесів при шліфуванні, які можуть бути представлені енергетичними спектрами з дрібно-раціональним поданням, розглянуті в [92].

Імовірність того, що ордината марковського процесу $R(\varphi)$ при проходженні різальної кромки алмазного зерна шляху φ ні разу не вийде за межі інтервалу (R_1, R_2) визначиться залежністю:

$$W(\varphi) = \int_{R_1}^{R_2} w(\varphi, y) dy , \quad (8)$$

де $w(\varphi, R)$ задовольняє другому рівнянню системи (3):

$$\frac{\partial w}{\partial \varphi} + \frac{\partial}{\partial R}(aw) - \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial R^2}(bw) = 0 , \quad (9)$$

з граничними і початковими умовами, $w(\varphi, R_1) = w(\varphi, R_2) = 0$ при $R \geq 0$,

$w(\varphi, R)|_{\varphi=0} = \delta(R - x)$, если задано начальное значение ординаты x процесса,

$w(\varphi, R)|_{\varphi=0} = w_0(R)$, якщо задана щільність ймовірності ординати процесу при $\varphi = 0 + 0$.

Для обчислення коефіцієнтів $a(\varphi, R)$ та $b(\varphi, R)$ може бути використано співвідношення (6) з урахуванням вимог (9), наближеного розкладання $\exp(-\alpha \cdot \Delta\varphi) \approx 1 - \alpha \cdot \Delta\varphi$ для $\alpha \cdot \Delta\varphi \ll 1$ та обліку стробирующих властивостей дельта функції:

$$a(\varphi, R) = \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta\varphi} \langle R(\varphi + \Delta\varphi) - R(\varphi) | R(\varphi) \rangle =$$

$$= \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta\varphi} [\exp(\alpha \cdot \Delta\varphi) - 1] = -\alpha R = a(R), \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
b(\varphi, R) &= \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta\varphi} \langle [R(\varphi + \Delta\varphi) - R(\varphi)] | R(\varphi) \rangle = \\
&= \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta\varphi} \{ R^2 [\exp(\alpha \cdot \Delta\varphi) - 1]^2 + \beta^2 \exp[-2\alpha(\varphi + \Delta\varphi)] \times \\
&\quad \times \int_{\varphi}^{\varphi + \Delta\varphi} \int_{\varphi}^{\varphi + \Delta\varphi} \exp[\alpha(x + y)] \langle \xi(x) \xi(y) \rangle dx dy \} = \\
&= \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta\varphi} \beta^2 \exp[-2\alpha(\varphi + \Delta\varphi)] \frac{\Xi_0}{2} \times \\
&\quad \times \int_{\varphi}^{\varphi + \Delta\varphi} \int_{\varphi}^{\varphi + \Delta\varphi} \exp[\alpha(x + y)] \delta(y - x) dx dy = \\
&= \beta^2 \frac{\Xi_0}{2} = \text{const},
\end{aligned} \tag{11}$$

де $\langle \Psi(q) \rangle$ – математичне очікування відповідного аргументу (функції), а параметри α , β , Ξ відповідають залежності (6).

З урахуванням (10), (11) зворотнє рівняння Колмогорова (9) набуває вигляду:

$$\frac{\partial}{\partial t} w(R, \varphi) = \alpha \frac{\partial}{\partial R} (Rw) + \frac{\beta^2 \Xi_0}{4} \frac{\partial^2}{\partial R^2} w, \tag{12}$$

яке може бути вирішено методом Гаусса поданням функції $w(R, \varphi)$ у вигляді:

$$w(R, \varphi) = \Lambda(R) \cdot \Omega(\varphi). \tag{13}$$

Розподіл лівої і правої частин (12) на (13) призводить після відповідних перетворень до системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial \varphi} &= -\gamma^2, \\
\frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial R^2} [b(R) \Lambda(R)] - \frac{\partial}{\partial R} [a(R) \Lambda(R)] + \gamma^2 \Lambda(R) &= 0
\end{aligned} \tag{14}$$

рішенням першого з яких є:

$$\Omega(\varphi) = \exp(-\gamma^2 \varphi). \tag{15}$$

Друге рівняння системи (14) може бути визначено відомими методами рішення звичайних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами та для розглянутого випадкового процесу:

$$w(R, \varphi) = w_{st}(R) \{ \Omega_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \Lambda_n(R) \Omega_n \exp[-\gamma_n^2 (\varphi - \varphi_0)] \}, \tag{16}$$

де Ω_i – постійні коефіцієнти, $\Lambda_i(R)$ – ортонормированном власні функції другого рівняння системи (14), відповідні власним значенням γ^2 , т.ч.

$$\int \frac{\Lambda_i(R) \cdot \Lambda_j(R)}{w_{st}(R)} dR = \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } i = j \\ 0 & \text{при } i \neq j \end{cases}.$$

При заданій початковій щільності ймовірності $w(R, \varphi) = w_0(R)$, коефіцієнти Ω_n визначаються як:

$$\Omega_n = \int \frac{w_0(R) \Lambda_n(R)}{w_{st}(R)} dR,$$

а в разі заданої початкової ординати процесу $w_0(R) = \delta(R - R_0)$ та

$$w(R, \varphi) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Lambda_n(R_0) \Lambda_n(R)}{w_{st}(R)} \exp[-\gamma_n^2 (\varphi - \varphi_0)] \}, \Lambda_0(R) = w_{st}(R), \gamma_0 = 0. \quad (17)$$

Висновки

Отримані співвідношення дозволяють безпосередньо визначити ймовірність контактування нізрізаної від тіла заготовки стружки, утвореною різальною крайкою зерна, з поверхнею зв'язки шліфувального круга. При вирішенні задачі про ймовірність контактування сукупності стружок, утворених сукупністю крайок зерен, що лежать в робочому шарі інструменту, необхідно також використовувати ймовірність щільності розподілу по глибині і будувати спільну щільність ймовірності з використанням останньої в якості ядра інтеграла типу формули 11.

Вид отриманих співвідношень безпосередньо показує, що значна частина стружок утворених різальними крайками, що контактують з шорсткою поверхнею заготовки, є короткими і не стикаються зі зв'язкою до відриву від тіла заготовки навіть без урахування їх усадки.

Отримані співвідношення можуть бути використані і при вирішенні відповідних завдань шліфування периферією круга, наприклад, круглого зовнішнього шліфування. При більш чіткому описі процесу необхідно безпосередньо застосовувати нестационарне уявлення з урахуванням додаткових нестационарних, внесених траєкторіями різальних крайок як функцій кута повороту круга і деталі в процесі їх взаємодії.

Список використаної літератури:

1. Лавриненко В. И. Электрошлифование инструментальных материалов / В. И. Лавриненко. – Київ : Наук. думка, 1993. – 156 с.
2. Effect of phase transition on micro-grinding-induced residual stress / Zishan Ding, Gaoxiang Sun, Miao Xian Guo // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2020. – Vol. 281. – Pp. 63–72.
3. Пат. України на корисну модель №131894, МПК (2018.01) B24B 1/00. Спосіб електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів / Стрельчук Р. М., Узунян М. Д. – № u 201806851; заявл. 18.06.2018; опубл. 11.02.2019. – Бюл. № 3.
4. Probing the effect of grinding-heat on material removal mechanism of rail grinding / Pengfei Zhang, Wulin Zhang, Yongjie Yuan // *Tribology International*. – 2020. – Vol. 147. – Pp. 131–139.

5. Gutsalenko Yu. Exploitative destruction features for detonation ultra-dispersed diamonds of initial metallic protection for abrasive powder grains to diamond-spark grinding tools / Yu. Gutsalenko, C. Iancu, S. Bratan // *Fiability & Durability*. – 2015. – Supplement No. 1 (14). – Pp. 3–8.
6. Кобзарь Л. Е. Прогрессивное алмазно-искровое шлифование / Л. Е. Кобзарь, В. А. Фадеев, Н. К. Беззубенко. – Харьков : ХГПУ – ХНПО «ФЭД», 1995. – 152 с.
7. Koshy P. Mechanism of Material Removal in Electrical Discharge Diamond Grinding / P. Koshy, V. K. Jain, G. K. Lal // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 1996. – Vol. 36, Iss. 10. – Pp. 1173–1185
8. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. В 10 т. Т. 4. Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов / под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. – Одесса : ОНПУ, 2002. – 802 с.

References:

1. Lavrinenko, VI 1993, *Jelektroshlifovanie instrumentalnyh materialov*, Naukova dumka, Kiev.
2. Zishan Ding, Gaoxiang Sun & Miao Xian Guo 2020, 'Effect of phase transition on micro-grinding-induced residual stress', *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 281, pp. 63-72.
3. Strelchuk, RM & Uzunian, MD 2019, *Sposib elektroeroziinoho almaznoho shlifuvannia zi zminnoi poliarnistiu elektrodiv*, UA Patent 131894.
4. Pengfei Zhang, Wulin Zhang & Yongjie Yuan 2020, 'Probing the effect of grinding-heat on material removal mechanism of rail grinding', *Tribology International*, vol. 147, pp. 131-139.
5. Gutsalenko, Yu, Iancu, C & Bratan, S 2015, 'Exploitative destruction features for detonation ultra-dispersed diamonds of initial metallic protection for abrasive powder grains to diamond-spark grinding tools', *Fiability & Durability*, suppl. no. 1 (14), pp. 3-8.
6. Kobzar, LE, Fadeev, VA & Bezzubenko, NK 1995, *Progressivnoe almazno-iskrovoe shlifovanie*, Harkovskij gosudarstvennyj politechnicheskij universitet, HNPO FJeD, Harkov.
7. Koshy, P, Jain, VK & Lal, GK 1996, 'Mechanism of Material Removal in Electrical Discharge Diamond Grinding', *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 36, iss. 10, pp. 1173-1185.
8. Novikov, FV & Jakimov, AV (eds.) 2002, *Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroenija*, vol. 4 Teorija abrazivnoj i almazno-abrazivnoj obrabotki materialov, Odesskij nacionalnyj politehnicheskij universitet, Odessa.

Стаття надійшла до редакції 10 квітня 2021 р.

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ШВІВ ПРИ ЗВАРЮВАННІ МАГНІТОКЕРОВАНОЮ ДУГОЮ З НЕПЛАВКИМ КАТОДОМ

© Сітніков Б.В., Маршуба В.П.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Інформація про авторів:

Сітніков Борис Валентинович: ORCID: 0000-0003-2581-1486; sitnikovboris@ outlook.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри зварювання; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.

Маршуба В'ячеслав Павлович: ORCID: 0000-0003-1426-6240; marshuba_vp@ outlook.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри зварювання; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.

У статті розглянуто деякі аспекти фізико-технологічних особливостей формування зварних швів у магнітному полі струму, що протікає по прямолінійному провіднику, розташованому над хвостовою частиною зварювальної ванни, в площині стику, що зварюється, перпендикулярно електроду при зварюванні з підвищеною швидкістю магнітокерованою дугою з неплавким катодом. А також показані результати досліджень при зварюванні з підвищеною швидкістю магнітокерованою дугою, та їх вплив утворення підрізів зварного шва. При дослідженні фізичних явищ виникаючих при зварюванні з підвищеною швидкістю магнітокерованою дугою з неплавким катодом встановлено, що немає істотних протиріч, між однієї точки зору, коли одні дослідники розглядають умови формування шва на основі загального закону рівноваги діючої і протидіючої сил, тоді як інші акцентують увагу на особливостях утворення дефектів у зв'язку з порушеннями цієї рівноваги, що викликається просторовими змінами положення дуги, як джерела нагріву і перерозподілом щільності лоренцевих сил по розплаву зварювальної ванни.

На підставі проведених досліджень по встановленню особливостей формування зварних швів при зварюванні з підвищеною швидкістю магнітокерованою дугою з неплавким катодом, описано поведінку зварювальної дуги з вольфрамовим катодом в магнітному полі струму, що протікає по прямолінійному провіднику, розташованому над хвостовою частиною зварювальної ванни, в площині стику, яка зварюється, перпендикулярно електроду.

Наведено також відомості, що встановлені при проведенні дослідів, про деякі особливості формування швів і стійкості неплавких електродів марок ЕВЛ і ЕВЛ-3 в магнітному полі бічного струмопідведення, які можуть бути використані при зварюванні з підвищеною швидкістю магнітокерованою дугою з неплавким катодом.

Ключові слова: зварювання, вольфрамовий електрод, аргон, шов, підрізи, провідник, струм, поперечне магнітне поле, електромагнітні сили, відхилення дуги.

Sitnikov B., Marshuba V. "Some features of weld formation in the process of welding with the help of a magneto-controlled arc with non-fusible cathode". The article considers some aspects of physical and technological features of weld formation in a magnetic field of current flowing along a rectilinear conductor located above the tail of the welding bath in the plane of the welded joint perpendicular to the electrode in high speed magneto-controlled welding. The results of research on welding with the increased speed by a magneto-controlled arc, and their influence on

formation of undercuts of a weld are also shown. In the study of the physical phenomena arising from high-speed welding of a magnetically controlled arc with a non-fusible cathode, it is established that there are no significant contradictions, except for one point of view, when some researchers consider the conditions of seam formation on the basis of the general law of equilibrium of acting and counteracting forces, while others focus on the features of the formation of defects due to violations of this balance caused by spatial changes in the arc position as a source of heat and redistribution of density of Lorentz forces on a melt of a welding bath.

Based on the research into establishing the peculiarities of the formation of welds in high-speed welding of a magnetically controlled arc with a non-fusible cathode, the behavior of a welding arc with a tungsten cathode in a magnetic field flowing through a rectilinear conductor located above the tail which is welded perpendicular to the electrode is described.

The information established during the experiments on some features of seam formation and stability of non-fusible electrodes of EVL and EVL-3 brands in the magnetic field of lateral current supply, which can be used in high-speed welding of a magneto-controlled arc with non-fusible cathode, is also given.

Keywords: WELDING, TUNGSTEN ELECTRODE, ARGON, SEAM, CUTTINGS, CONDUCTOR, CURRENT, TRANSVERSE MAGNETIC FIELD, ELECTROMAGNETIC FORCES, STRENGTHS.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Одним із шляхів збільшення продуктивності процесу зварювання, зниження енергоємності, скорочення тривалості перебування металу в області несприятливих температур, зменшення залишкових напружень і деформацій є зварювання з підвищеною швидкістю. Однак підвищення швидкості дугового зварювання вище певного значення, як правило, призводить до утворення протяжних підрізів. Таке явище має місце практично при всіх способах дугового зварювання, небезпека виникнення дефектів зростає зі збільшенням струму і швидкості зварювання [1-3]. Тому розробка способів, що дозволяють підвищити якість формування шва при зварюванні з підвищеною швидкістю, залишається однією з актуальних проблем у цій галузі.

Аналіз досліджень і публікацій по темі статті

Природа утворення підрізів ще повністю не вивчена. Автори роботи [1] вважають, що формування шва є результатом взаємодії двох сил: тиску дуги і сили тяжіння рідкого металу, витісненого цим тиском. Динамічна рівновага рідкого металу в зварювальній ванні, при якому забезпечується нормальне формування швів, досягається при перевищенні тиску рідкого металу ванни над тиском дуги в результаті зміни товщини шару розплаву під дугою. За суті аналогічну схему утворення підрізів приводять і автори роботи [4, 13]. Які вважають, що підрізи утворюються в тих випадках, коли мінімальний рівень рідкого металу співпадає з максимальною шириною ванни, де починається кристалізація у кромок шва, яка виявляється нижче поверхні основного металу внаслідок значного нахилу дзеркала ванни. Чим вище сила тиску дуги, тим більше нахил дзеркала ванни і більше величина підрізу. Відповідно до іншої точки зору [5, 15], утворення підрізів при зварюванні з підвищеною швидкістю пов'язано з відхиленням дуги в сторону шва, що викликає більш інтенсивне витіснення розплаву в хвостову частину зварювальної ванни. Внаслідок цього стає більше розрив у часі між проплавленням і заповненням рідким металом канавки, що утворюється. Істотний вплив на формування швів при зварюванні можуть надавати і об'ємні електромагнітні сили, що виникають в рідкому металі в результаті взаємодії магнітних полів струмів, що протікають по дузі, рідкого металу ванни і з'єднуються деталям. Результати, що отримані в роботі [6, 14],

свідчать про те, що в залежності від напрямку зварювання щодо токоподвода, утворюються об'ємні сили, які можуть змінювати розташування зварювальної ванни і, як наслідок, робити істотний вплив на формування шва. Автори роботи [7] вважають, що гранична швидкість зварювання, при якій утворюються підрізи, визначається шириною шва і діаметром силової плями дуги, та обмеженим тиском здатним викликати відтискування металу ванни з бічних стінок.

Поява дефектів, з їх точки зору, відповідає рівності діаметра силового плями дуги і ширини ванни. Вивчаючи особливості формування швів при зварюванні неплавким електродом в аргоні автори роботи [8] приходять до висновку тому, що утворення підрізів визначається силою тиску дуги, масою металу зварювальної ванни, фізичними властивостями основного металу і швидкістю його охолодження. Однак тут же підкреслюється, що загальна форма критичних кривих відношення струм / швидкість зварювання для різних матеріалів наводить на думку, що явище утворення підрізів може бути пов'язано, швидше, з природою дугового зварювання, ніж виключно з властивостями зварюваного металу. Тому автори вважають, що найбільш перспективним шляхом ліквідації підрізів є зменшення сили тиску дуги на розплав зварювальної ванни. Для формування швів без підрізів при зварюванні з підвищеною швидкістю вдаються до відхилення дуги "кутом вперед" в напрямку зварювання керуючим магнітним полем [9]. Спосіб здійснюють пристроєм, який містить електромагніт, що складається з сердечника, основної обмотки, яка підключена до стороннього джерела струму, додаткової обмотки, що включена послідовно в ланцюг джерела живлення дуги, електрода і виробу. Здійснення даного способу вимагає наявності складних і громіздких електромагнітів для створення поперечного магнітного поля в зоні горіння дуги, а також наявності додаткового джерела живлення для створення основного поперечного магнітного поля, що ускладнює здійснення способу і конструкцію пристрою.

Для формування швів без підрізів при зварюванні з підвищеною швидкістю вдаються до відхилення дуги "кутом вперед" в напрямку зварювання керуючим магнітним полем [9]. Цей спосіб здійснюють пристроєм, що містить електромагніт, який складається з сердечника, основної обмотки, що підключена до стороннього джерела струму, додаткової обмотки, яка включена послідовно в ланцюг джерела живлення дуги, електрода і виробу. Здійснення даного способу вимагає наявності складних і громіздких електромагнітів для створення поперечного магнітного поля в зоні горіння дуги, а також наявності додаткового джерела живлення для створення основного поперечного магнітного поля, що ускладнює здійснення способу і конструкцію пристрою.

Виклад основного матеріалу

Досліди проводилися при автоматичному зварюванні пластин зі сталі 12X18H10T розміром 2×150×400 мм. Зварювання стикових швів виконували на постійному струмі прямої полярності в нижньому положенні вольфрамовим електродом в аргоні на автоматі АДСВ-2М. Вимірювання величини підрізу h проводили за допомогою інструментального мікроскопа. Стійкість вольфрамових катодів марок ЕВЛ і ЕВІ-3 діаметром 4 мм визначали при конічній симетричній, конічній асиметричній і плоскою клиновий формах їх робочої частини при кутах заточення 20, 45 і 60 градусів. Витрату електрода оцінювали за втратою його маси. Геометрію дуги визначали по фотографіях, стан робочої частини електрода – за допомогою металографічних досліджень. Схема пристрою для введення в зону зварювання керуючого магнітного поля наведена на рис. 1. У пристрої встановлено джерело живлення 1 зварювальної дуги 2, один з полюсів якого через опору $R1$, $R2$ і прямолінійний провідник 3, розташований в площині стику, що зварюється над хвостовою частиною зварювальної ванни

4, приєднаний до електрода 5, а інший до виробу 6. При запаленні дуги 2 на зварюваній виробі 6, струм, що пропускають по провіднику 3, який визначається співвідношенням опорів $R1$ і $R2$, створює магнітне поле, взаємодія якого із зварювальним струмом I_{zs} дуги призводить до виникнення електромагнітних сил, які відхиляють її «кутом вперед» в напрямку зварювання. При $R1 \rightarrow \infty$ по провіднику 3 протікає весь зварювальний струм, електромагнітні сили і, як наслідок, відхилення дуги «кутом вперед», досягають своїх максимальних значень.

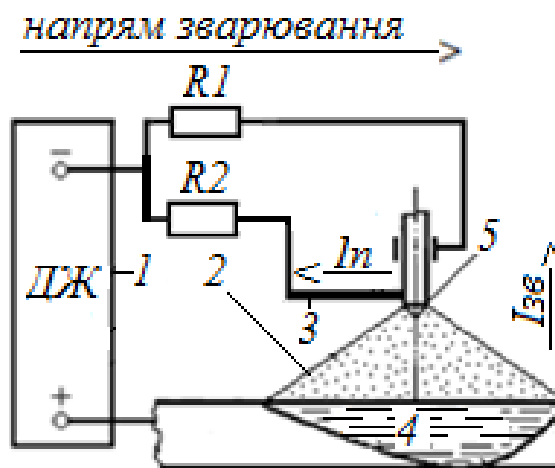


Рис 1 – Принципова схема пристрою для проведення дослідів:
1 – джерело живлення; 2 – зварювальна дуга; 3 – прямолінійний провідник; 4 – зварювальна ванна; 5 – електрод; 6 – виріб, що зварюють

Для якісної оцінки процесів, що відбуваються тут, можна прийняти таке припущення, що на одиницю довжини дуги в цьому випадку діють три такі різні за своїм характером сили [10]: сила $F1$ – взаємодії зварювального струму I_{zs} в дузі із зовнішнім магнітним полем $F1 = \kappa_1 \cdot I_{zs} \cdot B$; електро-магнітна сила $F2$, що перешкоджає деформації дуги $F2 = \kappa_2 \cdot I_{zs}^2$; газодинамічна сила $F3$, що виникає в результаті наявності потоків плазми $F3 = \kappa_3 \cdot I_{zs}^2$, де B – вектор магнітної індукції; $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ – коефіцієнти пропорційності. Сила $F1$ деформує дугу, сили $F2$ і $F3$ перешкоджають цієї деформації. Склавши ставлення сил, що деформують, і сил опору, отримуємо: $F1 / (F2 + F3) = \kappa_1 / (\kappa_2 + \kappa_3) \cdot B / I_{zs}$. З останнього рівняння випливає, що зі збільшенням зварювального струму I_{zs} , при незмінній величині індукції. У поперечного магнітного поля, сили, стабілізуючі дугу, ростуть швидше, ніж сили, що її відхиляють. Це означає, що з підвищенням швидкості зварювання, коли величина зварювального струму I_{zs} зростає, відхилення дуги «кутом вперед» зменшується, витіснення розплаву в хвостову частину зварювальної ванни збільшується, ймовірність утворення підрізів зростає. При зварюванні в магнітному полі струму, що протікає по провіднику 3, збільшення зварювального струму призводить до одночасному зростанню всіх трьох сил $F1$, $F2$ і $F3$, кута α відхилення дуги «кутом вперед» повинен змінюватися в незначних межах і визначатися лише умовами проведення зварювальних робіт.

Відхилення зварювальної дуги «кутом вперед» в магнітним полем струму, що протікає по провіднику 3, вивчали шляхом її фотографування з подальшим фотометрування плівок на Мікрофотометр МФ-2 за напрямками, перпендикулярним осі електрода (рис. 2). Використовували фотоапарат «Зеніт Е». Режим фотографування: світлофільтр марки Е-2; витримка 1:25; діафрагма 5.6; світлочутливість фотоплівки 130 од. Отримання після

фотографування негативні кадри дуги на фотоплівці фотометрівать по лініях, що знаходяться на відстані $\Delta = 0,5$ мм від основи. За одиницю інтенсивності засвітки негативу приймали величину, звану відносною інтенсивністю засвіткі $S = \lg A_0 / A$, де A_0 – відлік за шкалою мікрофотометра для незасвічених плівок; A – то ж, тільки для засвічених точок на негативі.

Оптимальний розмір щілини мікрофотометра, що забезпечує достатню чутливість вимірів, знаходився в межах 3 мм. Інтервал фотометрування брали, виходячи з можливостей приладу МФ-2, що дорівнює 0,5мм. Залежність $\lg \alpha$ від величини струму I_n визначали з відношення $\lg \alpha = x / (1\delta - \Delta)$, де α – кут відхилення дуги; 1δ – довжина дуги; x – відстань від максимальних фотопочернень нормально палаючої дуги і дуги в магнітному полі струму I_n .

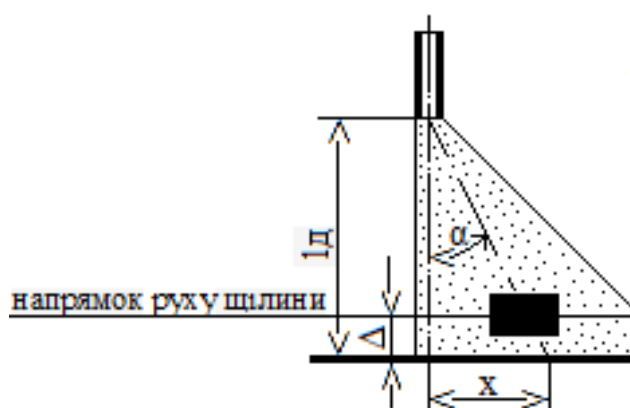


Рис. 2 – Схема фотометрування плівок

Результати проведених експериментів наведені на рис. 3. Як видно з наведених залежностей, в досліджуваному інтервалі струмів зварювальна дуга в аргоні з вольфрамовим катодом добре керується магнітним полем струму I_n у межах кута $\alpha \in [0..34^\circ]$ і практично мало залежить від величини зварювального струму.

Пальники типу ДПА для автоматичного зварювання неплавким електродом в захисних газах з боковим струмопідведенням у вигляді прямолінійного провідника були апробовані при зварюванні пластин зі сталі типу 18-10. За базової технології зварювання хромонікелевої аустенітної сталі 12Х18Н10Т товщиною до 3 мм проводили без оброблення крайок за один прохід вольфрамовим електродом в аргоні дугою постійного струму прямої полярності. Спроби підвищення продуктивності зварювальних робіт, шляхом форсування режиму по току і швидкості зварювання, приводили до утворення протяжних підрізів (рис. 4, а) і нестабільності формуванні зворотного валика. Шви або не мали зворотного валика, що при мають місце випадкових коливань струму і геометрії крайок з'єднання призводить до непроварення в корені шва, або при збільшенні оператором зварювального струму з метою отримання зворотного валика великих розмірів, які гарантують проварення при випадкових змінах режиму і геометрії крайок, в шві утворюються пропали (рис. 4, б).

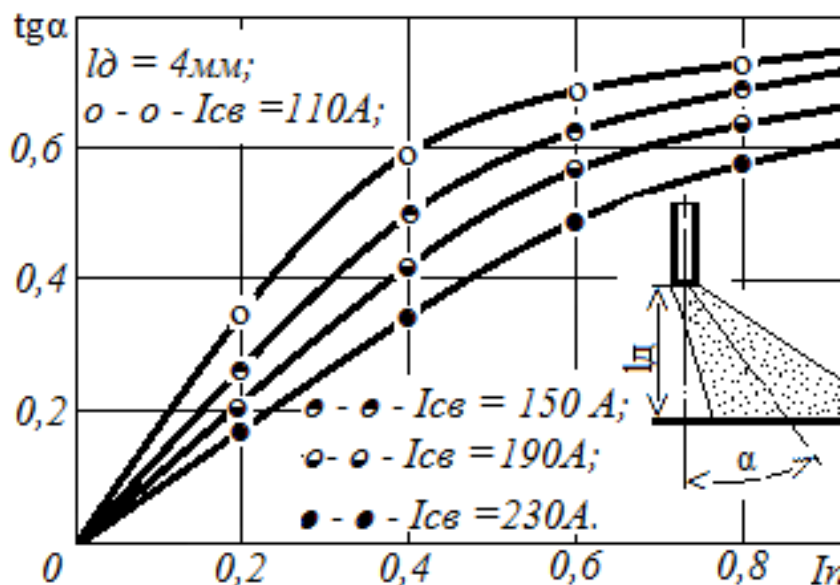
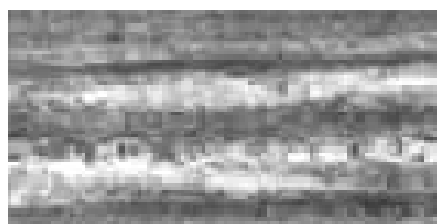
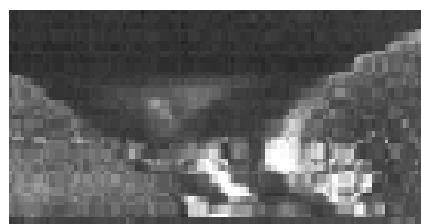


Рис. 3 – Залежність кута відхилення зварювальної дуги від величини струму в бічному струмовідводі



а



б

Рис. 4 – Дефекти формування шва при зварюванні з підвищеною швидкістю:

а – підрізи; б – пропали; $V_{зс} = 80 \text{ м/год.}$; $I_n = 0$

При зварюванні в магнітному полі струм, що протікає по прямолінійному провіднику, розташованому над хвостовою частиною зварювальної ванни, в площині стику, що зварюється, перпендикулярно електроду, швидкість зварювання, при якій забезпечується якісне формування шва, може бути істотно збільшена (рис. 5). Так збільшення струму I_n , що протікає за прямолінійним провіднику від нуля до $0,5 I_{зс}$ призводило до наступних змін величини підрізу h : при $V_{зс} = 60 \text{ м/год.}$ від 0,15 до 0,0 мм; при $V_{зс} = 70 \text{ м/год.}$ від 0,25 до 0,0 мм; при $V_{зс} = 80 \text{ м/год.}$ від 0,35 до 0,05 мм; при $V_{зс} = 90 \text{ м/год.}$ від 0,4 до 0,1 мм; при $V_{зс} = 100 \text{ м/год.}$ від 0,6 до 0,2 мм; при $V_{зс} = 110 \text{ м/год.}$ від 0,8 до 0,3 мм; при $V_{зс} = 120 \text{ м/год.}$ від 1,1 до 0,5 мм. При $I_n = I_{зс}$ шви формувалися без підрізів при швидкостях зварювання досягають 110 м/год., пропали не спостерігалося (рис. 6).

Якість з'єднання, отриманого при зварюванні електродів, що не плавиться, в чималому ступені залежить від стану його робочої частини [11]. У процесі зварювання, особливо при тривалому горінні дуги, стан робочої частини електрода змінюється (порушується його поверхню, форма та ін.), Що призводить до втрати просторової стійкості дуги і порушення початкового розподілу температури і силового впливу дуги.

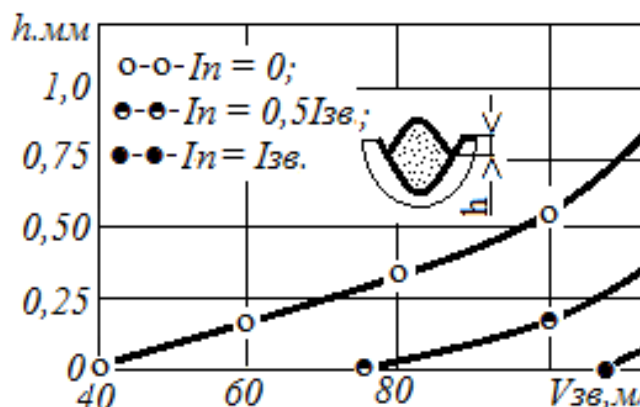
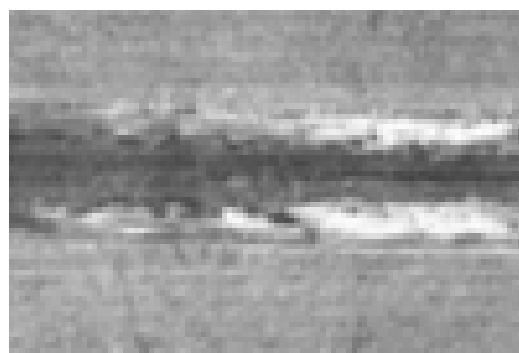


Рис. 5 – Характер зміни величини підрізу з підвищенням струму I_p і швидкості зварювання

Рис. 6 – Формування шва при зварюванні в магнітному полі струму I_n :

$$V_{12} = 100 \text{ м/год.}; I_n = I_{12}$$



Для електродів з боковим струмопідведенням у вигляді прямолінійного провідника характерна підвищена інтенсивність охолодження робочої ділянки, що надає неоднозначний вплив на можливість існування дуги з розосередженою катодною плямою. З одного боку, при інтенсивному охолодженні зони катодної плями, повинна зменшуватися його площа [12]. З іншого боку, інтенсивне охолодження робочої ділянки дозволяє збільшити щільність струму на ньому і в результаті тепловиділення на його омичному опорі. Таким чином, зменшується нерівномірність нагріву робочої ділянки, що сприяє існуванню дуги з розосередженим катодним плямою. Це зумовлює низьку щільність струму на катодній плямі, яка забезпечується без надмірного збільшення його температури і, як наслідок, підвищення стійкості вольфрамового електрода. Результати експериментів показали, що витрата вольфрамового електрода на 100 м / шва при зварюванні з відхиленням дуги «кутом вперед» досягає своїх мінімальних значень при $I_n = I_{12}$, але в основному визначається його маркою, формою і кутом заточування робочої частини. Руйнування лантанованого електрода, після порушення дуги, починається з утворення на деякій відстані від катодної плями кільцеподібного наросту, який з часом, в результаті збільшення і провисання, потрапляє в область більш високих температур, де і оплавляється. При цьому спостерігається блукання дуги, що виникає внаслідок переміщення катодного плями, і погіршення якості формування шва. Аналогічний характер руйнування катода був відзначений і при зварюванні ітрієвими електродами, однак їх стійкість, при всіх значеннях струму I_n , формах і кутах заточення робочої частини, була вище ніж у лантанованій електродах.

Висновок

Показана можливість підвищення продуктивності і якості формування швів при зварюванні електродом, що не плавляється в аргоні сталі 12Х18Н10Т шляхом впливу на дугу і метал зварювальної ванни магнітним полем струму, що протікає за прямолінійним провіднику, розташованому над хвостовою частиною зварювальної ванни, в площині стику, що зварюється, перпендикулярно електроду.

Список використаних джерел:

1. Патон Б. Е. Некоторые особенности формирования швов при сварке с повышенной скоростью / Б. Е. Патон, С. Л. Мандельберг, Б. Г. Сидоренко // Автоматическая сварка. – 1971. – № 8. – С. 1–6.
2. Рыбаков А. А. Влияние скорости сварки на первичную кристаллизацию швов низколегированных сталей / А. А. Рыбаков, С. Л. Мандельберг, Л. Г. Шитова. // Автоматическая сварка. – 1980. – № 10. – С. 15–18.
3. Ситников Б. В. Влияние магнитного поля сварочного контура на формирование шва при сварке на весу / Б. В. Ситников, В. П. Маршуба // Сварочное производство. – 2020. – Вип. № 7. – С. 03–08.
4. Ерохин А. А. Влияние угла заточки вольфрамового катода на образование подрезов и газовых полостей при сварке / А. А. Ерохин, В. А. Букаров, Ю. С. Ищенко // Сварочное производство. – 1972. – № 5. – С. 20–22.
5. Ковалёв И. М. Пространственная устойчивость движущейся дуги с неплавящимся катодом / И. М. Ковалёв // Сварочное производство. – 1972. – № 8. – С. 1–3.
6. Мандельберг С. Л. Влияние расположения токоподвода на формирование швов при однодуговой сварке / С. Л. Мандельберг, Б. Г. Сидоренко, В. Е. Лопата // Автоматическая сварка. – 1976. – № 8. – С. 11–15.
7. Чернышов Г. Г. Влияние теплового потока и давления дуги на предельную скорость сварки / Г. Г. Чернышов, В. Л. Ковтун // Сварочное производство. – 1985. – № 2. – С. 14–15.
8. Жуковский Б. Д. Влияние предварительного подогрева на скорость аргоно-дуговой сварки труб / Б. Д. Жуковский, Л. Н. Зильберштейн, Е. П. Петрунин // Сварочное производство. – 1968. – № 9. – С. 11–13.
9. А. с. 546446 СССР, М. Кл. В23К 9/08. Способ сварки магнитоуправляемой дугой и устройство для его осуществления / И. М. Ковалев, В. А. Судник, А. С. Рыбаков, Е. Н. Хорошев ; Тульский политехн. ин-т, Москов. трубный завод. – № 2110565/27 ; Заявл. 06.03.1975; Оpubл. 15.02.1977, Бюл. № 6. – * л.
10. Акулов А. И. Об отклонении дуги в поперечном магнитном поле / А. И. Акулов, Л. К. Мартинсон, И. М. Ковалёв // Сварочное производство. – 1969. – № 11. – С. 43–45.
11. Ерохин А. А. Влияние геометрии вольфрамового катода на некоторые характеристики сварочной дуги и проплавление металла / А. А. Ерохин, В. А. Букаров, Ю. С. Ищенко // Сварочное производство. – 1971. – № 12. – С. 17–19.
12. Фролов В. В. Теория сварочных процессов / В. В. Фролов. – М. : Высш. школа, 1988. – 559 с.
13. Dmitrik V. Recrystallization in the metal of welding Joist / V. Dmitrik, A. Glushko, A. Tsaryk // Вопросы атомной науки и техники. – 2019. – № 5. – С. 49–52.
14. Глушко А. В. Ползучесть металла сварных соединений паропроводов / А. В. Глушко, В. В. Дмитрик, Т. А. Серенко // Металлофизика новейшие технологии. – 2018. – Т. 40, № 5. – С. 683–700.
15. Сітніков Б. В. Використання інтегрованих технологій при визначенні поперечних деформацій металу в зоні шва при аргоно-дуговому зварюванні алюмінію марки АД0 / Б. В. Сітніков, В. П. Маршуба // *Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад.* – Харків, 2019. – Вип. 24. – С. 115–123.

References:

1. Paton, BE, Mandelberg, SL & Sidorenko, BG 1971, 'Nekotorye osobennosti formirovaniya shvov pri svarke s povyshennoj skorostju' [Some features of the formation of seams when welding at an increased speed], *Avtomaticheskaja svarka*, no. 8, pp. 1-6.

2. Rybakov, AA, Mandelberg, SL & Shitova, LG 1980, 'Vlianie skorosti svarki na pervichnuju kristallizaciju shvov nizkolegirovannyh stalej' [Influence of welding speed on primary crystallization of seams of low-alloy steels], Mandelberg, *Avtomaticheskaja svarka*, no. 10, pp. 15-18.
3. Sitnikov, BV & Marshuba, VP 2020, 'Vlianie magnitnogo polja svarochnogo kontura na formirovanie shva pri svarke na vesu' [Influence of the magnetic field of the welding circuit on the formation of the seam during welding by weight], *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 7 (1028), pp. 03-08.
4. Erokhin, AA, Bukarov, VA & Ishchenko, YS 1972, 'Vlianie ugla zatочки volframovogo katoda na obrazovanie podrezov i gazovyh polostej pri svarke' [Influence of the angle of sharpening of a tungsten cathode on the formation of undercuts and gas cavities during welding], *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 5, pp. 20-22.
5. Kovalev, IM 1972, 'Prostranstvennaja ustojchivost dvizhushhejsja dugi s nepla-vjashhimsja katodom' [Spatial stability of a moving arc with a nonconsumable cathode], *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 8, pp. 1-3.
6. Mandelberg, SL, Sidorenko, BG & Lopata, VE 1976, 'Vlianie raspolozhenija tokopodvoda na formirovanie shvov pri odnodugovoj svarke' [Influence of the current lead location on the formation of seams in single-arc welding], *Avtomaticheskaja svarka*, no. 8, pp. 11-15.
7. Chernyshov, GG & Kovtun, VL 1985, 'Vlianie teplovogo potoka i davlenija dugi na predelnuju skorost svarki' [Influence of heat flow and arc pressure on the limiting welding speed], *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 2, pp. 14-15.
8. Zhukovsky, BD, Zilbershtein, LN & Petrunin, EP 1968, 'Vlianie predvaritelnogo podogreva na skorost argono-dugovoj svarki trub' [Influence of preheating on the speed of argon-arc welding of pipes], *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 9, pp. 11-13.
9. Kovalev, IM, Sudnik, VA, Rybakov, AS & Horoshev, EN 1977, *Sposob svarki magnitoupravljaemoj dugoj i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija*, USSR Avtorskoe svidetelstvo 546446, cl. B23K 9/08, 15.02.77.
10. Akulov, AI, Martinson, LK & Kovalev, IM 1969, 'Ob otklonenii dugi v poperechnom magnitnom pole' [On the deviation of the arc in the transverse magnetic field], *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 11, pp. 43-45.
11. Erokhin, AA, Bukarov, VA & Ishchenko, YS 1971, 'Vlianie geometrii volframovogo katoda na ne kotorye harakteristiki svarochnoj dugi i proplavlenie metala' [Influence of the geometry of a tungsten cathode on some characteristics of the welding arc and metal penetration], *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 12, pp. 17-19.
12. Frolov, VV 1988, *Teorija svarochnykh processov* [Theory of welding processes], Vysshaja shkola, Moskva.
13. Dmitrik, V, Glushko, A & Tsaryk, A 2019, 'Recrystallization in the metal of welding Joist', *Voprosy atomnoj nauki i tehniki*, no. 5 (123), pp. 49-52.
14. Glushko, A, Dmitrik, V & Serenko, TA 2018, 'Polzuchest metalla svarnyh soedinenij paroprovodov' [Creep of metal welded joints of steam pipelines], *Metallofizika novejshe tehnologii*, vol. 40, no. 5, pp. 683-700.
15. Sitnikov, BV & Marshuba, VP 2019, 'Vykorystannia intehrovanykh tekhnolohii pry vyznachenni poperechnykh deformatsii metalu v zoni shva pry arhono-duhovomu zvariuvanni aliuminiiu marky AD0' [The use of integrated technologies in determining the transverse deformations of the metal in the weld zone during argon-arc welding of aluminum grade AD0], *Mashynobuduvannia*, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, iss 24, pp. 115-123.

Стаття надійшла до редакції 12 квітня 2021 року

DOI 10.32820/2079-1747-2021-27-67-75

УДК 621.923.01

ПЕРЕДУМОВИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ РІЗАННЯ ПРИ СТРІЧКОВОМУ ШЛІФУВАННІ З УРАХУВАННЯМ ЗАТУПЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ

©Кондратюк О.Л., Скоркін А.О.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Кондратюк Олег Леонідович: ORCID: 0000-0002-3263-0483; kondratyuk.mot@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Скоркін Антон Олегович: ORCID: 0000-0003-3032-8341; antonskorkin20@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Відмінною особливістю сучасного шліфувального обладнання є значне підвищення рівня його автоматизації на базі систем числового програмного керування. Прагнення механізувати і автоматизувати обробку складнопрофільних поверхонь деталей машин привело до створення цілої низки спеціальних і спеціалізованих шліфувальних верстатів, що працюють за методом обкатки або копіювання з використанням жорстких абразивних кіл різного профілю і абразивних інструментів на гнучкій основі (стрічок, дисків, шкурки).

Для ефективного використання верстатного обладнання необхідно призначати оптимальні режими шліфування, що враховують конкретні умови обробки і забезпечують потрібні якісні показники операції: точність деталей, шорсткість поверхонь, відсутність прижогів і тріщин та ін.

У статті розглянуті питання збільшення продуктивності обробки при одночасному підвищенні якості, надійності і довговічності виробів машинобудування і застосування у виробництві нових технологій, в тому числі на основі абразивної обробки. До таких технологій відноситься процес стрічкового шліфування криволінійних поверхонь турбінних лопаток, на багатокоординатному обладнанні з ЧПК. Даний метод обробки інтенсивно розвивається і відноситься до області високих технологій, оскільки дозволяє вийти на новий рівень виробництва, що виключає подальше доопрацювання поверхонь лопаток за допомогою ручної праці.

Представлені результати теоретичних й експериментальних досліджень процесу стрічкового шліфування криволінійних поверхонь турбінних лопаток. Відображена математична модель залежності параметра шорсткості поверхні від таких змінних факторів як зернистість стрічки, зусилля притискання стрічки й лінійна швидкість на поверхні заготовки.

Ключові слова: стрічкове шліфування, процес різання, контактна взаємодія, шорсткість поверхні, математичне моделювання, адаптивне керування.

Kondratyuk O., Skorkin A. "Prerequisites for adaptive control of the cutting process for belt grinding with regard to tool bluntness "

A distinctive feature of modern grinding equipment is a significant increase in the level of its automation based on numerical control systems. The desire to mechanize and automate the processing of complex-profile surfaces of machine parts has led to the creation of a number of

special and specialized grinding machines operating by the rolling or copying method using hard abrasive wheels of various profiles and abrasive tools on a flexible basis (belts, discs, skins).

For the effective use of machine tools, it is necessary to prescribe the optimal grinding modes, taking into account the specific processing conditions and providing the necessary quality indicators of the operation: accuracy of parts, surface roughness, absence of burns and cracks, etc.

The article discusses the issues of increasing the productivity of processing while improving the quality, reliability and durability of mechanical engineering products and the use of new technologies in production, including those based on abrasive processing. These technologies include the process of belt grinding of curved surfaces of turbine blades on multi-axis CNC equipment. This method of processing is intensively developing and belongs to the field of high technologies, since it allows reaching a new level of production, excludes further refinement of the surfaces of the blades by means of manual labor.

The results of theoretical and experimental studies of the process of belt grinding of curved surfaces of turbine blades are presented. The mathematical model of the dependence of the surface roughness parameter on such variable factors as the grain size of the tape, the pressing force of the tape and the linear velocity on the surface of the workpiece is reflected.

Keywords: belt grinding, cutting process, contact interaction, surface roughness, mathematical modeling, adaptive control.

Вступ

Перспективним напрямом вирішення завдання збільшення продуктивності обробки, при одночасному підвищенні якості, надійності довговічності виробів машинобудування є застосування у виробництві нових технологій, в тому числі на основі абразивної обробки. До таких технологій відноситься процес стрічкового шліфування турбінних лопаток на лентошліфувальних верстатах з ЧПК, який інтенсивно розвивається і приймається за основу при створенні так званих високих технологій [5, 17].

Для подібних верстатів керуючі програми складаються з метою максимального наближення одержуваного профілю до теоретичного. Від цього залежать доопрацювання на наступних операціях ручного полірування, які повинні бути повністю виключені або зведені до мінімуму.

В існуючому технологічному процесі шліфування операційний контроль походить від одних і тих же технологічних баз. При цьому одночасно здійснюють комплексний контроль геометричних розмірів профілю:

- зміщення профілю від кореневого перетину лопатки;
- зміщення профілів лопатки один щодо одного в тому чи іншому перерізі;
- кута розвороту профілю в кожному перетині.

Наявність жорстких допусків на кожен контрольований параметр призводить до необхідності доопрацювання проточної частини. Велика кількість одночасно контрольованих параметрів і подальша доробка профілів значно збільшують трудомісткість обробки. Основними причинами відхилення профілю лопатки від теоретичного є: вплив коливання припуску, створені на попередній операції, які повторюються на остаточно обробленій поверхні; знос стрічки призводить до зменшення знімання матеріалу в процесі обробки при цьому, похибка обробки по лопатці може досягати при чорновому шліфуванні $\delta = 0,15 - 0,25$ мм, при чистовому $\delta = 0,05 - 0,1$ мм; при обробці опуклих і увігнутих ділянок різної кривизни змінюється площа поверхні контакту стрічки і лопатки, що призводить до зміни контактного тиску при постійному зусиллі притиску в діапазоні $\pm 20\%$ від номінального, а це призводить до коливань знімаемого припуску; інерційність рухомих

вузлів верстата приводить до змін притискного зусилля і нерівномірного знімання металу на ділянках різкої зміни траєкторії; при обробці крайніх ділянок відбувається зменшення площі зони контакту через обмеженість заготовки, це призводить до збільшення питомого тиску в зоні контакту, в результаті відбувається підвищення глибини знімання матеріалу.

Відсутність теорії, практичних рекомендацій і методик, необхідних для отримання необхідної точності і якості оброблених поверхонь на багатокоординатних ленто-шліфувальних верстатах призводить до прямої залежності якості обробки від кваліфікації оператора і обумовлює необхідність в доопрацюванні проточної частини за допомогою ручного полірування [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Великий внесок у розвиток стрічкового шліфування і в застосування еластичного абразивного інструменту, внесли такі вчені: К. С. Мітрівіч, В. Н. Везуб, Ю. М. Зубарєв, А. Ф. Бабошкін, Н. В. Костін, Л. А. Паньков, Ф. С. Юнусов, Ю. Я. Фельдман, С.Ю. Степанов, С.Г. Бішутін. Аналіз сучасного стану технології шліфування нескінченними абразивними стрічками фасонних поверхонь за літературними джерелами показує, що в цій області виконано значний обсяг наукових досліджень, що дозволили оптимізувати цей метод для різних умов обробки і широко впровадити його в промисловість [1-4].

Досить повно визначені режими стрічкового шліфування, характеристики гнучкого абразивного інструменту, їх вплив на продуктивність процесу, якість поверхні і техніко-економічні показники при шліфуванні ряду конструкційних матеріалів або певної групи деталей, що мають складну форму поверхні [16-19].

У значно меншій мірі розроблені питання теорії процесу стрічкового шліфування, не приведений аналіз конструкції інструменту, практично не вивчена кінематика і динаміка гнучкого абразивного інструменту та стрічково-шліфувальних верстатів спеціального призначення, не освітлені методи керування динамічною структурою процесу і технологічні передумови для його керування з використанням сучасних засобів програмного та адаптивного регулювання [13-15]. Відсутня загальна класифікація абразивного інструменту та стрічко-протяжних механізмів верстатів, побудованих на базі вузлового агрегування [10]. Недостатньо повно розкриті технологічні особливості і можливості нового методу стрічкового шліфування з урахуванням високих демпфуючих здібностей абразивного інструменту [7-9]. Тому тільки глибоке вивчення механіки процесу стрічкового шліфування і супутніх фізичних явищ дозволить підійти до розгляду складних взаємопов'язаних процесів, що відбуваються в контакті гнучкого абразивного інструменту з деталлю при різанні [20].

Мета і завдання дослідження

Підвищення ефективності шліфування абразивними стрічками шляхом адаптивного керування параметрами контактної взаємодії інструмента із заготовкою.

Виклад основного матеріалу

Розглянутий метод шліфування може бути реалізований у вигляді жорсткої або гнучкої схем обробки. При жорсткій (розмірної) схемі (верстати ЛШ-1А (рис.1)) за допомогою спеціального копіра або еталонної деталі весь припуск з заготовки знімається за один або кілька проходів з певною глибиною різання t_{ϕ} . При гнучкій схемі (безрозмірна обробка на верстатах з ЧПК фірми «METABO MTS 1000-6 NC» (Німеччина)(рис.2)) в якості копіра використовується сама оброблювана заготовка, до якої притискається з певною силою

притиску ($P_{\text{прит}}$) абразивний інструмент, тобто процес шліфування йде при радіальній силі різання $P_y = P_{\text{прит}} / \cos \varphi$. При цьому глибина різання $t_{\text{ф}}$ є змінною величиною, яка відрізняється від інших параметрів режиму шліфування [3].

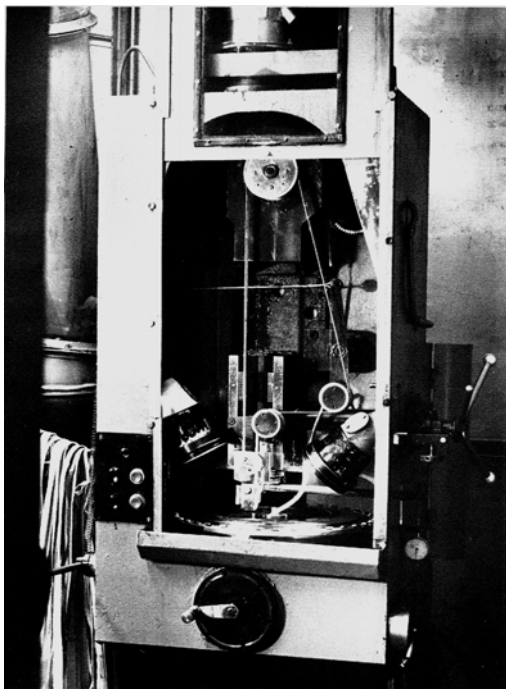


Рис. 1 - ВерстатЛШ-1А

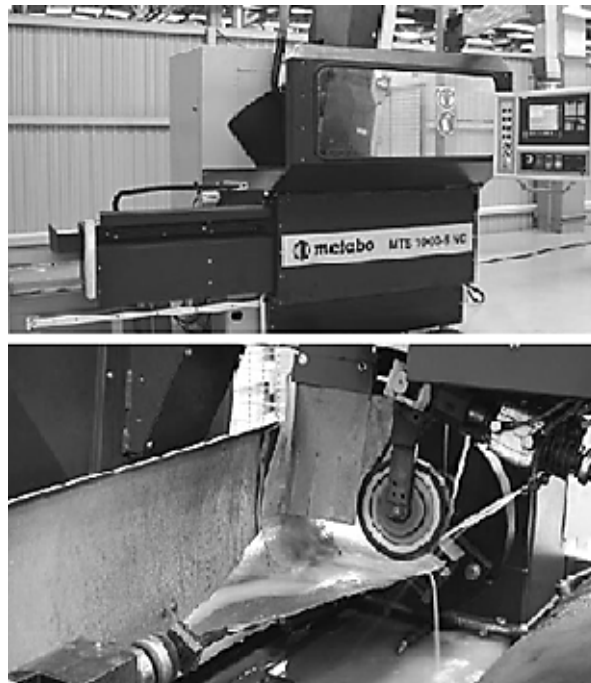


Рис. 2 - Верстат з ЧПК фірми «Metabo»

При русі абразивної стрічки зі швидкістю різання (V_c) разом з контактним роликком, що обертається щодо своєї осі O_1 (див. рис.3), лопатка переміщається уздовж своєї поздовжньої осі зі швидкістю $V_{\text{сход.}}$. Після кожного поздовжнього ходу інструмент (ролик з абразивної стрічкою) зміщується в поперечному напрямку на величину $S_{\text{перет.}}$. Залежно від доцільності і конструктивного виконання верстата замість поступальної поперечної подачі може здійснюватися періодична кругова подача на рядок ($S_{\text{перет.}}$) з поворотом самої заготовки щодо її поздовжньої осі.

При русі столу із заготівлею в напрямку $V_{\text{сход.}}$ абразивні зерна, розташовані біля краю стрічки, першими приймають на себе все навантаження по зніманню припуску товщиною $t_{\text{ф}}$ і відразу починають інтенсивно зношуватися, даючи можливість брати участь в шліфуванні і іншим зернам, розташованим ближче до середини стрічки. При зворотному ході столу після зсуву інструмента на рядок в поперечному напрямку ($S_{\text{перет.}}$), відповідно більше зношуються ріжучі зерна, розташовані ближче до іншого краю стрічки. Таким чином, на поверхні стрічки з обох сторін утворюються «забірні конуси» з кутом нахилу $\alpha_{\text{з.к.}} = 1 \dots 2^\circ$ при шліфуванні прямолінійного і похилого вниз, по ходу руху столу, ділянок профілю оброблюваної лопатки (див. рис.3).

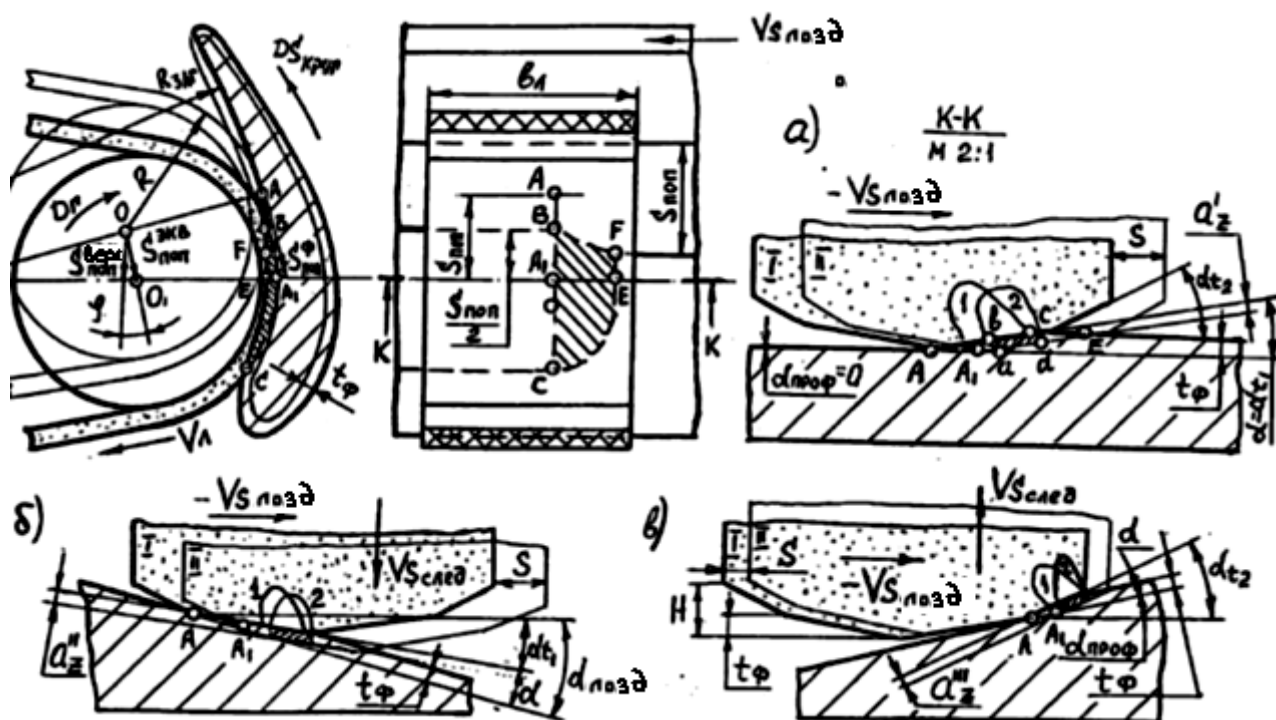


Рис. 3 - Розміри плями контакту і шарів металу, зрізаних окремими ріжучими зернами при профільному стрічковому шліфуванні поздовжніми рядками; а) шліфування горизонтальної ділянки профілю пера лопатки; б) шліфування в сторону зниження профілю; в) шліфування в сторону підйому профілю[7]

При обробці похилої вгору, по ходу шліфування, ділянки профілю оброблюваної лопатки крайні зерна додатково зношуються з утворенням ближче до краю стрічки ще одного «забірного конуса» з кутом $\alpha_{1,2} = 8 \dots 10^\circ$. Пляма контакту між заготовкою і абразивної стрічкою з урахуванням «забірних конусів» і попередніх робочих проходів, має трапецієдну форму. Ширина зони контакту (в напрямку руху $V_{\text{позд}}$) - $\lambda = t_{\phi} / \sin \alpha$. Максимальний розмір плями контакту по довжині $b = \lambda_k$. Величина λ_k являє собою довжину дуги контакту між шліфувальним інструментом з радіусом зовнішньої поверхні R і заготовкою з радіусом кривизни в точці контакту $R_{\text{заг}}$. Подібно схемі круглого шліфування $\lambda_k = t_{\phi}^{0,5} \cdot [R_{\text{заг}} \cdot 2R / (R_{\text{заг}} \pm R)]^{0,5}$, де знак (+) - для випадку шліфування спинки; знак (-) - для шліфування корита. Для прямолінійних ділянок профілю $R_{\text{заг}} = \infty$. При поперечній подачі на рядок фактична подача $S_{\text{нон}}^{\phi} = \frac{S_{\text{факт}}}{\cos \varphi} \left(\frac{R_{\text{заг}}}{R_{\text{заг}} \pm R} \right)^{1,5}$. При круговій подачі на рядок навколо поздовжньої осі заготовки $S_{\text{нон}}^{\phi} = S_{\text{крув}}^{\phi} \cdot \frac{2\pi R_{\text{заг}} [R_{\text{заг}} / (R_{\text{заг}} \pm R)]^{0,5}}{360^\circ}$, град/хід. Площа зони контакту стрічки з лопаткою

$$F_k = t_{\phi}^{0,5} \cdot [R_{\text{заг}} \cdot 2R / (R_{\text{заг}} \pm R)]^{0,5} / \sin \alpha. \quad (1)$$

Середня товщина, зрізаних окремими ріжучими зернами шарів металу, залежить від зернистості стрічки, ступеня її зносу, режимів обробки і кута нахилу поздовжньої утворюючої профілю пера лопатки.

$$\alpha_{\text{згред}} = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\text{позд}} \cdot N / (V_s \cdot K_3^{0,75}), \text{ мм}, \quad (2)$$

де K_3 - коефіцієнт затуплення стрічки; на середніх ділянках стрічки $K_3 = 0,5 \dots 1,0\%$; на крайніх ділянках стрічки $K_3 = 1,5 \dots 2,0\%$; N - зернистість стрічки 10^{-2} мм.

На основі виконаного дослідження зміни стану робочої поверхні стрічок у міру зносу з урахуванням впливу температури на теплофізичні характеристики матеріалу оброблюваних деталей і самого інструменту, визначені функціональні залежності основних вихідних параметрів процесу стрічкового шліфування від режимів обробки, фізичних і розмірних характеристик деталі і інструменту, ступеня його затуплення і умов застосування змашувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) [5].

Схема шліфування по копіру (розмірна обробка)

Максимальна контактна температура в зоні шліфування

$$\theta_k = 50 \cdot K_{\text{ЗОР}} \left[\frac{\sigma_s \cdot \alpha_s (300 + V_s \cdot V_{\text{спозд}}^{-0.5} \cdot N \cdot M_s) \cdot N^{-1}}{M + 5.4 / (V_{\text{спозд}} \cdot t_{\text{ф}})^{0.8}} \right]^{0.4}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3)$$

де σ_s - тимчасовий опір розриву, МПа; α_s - коефіцієнт введення тепла в деталь з урахуванням його відводу в інструмент і контактний ролик $\alpha_s = 0,7 \dots 0,8$; V_s - швидкість стрічки, м/с; $V_{\text{спозд}}$ - швидкість поздовжньої подачі, м/хв; $t_{\text{ф}}$ - фактична глибина різання з урахуванням жорсткості технологічної системи, мм; M - розмірний коефіцієнт, що враховує теплофізичні характеристики матеріалу деталі: для жароміцних сталей $M_{\text{ж}} = 1,9$; для вуглецевих, низько- і середньо легованих сталей $M_{\text{вугл}} = 3,1$; $K_{\text{ЗОР}}$ коефіцієнт використання ЗОР: при сухому шліфуванні $K_{\text{ЗОР}} = 1,1$; при охолодженні поливом $K_{\text{ЗОР}} = 1$.

Дотична складова сили різання при $\theta_k \leq 600^\circ\text{C}$

$$P_{\text{дат}}^{600} = \sigma_s \cdot t_{\text{ф}}^{1.5} \left(\frac{R_{\text{розд}} \cdot R}{R_{\text{розд}} \pm R} \right)^{0.5} \left(\frac{24 \cdot V_{\text{розд}}}{V_s \cdot N} + 0,08 \cdot K_s \right), \text{ Н}, \quad (4)$$

при $\theta_k > 600^\circ\text{C}$

$$P_{\text{дат}} = P_{\text{дат}}^{600} \cdot 3 \cdot 10^3 \theta_k^{-1.25}, \text{ Н}. \quad (5)$$

Радіальна складова сили різання при $\theta_k \leq 600^\circ\text{C}$

$$P_{\text{рад}}^{600} = \sigma_s \cdot t_{\text{ф}}^{1.5} \left(\frac{R_{\text{розд}} \cdot R}{R_{\text{розд}} \pm R} \right)^{0.5} \left(\frac{29 \cdot V_{\text{розд}}}{V_s \cdot N} + 0,5 \cdot K_s \right), \text{ Н}, \quad (6)$$

при $\theta_k > 600^\circ\text{C}$

$$P_{\text{рад}} = P_{\text{рад}}^{600} \cdot 3 \cdot 10^3 \theta_k^{-1.25}, \text{ Н}. \quad (7)$$

Ефективна потужність різання

$$N_e = P_{\text{дат}} \cdot V \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (8)$$

Інтенсивність шліфування

$$Q_s = 16,7 V_{\text{розд}} \cdot t_{\text{ф}} \cdot S_{\text{перп}}^{\text{перп}} \left(\frac{R_{\text{розд}}}{R_{\text{розд}} \pm R} \right)^{1.5} / \text{ см}^3 \cdot \text{мм}^3 / \text{с}. \quad (9)$$

де $S_{\text{перп}}^{\text{перп}}$ - поперечна подача столу верстата, мм/хід;

Питома робота шліфування

$$A_{\text{нит}} = N_e / Q_s, \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{мм}^3} \left(\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{мм}^3} \right). \quad (10)$$

Глибина поширення прижогів від поверхні деталі, що шліфується

$$h_{\text{прижж}} = \frac{A t_{\text{ф}}^{2,5}}{V_{\text{шліф}}^{2,5}} \cdot \theta_K^x \cdot \ln \frac{\theta_K}{500}, \text{мм} \quad (11)$$

де для жароміцних сталей $A_{\text{ж}} = 0,3$; $X_{\text{ж}} = 0,25$; для вуглецевих і нержавіючих сталей $A_{\text{вугл}} = 2 \cdot 10^2$; $X_{\text{вугл}} = -0,75$.

Безрозмірне шліфування (верстати «Metabo»)

Для даної схеми шліфування характерно те, що глибина шліфування $t_{\text{ф}}$ безпосередньо залежить від сили притиску ($P_{\text{приж}}$) стрічки до деталі. Тому, в першу чергу, визначається $P_{\text{приж}}$, необхідна для зняття шару металу $t_{\text{ф}}$

$$P_{\text{приж}}^{600} = P_{\text{рад}}^{600} \cdot \cos \varphi \cdot t_{\text{ф}}^{1,5} \cdot \cos \varphi \cdot \sigma_s \left(\frac{R_{\text{заг}} R}{R_{\text{заг}} + R} \right)^{0,5} \left(\frac{29 \cdot V_{\text{шліф}}}{V_{\text{с}} \cdot N} + 0,5 \cdot K_z \right), \text{Н} \quad (12)$$

Значення $P_{\text{приж}}^{600}$ коригується з урахуванням величини контактної температури, що розраховується за виразом (3).

При $\theta_K > 600^\circ\text{C}$.

$$P_{\text{приж}} = P_{\text{приж}}^{600} \cdot 3 \cdot 10^3 \theta_K^{-1,25}, \text{Н} \quad (13)$$

Дотична складова сили різання при

$$P_{\text{зан}}^{600} = \frac{P_{\text{приж}} (24 V_{\text{шліф}} + 0,08 K_z \cdot V_{\text{с}} \cdot N)}{\cos \varphi (29 V_{\text{шліф}} + 0,08 K_z \cdot V_{\text{с}} \cdot N)}, \text{Н} \quad (14)$$

Ефективна потужність різання (N_e), питома робота ($A_{\text{пит}}$), інтенсивність шліфування (Q_s) і глибина прижогів ($h_{\text{прижж}}$) визначаються відповідно за виразами (8) ... (11), а контактна температура - по (3) [3-4, 9].

Для рівномірного зняття припуску товщиною $t_{\text{ф}}$ на різних ділянках профілю пера лопатки зі змінними радіусами кривизни $R_{\text{заг}}$ і кутом тиску ролика φ , необхідно відповідно регулювати силу притиску ролика $P_{\text{приж}}$. Крім того силу притиску треба збільшувати і в міру затуплення абразивної стрічки, тобто при збільшенні K_z [18, 19].

Висновки

Встановлені нами функціональні залежності вихідних параметрів процесу стрічкового шліфування від технологічних умов дозволяють зробити висновок про необхідність створення адаптивної системи регулювання сили притиску ролика в залежності від зміни ріжучих властивостей абразивної стрічки [10].

Список використаних джерел:

1. Experimental Research on the Abrasive Belt Grinding Turbine Blades Material 1Cr13 Stainless Steel / H. L. Wu, Y. Huang, Z. Huang, G. J. Cheng // Key Engineering Materials. – 2011. – Vol. 487. – Pp. 452–456.
2. Hong L. Research on Accuracy of Abrasive Belt Grinding / Li Hong // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 101-102. – Pp. 1101–1104.
3. Бишутин С. Г. Обеспечение требуемой совокупности параметров качества поверхностных слоев деталей при шлифовании / С. Г. Бишутин. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 144 с.
4. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали (Монография) / Грабченко А. И., Кальченко В. И., Кальченко В. В. — Чернигов: ЧГТУ, 2009. — 356 с.

5. Волков Д. И. Разработка модели абразивной ленты, учитывающей стохастические факторы / Д. И. Волков, А. А. Коряжкин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 6. – С. 28–35.
6. Зубарев Ю. М. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов / Ю. М. Зубарев, А. В. Приемышев. – СПб. : Лань, 2010. – 303 с.
7. Ищенко Г. И. О финишной обработке рабочей части лопаток паровых турбин / Г. И. Ищенко, Р. М. Стрельчук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. – Харків, 2018. – № 6. – С. 119–126.
8. Калинин Е. П. Теория и практика управления производительностью шлифования без прижогов с учетом затупления инструмента / Е. П. Калинин. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 358 с.
9. Калинин Е. П. Физические закономерности процесса шлифования / Е. П. Калинин // Диагностика, ремонт, эксплуатация, восстановление, модернизация оборудования. Современные технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – СПб. : ПИМаш, 2005. – С. 129–131.
10. Кондратюк О. Л. Создание технологической системы для шлифования сложнопрофильных поверхностей крупногабаритных лопаток турбин на основе адаптивного управления процессом / О. Л. Кондратюк // Резание и инструмент в технологических системах. – 2013. – Вып. 83. – С. 146–154.
11. Кондратюк О. Л. Высокотехнологическое обеспечение шлифования сложнопрофильных поверхностей крупногабаритных лопаток турбин / О. Л. Кондратюк // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2013. – № 11. – С. 98–102.
12. Кондратюк О. Л. Технологическая система для высокопроизводительной механической обработки лопаток паровых турбин / О. Л. Кондратюк, А. О. Скоркин // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2012. – № 10. – С. 105–114.
13. Коряжкин А. А. Оптимизация процесса ленточного шлифования на многокоординатных станках с ЧПУ // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 3. С. 84–89.
14. Коряжкин А. А. Повышение точности ленточного шлифования широкохордных лопаток компрессора ГТД на станках с ЧПУ / А. А. Коряжкин, В. В. Михрютин // Инженерный журнал. – 2008. – № 7. – С. 7–11.
15. Макаров В. Ф. Математическое моделирование процесса полирования лопаток газотурбинных двигателей / В. Ф. Макаров, Е. Н. Бычина, А. О. Чуян //Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 8. – С. 11–14.
16. Полетаев В. А. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога / В. А. Полетаев, Д. И. Волков. – М. : Машиностроение, 2009. – 272 с.
17. Полетаев В. А. Ленточное шлифование крупногабаритных лопаток газотурбинных двигателей на станках ЧПУ / В. А. Полетаев, В. В. Михрютин, А. А. Коряжкин // Инженерный журнал. – 2005. – № 12. – С. 7–11.
18. Соколова Л. С. Шлифование абразивными лентами с постоянной силой прижима / Л. С. Соколова. – М. : Спутник, 2005. – 146 с.
19. Тарасюк А. П. Оптимізація траєкторії руху інструменту при обробці поверхні пера лопаток парових турбін / А. П. Тарасюк, О. Л. Кондратюк // Резание и инструменты в технологических системах : междунар. научн.-техн. сб. –Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. – Вып. 82. – С. 270–280.
20. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения : в 10 т. Т. 7: Точность обработки деталей машин / под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. – Одесса : ОНПУ, 2004. – 546 с.

References:

1. Wu, HL, Huang, Y, Huang, Z & Cheng, GJ 2011, 'Experimental Research on the Abrasive Belt Grinding Turbine Blades Material 1Cr13 Stainless Steel', *Key Engineering Materials*, vol. 487, pp. 452-456.
2. Hong Li 2012, 'Research on Accuracy of Abrasive Belt Grinding', *Applied Mechanics and Materials*, vol. 101-102, pp. 1101-1104.
3. Bishutin, SG 2004, *Obespechenie trebuemoj sovokupnosti parametrov kachestva poverhnostnyh sloev detalej pri shlifovanii* [Providing the required set of quality parameters for the surface layers of parts during grinding], Mashinostroenie-1, Moskva.
4. Grabchenko A. I. Grinding with crossing axes of the tool and parts (Monograph) / Grabchenko A. I., Kalchenko V. I., Kalchenko V. V. - Chernigov: ChSTU, 2009. - 356 p.
5. Volkov, DI & Koryazhkin, AA 2021, 'Razrabotka modeli abrazivnoj lenty, uchityvajushhej stohasticheskie faktory' [Development of a model of an abrasive belt that takes into account stochastic factors], *Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii*, no. 6, pp. 28-35.

6. Zubarev, YuM & Priemyshev, AV 2010, *Teoriya i praktika povysheniya jeffektivnosti shlifovaniya materialov* [Theory and practice of increasing the efficiency of grinding materials], Lan, Sankt-Peterburg.
7. Ishchenko, GI & Strelchuk, RM 2018, 'O finishnoj obrabotke rabochej chasti lopatok parovyh turbin' [On the finishing treatment of the working part of steam turbine blades], *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Seriya Tekhnolohii v mashynobuduvanni*, Kharkiv, no. 6 (1282), pp. 119-126.
8. Kalinin, EP 2009, *Teoriya i praktika upravleniya proizvoditelnostju shlifovaniya bez prizhgov s uchetom zatupleniya instrumenta* [Theory and practice of grinding performance management without burns, taking into account the bluntness of the instrument], *Izdatelstvo Politehnicheskogo universiteta*, Sankt-Peterburg.
9. Kalinin, EP 2005, 'Fizicheskie zakonomernosti procesa shlifovaniya' [Physical laws grinding process], *Diagnostika, remont, jekspluatacija, vosstanovlenie, modernizacija oborudovaniya. Sovremennye tehnologii*, PIMash, Sankt-Peterburg, pp. 129 -131.
10. Kondratyuk, OL 2013, 'Cozдание tehnologicheskoy sistemy dlja shlifovaniya slozhnopofilnyh poverhnostej krupnogabaritnyh lopatok turbin na osnove adaptivnogo upravleniya processom' [Creation of a technological system for grinding complex-profile surfaces of large-sized turbine blades on the basis of adaptive process control], *Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah*, iss. 83, pp. 146-154.
11. Kondratyuk, OL 2013, 'Vysokotehnologicheskoe obespechenie shlifovaniya slozhnopofilnyh poverhnostej krupnogabaritnyh lopatok turbin' [High-tech support for grinding of complex-profile surfaces of large-sized turbine blades], *Mashynobuduvannia*, no. 11, pp. 98-102.
12. Kondratyuk, OL & Skorkin, AO 2012, 'Tehnologicheskaja sistema dlja vysokoproizvoditelnoj mehanicheskoy obrabotki lopatok parovyh turbin' [Technological system for high-performance machining of steam turbine blades], *Mashynobuduvannia*, no. 10, pp. 105-114.
13. Koryazhkin, AA 2011, 'Optimizacija processa lentchnogo shlifovaniya na mnogokoordinatnyh stankah s ChPU' [Optimization of the belt grinding process on multi-axis CNC machines], *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tekhnicheskogo universiteta*, *Vestnik* vol. 15, no. 3, pp. 84-89.
14. Koryazhkin, AA & Mikhryutin, VV 2008, 'Povyszenie tochnosti lentchnogo shlifovaniya shirokohordnyh lopatok kompressora GTD na stankah s ChPU' [Increasing the accuracy of belt grinding of wide-chord blades of a GTE compressor on CNC machines], *Inzhenernyj zhurnal*, no. 7, pp. 7-11.
15. Makarov, VF, Bychina, EN & Chuyan, AO 2011, 'Matematicheskoe modelirovanie processa polirovaniya lopatok gazoturbinyh dvigatelej' [Mathematical modeling of the process of polishing the blades of gas turbine engines], *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*, no. 8, pp. 11-14.
16. Poletaev, VA & Volkov, DI 2009, *Glubinnoe shlifovanie lopatok turbin: biblioteka tehnologa* [Deep grinding of turbine blades: the technologist's library], *Mashinostroenie*, Moskva.
17. Poletaev, VA, Mikhryutin, VV & Koryazhkin, AA 2005, 'Lentchnoe shlifovanie krupnogabaritnyh lopatok gazoturbinyh dvigatelej na stankah ChPU' [Belt grinding of large-sized blades of gas turbine engines on CNC machines], *Inzhenernyj zhurnal*, no. 12, pp. 7-11.
18. Sokolova, LS 2005, *Shlifovanie abrazivnymi lentami s postojannoju siloj prizhima* [Grinding abrasive belts with constant clamping force], *Sputnik*, Moskva.
19. Tarasyuk, AP & Kondratyuk, OL 2012, 'Optimizatsiia traektorii rukhu instrumentu pry obrobtsi poverkhni pera lopatok parovykh turbin' [Optimization of the trajectory of the tool during the cutting of the surface of the airfoil of the blades of steam turbines], *Rezanie i instrumenty v tehnologicheskikh sistemah*, *Nacionalnyj tekhnicheskij universitet Harkovskij politekhnicheskij institut*, Harkov, iss. 82, pp. 270-280.
20. Novikov, FV & Yakimova, AV (eds.) 2004, *Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroeniya*, vol. 7 *Tochnost obrabotki detalej mashin* [Physical and mathematical theory of materials processing and mechanical engineering technology. V. 7. Accuracy of processing of machine parts], *National Polytechnic University*, Odessa.

Стаття надійшла до редакції 28 квітня 2021 року

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

©Скоркін А.О., Кондратюк О.Л.¹, Старченко О.П.², Камчатна-Степанова К. В.³

Українська інженерно-педагогічна академія¹

Харківський радіотехнічний коледж²

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"³

Інформація про авторів:

Скоркін Антон Олегович: ORCID: 0000-0003-3032-8341; Andromeda862@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Кондратюк Олег Леонідович: ORCID:0000-0002-3263-0483; kondr20071@i.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Старченко Олена Павлівна: ORCID:0000-0002-7444-6668; Estarchenko79@gmail.com; заступник директора з навчальної роботи, Харківський радіотехнічний коледж, вул. Сумська 18/20, м. Харків, 61057, Україна

Камчатна-Степанова Катерина Валеріївна: ORCID: 0000-0001-7825-1238; katerina.ks@i.ua; інженер 1 категорії Науково-дослідної частини, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна

Одним зі шляхів підвищення ефективності механообробки є застосування систем моніторингу динамічних параметрів. Вимір і аналіз динамічних параметрів у процесі обробки деталей було дотепер по технічним і економічним причинах непростим завданням, розв'язуваної для окремих випадків застосування. Істотний ріст розвитку мікропроцесорної техніки й програмного забезпечення в останні роки дозволив забезпечити розробку систем моніторингу динамічних параметрів і адаптивного керування, спрямованих на оптимізацію технологічних процесів високопродуктивної обробки й модернізацію металообробного встаткування.

Фрезерна обробка пов'язана із циклічними навантаженнями в обробній системі верстата, які збільшилися за останні роки багаторазово. Збільшення кутової швидкості обертання шпинделя обробних центрів до 20 – 30 тисяч обертів у хвилину, збільшення подачі на зуб і глибини фрезерування суттєво збільшує динамічну складову сил різання. Вимір і аналіз вібраційних процесів у верстаті при обробці дозволяє вивчити динамічні явища, що виникають в обробній системі, а безперервний моніторинг сили різання і її періодичної складової (тобто вібрації) дозволить замкнути обробну систему каналом зворотнього інформаційного зв'язку з метою наступного керування режимами обробки, мінімізуючи супутні коливання й вібрації.

Ключові слова: інструмент, фрезерування, високошвидкісна обробка, обробний центр, вібраційний контроль.

Skorkin A., Kondratyuk O., Starchenko O., Kamchatna-Stepanova K. «Improving the efficiency of milling through the use of dynamic performance monitoring systems»

One of the ways to increase the efficiency of machining is the use of monitoring systems for dynamic parameters. Measurement and analysis of dynamic parameters in the process of machining parts has until now been, for technical and economic reasons, a difficult task that can be solved for individual special cases of application. The significant growth in the development of

microprocessor technology and software in recent years has made it possible to ensure the development of systems for monitoring dynamic parameters and adaptive control aimed at optimizing technological processes of high-performance processing and modernizing metalworking equipment.

Milling is associated with cyclic loads in the machining system of the machine, which have increased many times over in recent years. An increase in the angular speed of rotation of the spindle of machining centers to 20-30 thousand rpm, an increase in feed per tooth and depth of milling significantly increases the dynamic component of cutting forces. Measurement and analysis of vibration processes in the machine during processing allows studying the dynamic phenomena that arise in the processing system, and continuous monitoring of the cutting force and its periodic component (i.e. vibration) will close the processing system with a feedback channel for the purpose of subsequent control of processing modes, minimizing accompanying vibrations and vibrations.

Keywords: tool, milling, high speed machining, machining center, vibration control.

Вступ

Сучасні обробні центри (ОЦ), володіючи широкими технологічними можливостями й значним потенціалом подальшого розвитку, є в цей час найбільш високопродуктивними й самими затребуваними типами багатофункціональних верстатів. На таких верстатах зняття припуску здійснюється інструментом, що поєднують одночасне обертання з лінійним переміщенням інструмента або заготовки. При цьому деталь закріплена на столі верстата або в спеціальному пристосуванні [1].

ОЦ отримали широке поширення за рахунок можливості виконання на одному верстаті декількох видів операцій обробки: розточування, свердління, фрезерування, а також необхідних вимірів. Виконання різних операцій на одному обробному центрі суттєво економічніше, ніж послідовна обробка на декількох спеціалізованих верстатах. Поряд з економією часу ОЦ дозволяє скоротити інвестиційні витрати й витрати, пов'язані з кадровим забезпеченням і виробничою площею [1,2].

Розрізняють горизонтальні й вертикальні ОЦ. Найбільше поширення одержали ОЦ із вертикальним розташуванням шпинделя, це пов'язано зі зручністю технічного обслуговування й скороченням займаної площі. Базова модель ОЦ (Рисунок 1) має три координати з розташуванням шпинделя уздовж осі Z, а 4 і 5 координатні центри на додаток до стандартних координат (X/Y/Z) мають додаткові кутові (A/B/C).

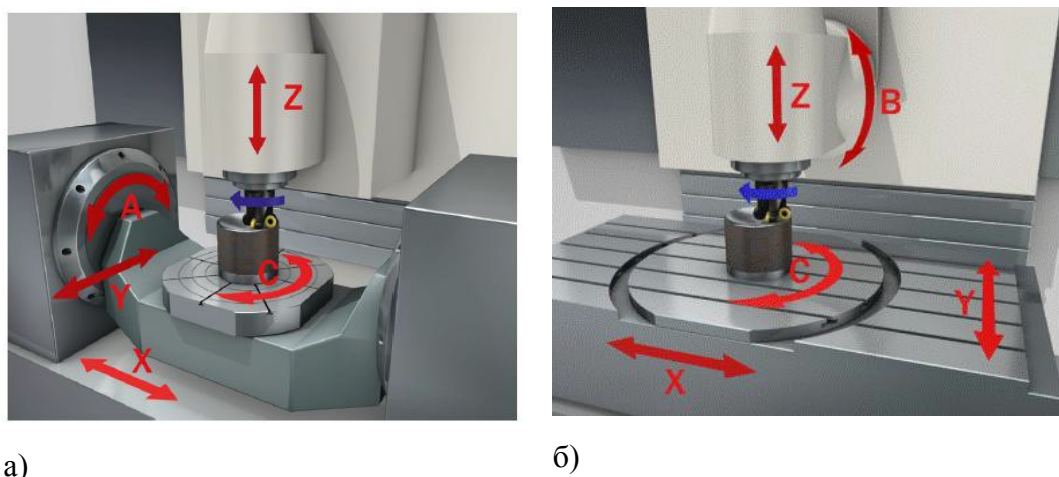


Рис. 1 - Базова модель обробного центру:
а)- з п'ятої віссю А; б)- з п'ятої віссю В

Вісь А паралельна осі Х, вісь В паралельна осі Y і вісь С паралельна осі Z. Як правило, вісь В дозволяє нахилити інструмент, а осі А і С забезпечують обертання оброблюваної заготовки. [3,4]. Наявність в ОЦ кутових координат дозволяє використовувати інструментальні системи з меншим вильотом, що підвищує жорсткість системи й уможливорює обробку на високих швидкостях, як показано на рисунку 2.

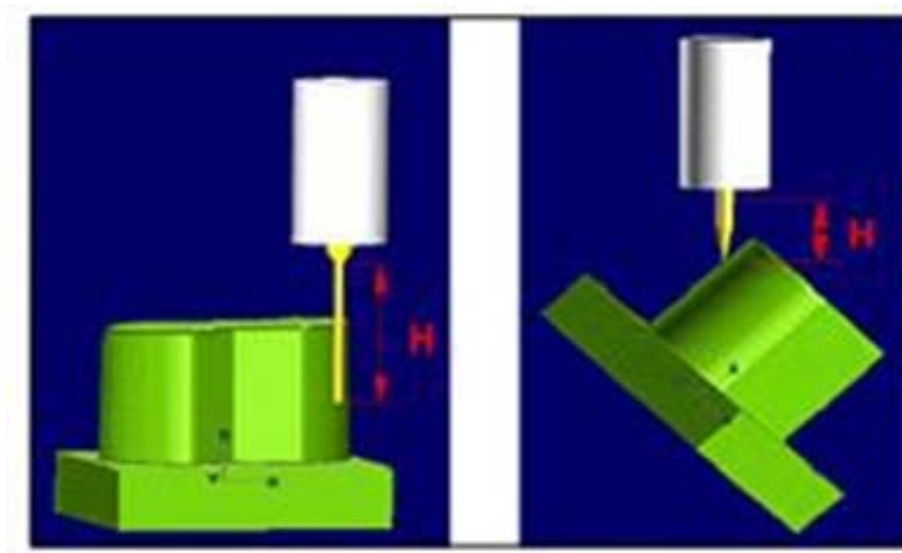


Рис. 2 - Зменшення вильоту інструмента за рахунок використання кутових координат

Багатоваріантність операцій обробки спричиняє використання різних видів інструментальних систем, до складу яких можуть входити патрони різних типів, цанги і т.п. Кожний елемент інструментальної системи має свою точність і твердість. Крім стандартних цангових патронів Ег-Типу, також застосовуються термозатискні, гідравлічні (Hydrogrip) і гідромеханічні (Corgrip) патрони, орієнтовані на високошвидкісну й високопродуктивну технологію обробки [3,4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом існує стійка тенденція впровадження в машинобудівне виробництво високошвидкісної (ВШО) і високопродуктивної (ВПО) обробки [4-6]. В основі цих понять лежить характерно однаковий процес різання. При ньому діючі значення швидкостей різання й подач в 5-10 разів вище, ніж при звичайній обробці.

Незважаючи на високу складність геометрії авіаційних деталей і різний характер виникаючих при їхній обробці проблем, такі деталі можуть бути згруповані на основі загальних ознак, типів оброблюваних елементів і поверхонь, застосовуваних верстатів і способів вирішення виникаючих проблем. Можна виділити кілька типів деталей при обробці яких виникають різні складності:

1) Силкові деталі з ребрами жорсткості із двох сторін, товщиною стінок від 5 мм і товщиною полотен від 3 мм (наприклад, обід шпангоута представлений на рисунку 3). Основна складність при обробці таких деталей – це запобігання вібрації, що виникає через відносно велику висоту стінок деталі. Для обробки потрібні фрези з більшим вильотом. Обробка ведеться на знижених режимах різання.

2) Довгомірні деталі довжиною до 30 м невеликого перетину (наприклад, стрингер).

3) Тонкостінні деталі, оснащені ребрами жорсткості з однієї або двох сторін, з товщиною полотна від 1 мм (наприклад, панель, представлена на рисунку 4). При обробці таких деталей часто виникають жолоблення й вібрації.

4) Деталі, поверхні яких виходять за теоретичний контур літака (наприклад, окантовка дверей літака, рама ліхтаря кабіни пілота). Такі деталі мають складну форму, поверхні одинарної й подвійної кривизни, закриті кишені. При виготовленні застосовується 5-ти осьові верстати й спеціальні грибкові фрези.

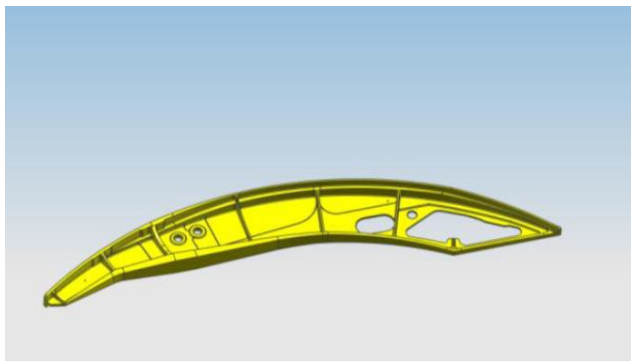


Рис. 3 - Деталь «Обід шпангоута»

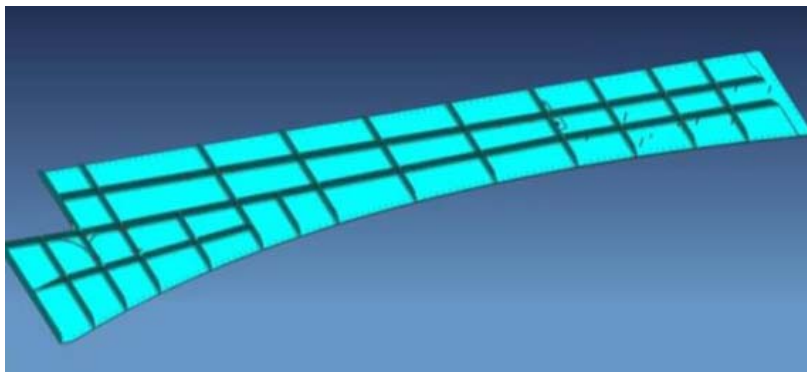


Рис. 4 – Деталь типу «Панель»

При виборі способів підвищення якості й продуктивності обробки деталей важливим критерієм є їхня економічна ефективність, що забезпечує зниження собівартості готових виробів, що особливо актуально в умовах низької серійності виготовлення [4-6].

Постановка проблеми

Одним з найважливіших завдань сучасного машинобудування є одержання максимальної віддачі від дорогих обробних центрів із забезпеченням необхідних якостей поверхні одержуваних деталей. На сьогоднішній день існує велика кількість розроблених методик, що дозволяють підвищити ефективність механообробки, але по різних причинах вони не одержали широке поширення. У таблиці 1. представлені основні методи підвищення ефективності механообробки.

Таблиця 1.1 - Методи підвищення ефективності механообробки

Метод	Спостережувана ефективність
Удосконалювання геометрії й використання спеціальних зносостійких покриттів для різального інструменту	Підвищення надійності процесів різання, стійкості інструмента й поліпшення якості оброблених поверхонь. Скорочення часу операції механообробки.
Удосконалювання САМ,САЕ-систем	Підвищення продуктивності, функціональних властивостей і технологічності деталі
Удосконалювання способів охолодження зони різання	Підвищення надійності процесів різання, стійкості інструмента, зниження витрат на ЗОТС
Вибір оптимальної траєкторії обробки	Скорочення машинного часу обробки, підвищення продуктивності і якості оброблених поверхонь
Оптимізація режимів різання на основі динамічних характеристик обробного встаткування	Ідентифікація зон стабільної обробки, поліпшення якості обробки
Застосування технології високошвидкісної обробки	Підвищення продуктивності, поліпшення якості обробки; зниження сил різання, обробка тонкостінних деталей, підвищення стійкості, зниження витрат на ЗОТС

Сучасної тенденції в області механообробки металів є перехід у зони високошвидкісної обробки (ВШО), при якому значення швидкостей різання й подач різання в десятки й сотні раз вище в порівнянні із традиційною обробкою [5,7,8]. Перехід до технології ВШО має на увазі комплексне залучення в тому або іншому виді всіх доступних методів підвищення ефективності механообробки. Так для забезпечення найменшого контакту стружки з інструментом розробляються нові геометрії й покриття ріжучих крайок, що дозволяють забезпечити найменше тертя [5,7,8]. Охолодний ефект ЗОТС при ВШО не затребуваний, але досить ефективне змазування, що сприяє найкращому ковзанню стружки по інструменту без теплообміну. ВШО висуває особливі вимоги до інструмента, який повинен бути виготовлений переважно із твердих сплавів з різними зносостійкими покриттями. Стійкість інструмента при різних покриттях представлено на рисунку 5.

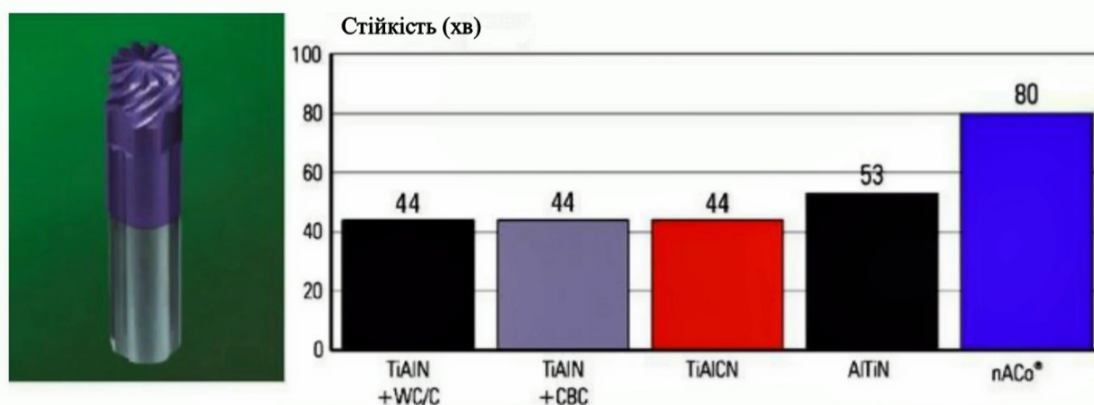


Рис. 5 - Стійкість інструмента при різних покриттях

Метою роботи є дослідження ефективності фрезерної обробки за рахунок використання систем моніторингу динамічних характеристик.

Виклад основного матеріалу

Будь-яке механообробне встаткування має обертові вузли, які створюють механічні коливання й вібрації, що є причиною зниження якості деталей, що випускаються, підвищеного зношування інструмента, передчасного виходу з ладу обробних верстатів. Вібрація в значній мірі визначає показники точності верстатів і характеризує стан вузлів, деталей і їх складових. На верстат, шпиндель, інструмент і заготовку деталі при обробці діє складний комплекс мінливих у часі силових, інерційних і кінематичних збурювань.

Під параметрами вібрації, вимірюваної на шпинделі обробного центру, розуміються тимчасові складові (осцилограми) коливань по трьом взаємно перпендикулярним напрямкам, тобто первинні сигнали вібропришвидження, одержувані датчиками вібрації (п'єзоакселерометрами), а також результати їх обробки при аналізі [6,9,10].

Сили й збурювання, що генерують просторову вібрацію при роботі шпинделя в режимі холостого ходу діляться на:

- ✓ інерційні сили дисбалансів інструмента, оправлення, ротора шпинделя;
- ✓ кінематичні збурювання передані через корпус шпинделі від роботи й дефектів підшипників, від розцентровки опор шпинделя, від роботи зубчастих передач механічного приводу шпинделя;
- ✓ інерційні й кінематичні збурювання на шпинделі від роботи й дефектів механізмів подач;
- ✓ електромагнітні, електродинамічні й магнітострикційні сили від статора й ротора асинхронного або синхронного електродвигунів привода обертання шпинделя або приводів подач;
- ✓ нелінійні пружні реакції на інерційне порушення (залишковий дисбаланс) при дефектах опорної системи: механічних ослаблень нерухливих з'єднань, посадки зовнішніх кілець підшипника, люфтів у підшипнику й рухливих з'єднаннях.

При роботі шпинделя в режимі обробки деталей до силових і кінематичних збурювань холостого ходу додаються періодичні кінематичні збурювання від взаємодії ріжучих крайок інструмента з матеріалом деталі, від порушення автоколивань пов'язаних з дією сил тертя й париметричних коливань через можливі періодичні зміни пружно-, що демпфують параметрів механічної системи. У механічній системі верстата, приводів подач, шпинделя й інструментів найчастіше спостерігаються резонанси й околерезонансні режими роботи, супроводжувані модуляцією інерційних сил порушення. Вони обумовлені більшою кількістю

власних частот механічної системи «верстат – пристосування – інструмент - заготовка» (ВППЗ), частина яких, збігається із частотами інерційного порушення.

Підвищення частоти обертання шпинделя (до 10000 - 20000 хв⁻¹ і більш) приводить до виникнення нових негативних явищ при обробці, пов'язаних з динамічною нестабільністю процесу різання – вібраціями системи ВППЗ. При чорновій обробці масивних заготовок вібрації обумовлені коливаннями шпиндельної групи верстата, що включає властиво шпиндель і інструмент із системою його кріплення. Такі вібрації мають амплітуду порядку товщини стружки й приводять до появи «дроблення» на обробленій поверхні (Рисунок 6). Вібрації знижують якість обробки й ведуть до передчасного руйнування інструмента й підшипників шпинделя. При виникненні вібрацій оператор верстата або технолог зменшують глибину/ширину фрезерування або подачу інструмента, що приводить до зниження продуктивності обробки не дозволяє повною мірою реалізувати потужність привода шпинделя.



Рис.6 - Дроблення на обробленій поверхні в результаті вібрацій інструмента

Обсяг матеріалу, що віддаляється, [см³/хв] визначається вираженням:

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot V_f}{10000},$$

де a_p -глибина фрезерування; a_e – ширина фрезерування; V_f - подача стола;

Підвищення значень перших трьох параметрів фрезерування ($a_p \cdot a_e \cdot v_f$) приводить до росту зусиль у взаємодії «фреза – заготовка». Підвищення частоти обертання шпинделя (відповідне до росту швидкості різання) розширює частотний діапазон впливу сил різання на компоненти системи ВППЗ. У результаті суттєво розширюються діапазони виникнення вібрацій інструмента, закріпленого в шпинделі.

З метою виявлення взаємозв'язки технологічних режимів фрезерної обробки з параметрами генеруємої вібрації, проведені експериментальні дослідження на широко використовуваних типах обробних центрів. При вимірі й аналізі вібрації використовувався багатоканальний (8 каналів) програмно-апаратний комплекс фірми National Instruments (США) з вимірювальними модулями 3-Серії NI-9234 з наступним аналізом параметрів вібрації в середовищі графічного програмування Labview. Виміру вібрації проводилися на наступних типах обробних центрів: DMG HSC 75 Linear; DMC 635 V; DMU 80 P; DMF 500; DMU 50; FFQ 100A.

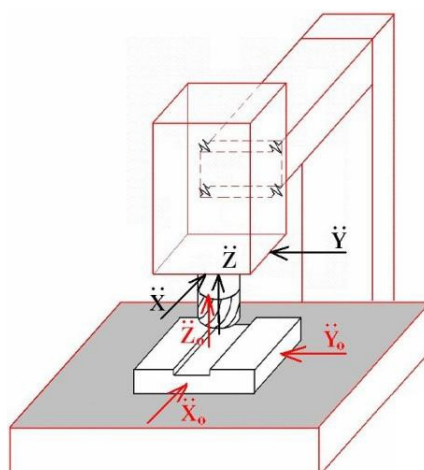


Рис. 7 - Модель шпинделя як твердого тіла із пружно-грузлими зв'язками з напрямними й станиною обробного центру DMC 635V

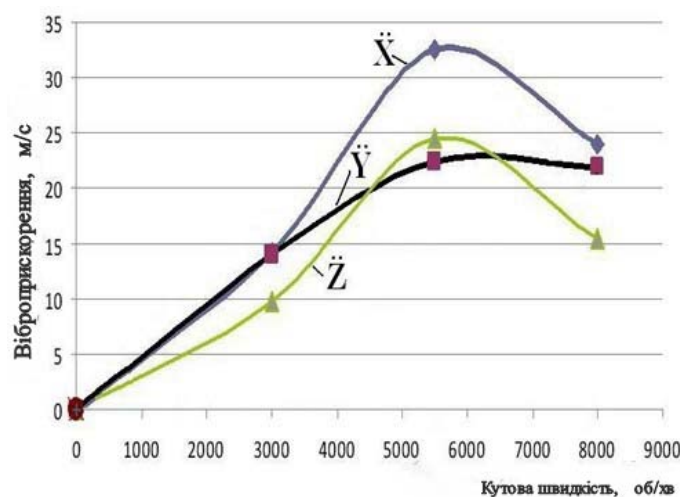


Рис. 8 - Залежність віброприскорення по координатах переміщення шпинделя й стола при збільшенні його кутової швидкості (обробний центр DMC 635V)

Схема виміру вібрації на шпинделі обробного центру «Г-Г-образної» компоновки, наприклад DMC 635V, і на робочому столі верстата представлено на рисунку 7. Випробування верстатів на холостому ходу (без обробки заготовки) проводиться послідовним збільшенням швидкості обертання шпинделя від мінімальної до максимальної. У результаті, одержуємо амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) обробного центру (ОЦ) у режимі вибігу на максимальну частоту обертання шпинделя, наприклад для ОЦ DMC 635V така характеристика представлено на рисунку 8. Середньоквадратичне значення (СКЗ) віброприскорення, що характеризує силові характеристики вібрації, обмірюване на шпинделі зростає до значної величини – $3g$ і більш (Рисунок 8). По напрямках виміру збільшення вібрації нерівномірне, причому, зі збільшенням швидкості обертання шпинделя з 6000 до 9000 об/хв вібрація трохи знижується. Крок зміни кутової швидкості шпинделя був значним – 2500 об/хв. При зменшенні кроку зміни кутової швидкості до 100 об/хв амплітудно-частотна

характеристика верстата й шпинделя буде більш складною – з декількома зонами високої й низької вібрації.

Об'єктом дослідження в режимі обробки була обрана операція високопродуктивного фрезерування алюмінію з фрезою (діаметр 16 мм, число ріжучих крайок - 3) фірми Sandvik. З урахуванням рекомендацій виробника даної фрези були призначені наступні режими різання: швидкість обертання шпинделя $n = 21700$ об/хв; глибина різання $ap = 15$ мм; подача на зуб $fz = 0.18$ мм/зуб. Ширина фрезерування прийнята $ae = 16$ мм.

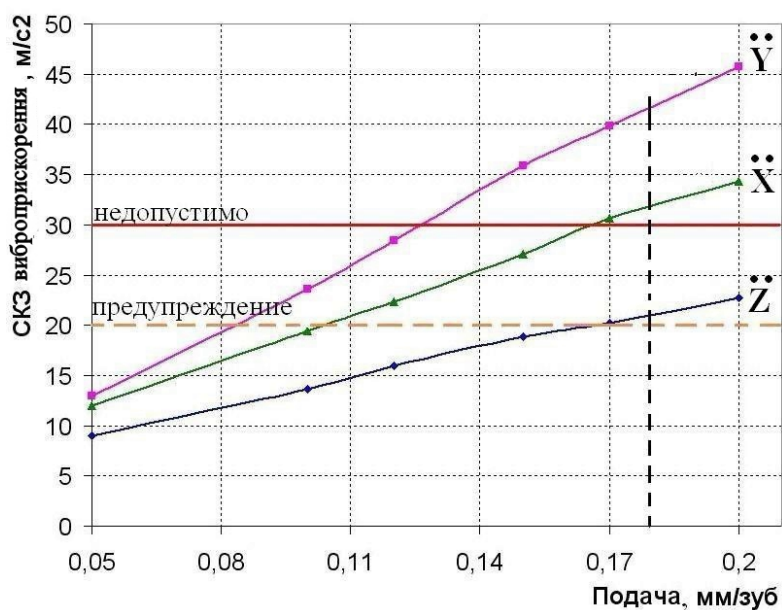


Рис. 9 - Залежність СКЗ віброприскорення на шпинделі від величини подачі

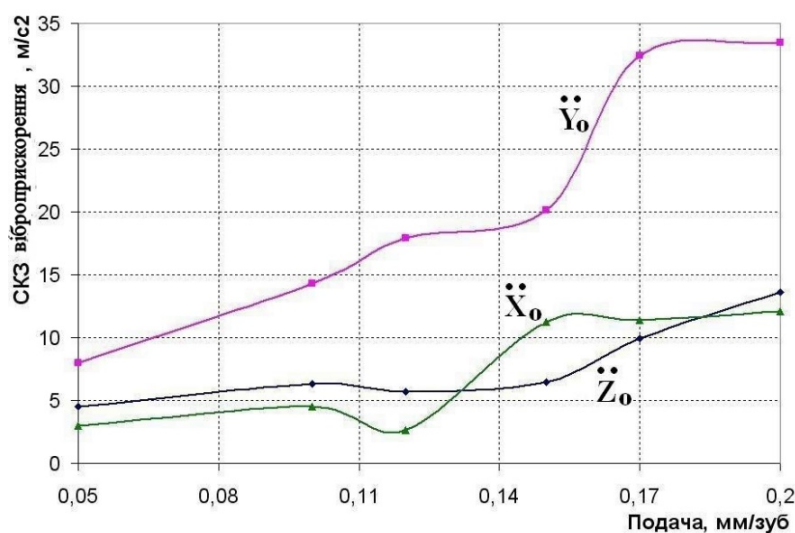


Рис. 10 - Рівень вібрації деталі, за даними датчиків, установлених на столі подачі

За даними експерименту визначалася залежність середньоквадратичного значення віброприскорення від величини подачі (Рисунок 9). На рисунку нанесені рівні неприпустимої вібрації й попередження при частоті обертання шпинделя 21700 хв^{-1} . Рекомендований рівень припустимої вібрації шпинделя (Рисунок 9) визначається виробниками верстата й установлюється в паспортних даних або в їхню відсутність, призначається згідно з нормами ГОСТ ИСО 10816-3-2002 (для потужності електропривода шпинделя від 15 до 300 кВт).

На підставі отриманих даних (Рисунок 9) можна укласти, що вібрація, що виникає на рекомендованій виробником інструмента величині подачі $f_z = 0.18 \text{ [мм/зуб]}$, перевищує гранично припустимий рівень вібрації шпинделя, установлений нормами ГОСТ ИСО 10816-3-2002. Максимальна вібрація шпинделя спостерігається в напрямку перпендикулярному подачі деталі (Y_0), при її обробці. У цім же напрямку (Рисунок 10) збуджується максимальна вібрація деталі (заготовки) (Y_0). Причому, різке збільшення вібрації деталі відбувається в діапазоні подач $f_z = 0.15 - 0.17$.

Висновки

Проведено експериментальні дослідження впливу технологічних режимів фрезерування на рівень вібрації шпиндельного вузла обробного центру, які показали необхідність при реалізації технологій ВПО узгодження режимів різання з рівнем можливої вібрації шпинделя, ріжучого інструменту і деталі.

Список використаних джерел:

1. Вибрации в технике : справочник в 6-ти т. Т. 5: Измерения и испытания / под ред. М. Д. Генкина. – М. : Машиностроение 1981. – 496 с.
2. Неразрушающий контроль : справочник в 8 т. Т. 7 : В 2 кн. Кн. 1: Иванов В. И. Метод акустической эмиссии / В. И. Иванов, И. Э. Власов. Кн. 2 : Вибродиагностика / Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова и др. – М. : Машиностроение. – 2006. – 829 с.
3. Altintas Y. A General Mechanics and Dynamics Model for Helical End Mills / Y. Altintas, P. Lee // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 1998. – № 120(4). – P. 684–692.
4. Campatelli G. Prediction of milling cutting force coefficients for Aluminum 6082-T4 [Electronic resource] / G. Campatelli, A. Scippa // Conference on High Performance Cutting. – 2012. – P. 563–568. – Access mode : <https://goo-gl.su/axpapyh>. (Lastaccessed : 28.04.2021).
5. Improving efficiency of machining the geometrically complex shaped surfaces by milling with a fixed shift of the cutting edge / A. Skorkin, O. Kondratyuk, N. Lamnauer, V. Burdeinaya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 2/1 (98). – P. 60–69.
6. Jayaram S. Analytical stability analysis of variable spindle speed machining / S. Jayaram, S. G. Kapoor, R. E. Devor // ASME J. Eng. Indus. – 2000. – Vol. 122. – Pp. 391–397.
7. Sastry S. Chatter stability analysis of the variable speed face-milling process / S. Sastry, S. G. Kapoor, R. E. Devor // ASME J.130. Eng. Indus. – 2001. – Vol. 123. – Pp. 753–756.
8. Richard Y. Chiou Analysis of acoustic emission in chatter vibration with tool wear effect in turning / Y. Chiou Richard, Y. Liang Steven // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2000. – № 40. – P. 114–118.
9. Engin S. Mechanics and Dynamics of general milling cutters. Part 1: helical end mills / S. Engin, Y. Altintas // International Journal of Machine Tools and Manufac-ture. – 2001. – № 45. – P. 2195–2212.
10. Altintas Y. Manufacturing Automation / Y. Altintas // Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. – Cambridge : University Press, 2012. – 366 p.

References:

1. Genkin, MD (ed.) 1981, *Vibracii v tehnikе: spravochnik*, vol. 5 Izmerenija i ispytaniya, Mashinostroenie, Moskva.
2. Ivanov, VI Vlasov, IJe 2006, 'Metod akusticheskoy jemissii', in *Nerazrushajushhij kontrol*, vol. 7, Mashinostroenie, Moskva.
3. Balickij, FJa, Barkov, AV, Barkova, NA et al. 2006, 'Vibrodiagnostika', in *Nerazrushajushhij kontrol*, vol. 7, Mashinostroenie, Moskva.
4. Altintas, YA & Lee, P 1998, 'General Mechanics and Dynamics Model for Helical End Mills', *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, pp. 684-692.
5. Campatelli, G & Scippa, A 2012, 'Prediction of milling cutting force coefficients for Aluminum 6082-T4', *Conference on High Performance Cutting*, PP. 563-568.
6. Skorkin, A, Kondratyuk, O, Lamnauer, N & Burdeinaya, V 2019, 'Improving efficiency of machining the geometrically complex shaped surfaces by milling with a fixed shift of the cutting edge', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 2/1 (98), pp. 60-69.
7. Jayaram, S, Kapoor, SG & Devor, RE 2000, 'Analytical stability analysis of variable spindle speed machining', *ASME J. Eng. Indus.*, vol. 122, pp. 391-397.
8. Sastry, S, Kapoor, SG & Devor, RE 2001, 'Chatter stability analysis of the variable speed face-milling process', *ASME J.130. Eng. Indus.*, vol. 123, pp. 753-756.
9. Richard, CY & Liang, SY 2000, 'Analysis of acoustic emission in chatter vibration with tool wear effect in turning', *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, no. 40, pp. 114-118.
10. Engin, S & Altintas, Y 2001, 'Mechanics and Dynamics of general milling cutters. Part 1: helical end mills', *International Journal of Machine Tools and Manufac-ture*, no. 45, pp. 2195-2212.
11. Altintas, Y 2012, 'Manufacturing Automation', *Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*, University Press, Cambridge, pp. 366 .

Стаття надійшла до редакції 03 травня 2021 року

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ОЧИЩЕННІ БІОГАЗУ ВІД БАЛАСТНИХ ДОМІШОК

Долгов В.В., Ружинська Л.І.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»*

Інформація про авторів:

Долгов Володимир Владиславович: ORCID: 0000-0002-4603-9643; dolgov.vladimir@yahoo.com; Аспірант кафедри біотехнології та техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Ружинська Людмила Іванівна: ORCID: 0000-0003-1223-7649; ruzhli@ukr.net; Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біотехнології та техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Однією з інноваційних сфер енергозбереження є використання біологічної енергії, включаючи виробництво та використання біогазу.

Це не тільки забезпечує альтернативну енергію, а й вирішує екологічні проблеми, пов'язані з утилізацією та переробкою сільськогосподарських відходів з виробництвом органічних добрив, збільшенням урожайності сільськогосподарських культур, відновленням родючості ґрунту.

Для ефективного використання на біогазових електростанціях необхідно видалити баластні домішки, зокрема діоксид вуглецю та сірководень, загальний вміст яких у біогазі може становити до 50%. Серед відомих процесів очищення біогазу від сірководню та діоксиду вуглецю найбільш перспективним, на мій погляд, є процес хімічного поглинання водного розчину моноетаноламіну, який можна використовувати при атмосферному тиску.

Існуючі конструкції обладнання для процесу очищення біогазу шляхом хімічного поглинання призначені для великих обсягів газової фази і не можуть бути використані на сільськогосподарських біогазових установках.

Тому актуальним є вивчення процесів масообміну в нових конструкціях поглиначів, що забезпечують очищення біогазу в біоенергетичних установках для утилізації органічних відходів, що виникають в результаті господарської діяльності агропромислових підприємств.

Ключові слова: біогаз, очищення, баластні домішки, абсорбер, хемосорбція, масообмін.

Dolhov V., Rhuzinska L. «Intensification of mass transfer processes in the purification of biogas from ballast impurities»

One of the innovative areas of energy conservation is the use of biological energy, including the production and use of biogas.

This not only provides alternative energy, but also solves environmental problems associated with the utilization and processing of agricultural waste with the production of organic fertilizers, increasing crop yields, renewal of soil fertility.

For efficient use in biogas power plants, ballast impurities, in particular carbon dioxide and hydrogen sulphide, whose total biogas content may be up to 50%, need to be removed. Among the known processes for the purification of biogas from hydrogen sulphide and carbon dioxide, the

most promising, in my opinion, is the process of monoethanolamine aqueous solution chemical absorption, which can be used at atmospheric pressure.

Existing designs of equipment for the biogas purification process by chemical absorption are designed for large volumes of gas phase and cannot be used in agricultural biogas plants.

Therefore, it is relevant to study the mass transfer processes in new designs of absorbers providing biogas treatment in bioenergy installations for the utilization of organic waste resulting from the economic activities of agro-industrial enterprises.

Keywords: biogas, purification, ballast impurities, absorber, chemisorption, mass transfer.

Постановка проблеми

Мета дослідження: модернізація абсорбера для очищення біогазу з потенційними покращеннями його продуктивності шляхом зміни його конструктивних елементів та/або впровадження нових деталей.

Опираючись на проведені розрахунки та доопрацювання абсорберу створити можливість його використання на агропромислових підприємствах малого та середнього розміру.

Аналіз останніх досліджень

Швидко зростаючі потреби енергії у всьому світі призвели до величезного виснаження ресурсів викопного палива. Це робить необхідним пошук альтернативних джерел енергії, які мають мінімальний вплив на навколишнє середовище. У цьому контексті біогаз є одним із стійких джерел енергії, які можна отримати з багатьох видів біомаси, включаючи відходи. Технологія анаеробного перетравлення є однією з найбільш перспективних технологій, яка має потенціал перетворити різноманітну біомасу в багатий метаном біогаз, вуглецево-нейтральну альтернативу викопному паливу. Крім того, технологія анаеробного розкладання має ряд переваг, включаючи зменшення вмісту твердих речовин, зменшення запаху, зменшення викидів парникових газів та збільшення доходу від неринкових переваг порівняно із звичайними системами поводження з відходами [1, 2]. У Німеччині, яка є провідною країною у цій галузі, понад 50% потенціалу біогазу є результатом енергетичних культур, оброблених на понад 7000 біогазових установках [3]. Анаеробне розкладання має широке застосування для стабілізації осаду завдяки низькій вартості, рекуперації енергії та мінімізованому виробництву біотвердих речовин.

Процес анаеробного розкладання опосередковується чотирма основними етапами - гідролізом, ацидогенезом, ацетогенезом та метаногенезом. Вони здійснюються консорціумом мікроорганізмів: ацидогенних бактерій, ацетогенних бактерій та метаногенних бактерій [4]. Мікробна спільнота анаеробного процесу дуже складна. Є два прокаріотичні царства, які тісно взаємодіють між собою: Бактерії та Археї. Перший етап передбачає гідроліз складної органічної речовини до більш простих сполук. На другому етапі відбувається ацидогенез цих органічних речовин з утворенням органічних кислот та водню. На завершальному етапі метан і метаногени з органічних кислот та водню виробляють метан та діоксид вуглецю.

Біогаз є продуктом анаеробного бродіння органічних продуктів. З палива на біомасі біогаз має особливе значення і може успішно замінювати викопне паливо для виробництва електроенергії та тепла. Для отримання продуктивного та вигідного біогазу його необхідно переробити перед використанням. Таким чином, перед використанням необроблений біогаз піддається кондиціонуванню (очищенню), що призводить до властивостей, необхідних

користувачам. Очищення біогазу - це операція утримання небажаних компонентів біогазу перед тим, як його використовувати в процесі згоряння. Яким би не був кінцевий спосіб використання біогазу, використовувати його в необробленому стані неможливо. Єдиним компонентом, що переробляється, є метан.

Біогаз є цінною відновлюваною енергією, а також вторинним носієм енергії, що виробляється з біологічно розкладаються органічних матеріалів шляхом анаеробного травлення. Він може використовуватися як паливо або як вихідний матеріал для виробництва хімічних речовин, водню та/або синтез-газу тощо. Основними складовими біогазу є метан (CH_4) та вуглекислий газ (CO_2) з різною кількістю забруднень, таких як аміак (NH_3), водяна пара (H_2O), сірководень (H_2S), метилсилоксани, азот (N_2), кисень (O_2), галогеновані леткі органічні сполуки (VOCs), окис вуглецю (CO) та вуглеводні. Наявність та кількість цих забруднень значною мірою залежать від джерела біогазу, яким може бути анаеробне розкладання багатьох субстратів та розкладання звалищ. Видалення цих забруднень, особливо H_2S та CO_2 , значно покращить якість біогазу для подальшого використання. [5]

Для очищення біогазу доступні декілька процесів, які залежать від різних принципів поділу [6, 7]: абсорбція рідини газів (фізична, наприклад, очищення водою чи органікою, хімічна, така як очищення аміном), адсорбція (PSA), проникнення газової мембрани або кріогенність. Ці технології спрямовані на отримання біометану з якісною газовою сіткою та найвищим коефіцієнтом відновлення метану R_{CH_4} (як правило, вище 97%).

Хімічна абсорбція вуглекислого газу може здійснюватися за допомогою різних типів контакторів. Вибір між упаковкою, пластинчастим та мембранним контактором зазвичай здійснюється на основі масштабу та бюджету. Хоча структурована упаковка вважається більш придатною для малих масштабів через її високу вартість, випадкові упаковки, як повідомляється, підходять для малих та великих розмірів колон, якщо пакувальний матеріал вибирати ретельно [8].

Для абсорбції використовуються різні хімічні абсорбенти, які мають як переваги, так і недоліки. Вони включають, але не обмежуючись ними: луги, алканоламіни, іонні рідини та деякі суміші легкодоступних хімічних речовин. Основна увага в цьому дослідженні зосереджена на амінах, оскільки вони широко використовуються у всьому світі для очищення біогазу. Їм переважно віддають перевагу завдяки вищій надійності, більшій придатності та меншим інвестиційним та експлуатаційним витратам [9]. Основна увага приділяється первинному аміну Моноетаноламіну (MEA), оскільки він має високу поглинальну здатність діоксиду вуглецю [10]. Тема щодо очищення біогазу за допомогою MEA вивчалась, але з точки зору модернізації апарату зроблено не так багато.

MEA ефективно поглинає домішки в біогазі. Він може виводити CO_2 з біогазу, в результаті чого біометан перевищує 85% CH_4 . Температура розчинника впливає на процес поглинання. Більш висока концентрація MEA призводить до високого поглинання, оскільки 30% розчин MEA мав найчистіший газ. Температура розчинника також впливала на процес поглинання, оскільки швидкість реакції залежить від температури. Ефективність видалення зростала із збільшенням температури і була зафіксована на рівні 77% при 40 °C. [11]

В наш час все більше уваги приділяється різним стратегіям біоконверсії біомаси у багатий метаном біогаз через збільшення глобального потепління, необхідність стійкого поводження з відходами та високі енергетичні витрати [12]. Виробництво біогазу шляхом анаеробного перетравлення забезпечує значні переваги перед іншими формами виробництва біоенергії. На відміну від викопного палива, біогаз в анаеробному травленні постійно

відновлюється, оскільки його виробляють з біомаси, яка є живою формою накопичення сонячної енергії завдяки фотосинтезу [13]. Він був оцінений як одна з найбільш енергоефективних та екологічно вигідних технологій виробництва біоенергії [14]. Це може значно зменшити викиди ПГ порівняно з викопним паливом за рахунок використання місцевих ресурсів.

При хемосорбції очищення газових потоків абсорбційним методом поглинання цільового компонента рідким поглиначем супроводжується хімічною взаємодією молекул газу з молекулами активного компонента абсорбенту та переходом його в зв'язаний стан. При цьому концентрація компонента в рідині зменшується, що призводить до збільшення градієнта концентрацій і прискоренню поглинання газу в рідкій фазі в порівнянні з фізичною абсорбцією. Таким чином, в цьому випадку кінетика абсорбції визначається не тільки швидкістю масообміну, а й кінетичними закономірностями реакції. Залежно від того, яка швидкість визначає загальну швидкість перенесення маси цільового компонента, розрізняють кінетичну і дифузійну області протікання хемосорбції. У кінетичній області лімітуючою є швидкість хімічної взаємодії, в дифузійній області - швидкість дифузії цільового компонента в зоні реакції. Якщо швидкості реакції і масопередачі сумірні за величиною, то процес протікає в змішаній, дифузійно-кінетичній області.

Для проведення процесів хемосорбції в промисловості використовується конструкції обладнання такі як для процесів фізичної абсорбції.

Оскільки хемосорбції протікає на поверхні розділу фаз, абсорбери повинні мати розвинену поверхню контакту між рідиною і газом. За способом утворення цієї поверхні абсорбери умовно поділяються на наступні 4 групи: поверхневі і плівкові; насадкові; барботажні (тарілчасті); розпилюючі.

Існують розроблені конструкції цих абсорберів, які успішно експлуатуються в промисловості при синтезі газу та очищенні природного газу. Продуктивність цих абсорберів за газовою фазою складає 100000-200000 м³/год [15]. Але ці абсорбери не можуть бути використані в біогазових установках продуктивністю (300-500) м³/год, внаслідок неможливості створення в них активного гідродинамічного режиму, який забезпечить ефективне вилучення баластних домішок з біогазу.

Наприклад, запропонована конструкції абсорбера з перемішуючим пристроєм [18], що містить корпус з турбінною мішалкою у вигляді вала з зануреними у рідину лопатками, пристрій для подачі газу до лопаток, заспокоювач потоку та патрубок для відведення очищеного газу. Лопатки закріплені у верхній і нижній частині роторного колеса. Пристрій для подачі газу виконаний у вигляді співвісно розміщеної на валу труби і з'єднаної з кожухом роторного колеса, який оснащений щілиною з перерізом у вигляді труби Вентурі та вікном для подачі рідини [18].

Недоліком цього апарату є те, що при проходженні газу через щілиновидний канал не забезпечується ефективне його диспергування у рідині.

Пропонується абсорбер [19], що містить заповнений абсорбентом корпус з патрубками, а також вертикальний порожнистий вал для подання в абсорбент забрудненого газу, при цьому вал оснащено мішалкою у вигляді перфорованих трубок, сполучених з порожниною вертикального порожнистого валу. При цьому вертикальний порожнистий вал оснащено додатковою мішалкою, закріпленою над мішалкою у вигляді перфорованих трубок [19].

Недоліком відомого абсорбера є те, що газорозподільча трубка і мішалка розміщені на одному валу, обертаються з однаковою швидкістю, і газ, що виходить з перфорованої трубки

барботує через рідини у вигляді крупних бульбашок, які не диспергуються в бульбашки лопатями мішалки, отже, це знижує міжфазову поверхню та ефективність процесу абсорбції.

Цілі статті

Використання біогазу в енергетиці та хімічному виробництві обмежується високим вмістом баластних домішок (до 50%), зокрема вуглекислого газу та сірководню.

З відомих способів очищення біогазу від баластних домішок найбільш ефективним, на наш погляд, є хемосорбція розчинами амінової групи, зокрема розчином моноетаноламіну.

Використання цього способу гальмується відсутністю інженерних розробок абсорберів для біогазових установок фермерських господарств.

Тому **ціль статті** – полягає в розробленні методики розрахунку процесів гідродинаміки та масообміну, що протікають в апаратах з перемішуючим пристроєм та барботером при хемосорбції та проведенні кількісної оцінки можливостей використання цих апаратів для очищення біогазу від баластних домішок

Виклад основного матеріалу

Розроблення нових конструкцій абсорберів для біогазових установок продуктивністю від 50 до 500 $m^3/год$ вимагає проведення кількісної оцінки параметрів процесів гідродинаміки та масообміну, що протікають при очищенні біогазу хемосорбцією в цих апаратах.

Для розроблення методики розрахунку абсорбера з механічним перемішуючим пристроєм і барботером розглянемо конструкцію запропонованого нами апарату. На рисунку 1 наведена конструкція абсорбера, що складається з корпусу з штуцерами, а також з вертикального валу з мішалкою. Під мішалкою встановлений газорозподільчий пристрій у вигляді згорнутої в тор перфорованої трубки.

Нове конструктивне виконання мішалки та газорозподільчого пристрою забезпечує диспергування газової фази в рідині для зменшення діаметру газових бульбашок в рідині і створення розвиненої міжфазової поверхні [16].

В корпус, через подається абсорбент, а біогаз – подається через отвори перфорованої трубки газорозподільчого пристрою. Газ, що проходить через отвори – барботує у рідині. Бульбашки біогазу інтенсивно диспергуються мішалкою, яка закріплена на валу. Газорідинна суміш піднімається вгору всередині циркуляційного контуру, утвореного змійовиком в канал якого, через підводиться і відводиться теплоносій, який забезпечує необхідну для проведення процесу температуру. Збагачений газ з газорідинної суміші виводиться через кришку абсорбера, а рідина поступає вниз і відводиться через штуцер у днищі абсорбера.



Рис. 1 – Абсорбер з мішалкою і газорозподільчим пристроєм

Для оцінки процесів масовіддачі, що відбуваються в абсорберах доцільно використати об'ємний коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі з урахуванням протіканні хімічної абсорбції. Цей коефіцієнт визначається за рівнянням [16]:

$$\beta_{pV}^* = \beta_p \cdot \Phi \cdot a,$$

Об'ємний коефіцієнт масовіддачі β_{pV} при фізичній абсорбції в апаратах з відкритою турбінною мішалкою і барьотером розраховують за рівняннями виду [16]:

За умови $\varepsilon_V < 10$

$$\beta_{pV} = \beta_p \cdot a = 0,06 \varepsilon_N^{0,81}$$

Для $\varepsilon_V > 10$

$$\beta_{pV} = \beta_p \cdot a = 0,153 \varepsilon_N^{0,39}$$

Питома поверхня контакту фаз a в абсорберах з барботером і механічним перемішувачем залежить від властивостей розчину MEA0, ε_M питомої дисипації механічної енергії, що вводиться в апарат перемішувачем, співвідношення швидкостей W_z газу та u_6 спливання бульбашок газу і визначається за формулою [17]:

$$a = 1,44(\varepsilon_N^{0,4} \cdot \rho_p^{0,2} / \sigma_p^{0,6}) \left(\frac{W_z}{u_6} \right)^{0,5};$$

Коефіцієнт прискорення Φ , дозволяє оцінити в скільки разів коефіцієнт масовіддачі при хімічній абсорбції перевищує коефіцієнт масовіддачі при фізичній абсорбції за умов однакової рушійної сили процесу [15]. Цей коефіцієнт залежить від значень кінетичного R , стехіометричного M та дифузійного θ параметрів. [16] і визначається рівнянням:

$$\Phi = \frac{2(M\sqrt{\theta} + 1)}{1 + \sqrt{1 + 4(M\sqrt{\theta} / R^2)}}.$$

Позначимо коефіцієнт дифузії D_{pCO_2} баластних домішок і D_{MEA} реагента (моноетаноламіна) в розчині, концентрації баланстних домішок на поверхні розділу фаз A_p , констант швидкості r_n . Тоді кінетичний параметр R , знаходять з рівняння [16]:

$$R = \sqrt{\frac{2}{n+1} \cdot r_n \cdot B_0^\beta \cdot D_{pCO_2} \cdot A_p^{\alpha-1} / \beta_p};$$

де $n=2$; $\beta=1$; $\alpha=1$.

Стехіометричний M і дифузійний θ параметри, знаходять з рівнянь:

$$M = \frac{B_0}{n \cdot A_p};$$

$$\theta = \frac{D_{MEA}}{D_{pCO_2}};$$

Для визначення константи прямої хімічної реакції r_n , при умові що швидкість оберненої хімічної реакції є незначною, можна скористатись формулою [16]:

$$\lg r_n = 11,07 - 2140 / T.$$

Швидкість поглинання CO_2 1м³ хемосорбенту знаходиться за формулою:

$$M_{CO_2} = \beta_B \cdot \Phi \cdot A_p^*.$$

Проведені розрахунки процесу хемосорбції в апараті з відкритою турбінною мішалкою і барботером. Номінальний об'єм апарату $V_n=3.2$ м³ діаметр мішалки $d_m=0.32$ м,

частота обертання $n = 2,67 \text{ с}^{-1}$. Витрати біогазу $V_2 = 300 \text{ м}^3/\text{год}$. Витрати біогазу , вміст CO_2 в біогазі

В результаті розрахунків встановлено, що швидкість поглинання CO_2 розчином 15% розчином МЕА складає $(0,009 \div 0,011) \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$ отже в апараті забезпечується вилучення вуглекислого газу з біогазу.

Висновки

Запропонована методика розрахунку абсорбера з механічним перемішуючим пристроєм і барботером.

Виконані розрахунки об'ємних коефіцієнтів масовіддачі при хемосорбції вуглекислого газу розчинами моноетаноламіну та швидкості поглинання CO_2 розчином МЕА свідчать про можливість очищення біогазу від баластних домішок в апараті з відкритою турбінною мішалкою і барботером.

Список використаних джерел:

1. Kannah RY, Kavitha S, Banu JR, Karthikeyan OP, Sivashanmugham OP. Dispersion induced ozone pretreatment of waste activated biosolids: Arriving biomethanation modelling parameters, energetic and cost assessment. *Bioresource Technology*. 2017;244: 679-687. DOI: 10.1016/j.biortech. 2017.08.001
2. Kuglarz M, Karakashev D, Angelidaki I. Microwave and thermal pretreatment as methods for increasing the biogas potential of secondary sludge from municipal wastewater treatment plants. *Bioresource Technology*. 2013; 134:290-297. DOI: 10.1016/j.biortech. 2013.02.001
3. Weiland P. Biogas production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010; 85:849-860. DOI: 10.1007/s00253-009- 2246-7
4. Mir MA, Hussain A, Verma C. Design considerations and operational performance of anaerobic digester: A review. *Cogent Engineering*. 2016;3: 1181-1196. DOI: 10.1080/23311916. 2016.1181696
5. Olumide Wesley Awe, Yaqian Zhao, Ange Nzihou, Doan Pham Minh, Nathalie Lyczko (2018). A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies, 2-5.
6. L. Yang, X. Ge, C. Wan, F. Yu, and Y. Li, 'Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 40, pp. 1133–1152, Dec. 2014.
7. F. Bauer, C. Hulteberg, T. Persson, and D. Tamm, 'Biogas upgrading - Review of commercial technologies', 2013.
8. Sinnott, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design: Chemical Engineering*. Butterworth-Heinemann
9. Molina, C.T., Bouallou, C., 9/15/2015. Assessment of different methods of CO_2 capture in post-combustion using ammonia as solvent. *J. Clean. Prod.* 103, 463e468.
10. Mao, X.Q., Zeng, A., Hu, T., Xing, Y.K., Zhou, J., Liu, Z.Y., 3/15/2014. Co-control of local air pollutants and CO_2 from the Chinese coal-fired power industry. *J. Clean. Prod.* 67, 220e227.
11. O.I. Maile, H. Tesfagiorgis, E. Muzenda (2017). The potency of monoethanolamine in biogas purification and upgrading. *South African journal of chemical engineering* 24 (2017) 122e127.
12. Li C, Liu G, Nges IA, Liu J. Enhanced biomethane production from *Miscanthus lutarioriparius* using steam explosion pretreatment. *Fuel*. 2016;179: 267-273. DOI: 10.1016/j.fuel.2016. 03.087
13. Al Seadi T, Rutz D, Prassl H, Köttner M, Finsterwalder T, Volk S, et al. *Biogas Handbook*. Esbjerg, Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej; 2008. pp. 9-10
14. Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15:1513-1524. DOI: 10.1016/j.rser.2010.11.037
15. Кузнецов А.А. Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов: Справочное пособие. / А.А. Кузнецов, Е.Н. Судаков // М.: «Химия», 183-224 с.
16. Соколов В.М. Аппаратура микробиологической промышленности / В.М. Соколов, М.А. Яблокова.// Л.: Машиностроение. Ленингр. отд.–е. 1988. –278 с.
17. Семенова Т.А. Очистка технологических газов /Т. А. Семенова, И.Л. Лейтес, Ю. В. Аксельрод, М. И. Маркина, С. П. Сергеев, Е. Н. Харьковская – М.: «Химия», 1977. – 488 с.
18. Барботажный абсорбер: пат. 2040957 РФ: МПК B01D53/12 опубл. 09.08.1995
19. Абсорбер: пат. 98531 Україна: МПК B01D53/18 опубл. 27.04.2015

References:

1. Kannah RY, Kavitha S, Banu JR, Karthikeyan OP, Sivashanmugham OP. Dispersion induced ozone pretreatment of waste activated biosolids: Arriving biomethanation modelling parameters, energetic and cost assessment. *Bioresource Technology*. 2017;244: 679-687. DOI: 10.1016/j.biortech. 2017.08.001
2. Kuglarz M, Karakashev D, Angelidaki I. Microwave and thermal pretreatment as methods for increasing the biogas potential of secondary sludge from municipal wastewater treatment plants. *Bioresource Technology*. 2013; 134:290-297. DOI: 10.1016/j.biortech. 2013.02.001
3. Weiland P. Biogas production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010; 85:849-860. DOI: 10.1007/s00253-009- 2246-7
4. Mir MA, Hussain A, Verma C. Design considerations and operational performance of anaerobic digester: A review. *Cogent Engineering*. 2016;3: 1181-1196. DOI: 10.1080/23311916. 2016.1181696
5. Olumide Wesley Awe, Yaqian Zhao, Ange Nzihou, Doan Pham Minh, Nathalie Lyczko (2018). A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies, 2-5.
6. L. Yang, X. Ge, C. Wan, F. Yu, and Y. Li, 'Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 40, pp. 1133–1152, Dec. 2014.
7. F. Bauer, C. Hulteberg, T. Persson, and D. Tamm, 'Biogas upgrading - Review of commercial technologies', 2013.
8. Sinnott, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design: Chemical Engineering*. Butterworth-Heinemann
9. Molina, C.T., Bouallou, C., 9/15/2015. Assessment of different methods of CO₂ capture in post-combustion using ammonia as solvent. *J. Clean. Prod.* 103, 463e468.
10. Mao, X.Q., Zeng, A., Hu, T., Xing, Y.K., Zhou, J., Liu, Z.Y., 3/15/2014. Co-control of local air pollutants and CO₂ from the Chinese coal-fired power industry. *J. Clean. Prod.* 67, 220e227.
11. O.I. Maile, H. Tesfagiorgis, E. Muzenda (2017). The potency of monoethanolamine in biogas purification and upgrading. *South African journal of chemical engineering* 24 (2017) 122e127.
12. Li C, Liu G, Nges IA, Liu J. Enhanced biomethane production from *Miscanthus lutarioriparius* using steam explosion pretreatment. *Fuel*. 2016;179: 267-273. DOI: 10.1016/j.fuel.2016. 03.087
13. Al Seadi T, Rutz D, Prassl H, Köttner M, Finsterwalder T, Volk S, et al. *Biogas Handbook*. Esbjerg, Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej; 2008. pp. 9-10
14. Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15:1513-1524. DOI: 10.1016/j.rser.2010.11.037
15. Kuznetsov A.A. Raschetы osnovnykh protsessov y apparatov pererabotky uhlevodorodnykh hazov: Spravochnoe posobyе. / A.A. Kuznetsov, E.N. Sudakov // М.: «Khymiya», 183-224 pp.
16. Sokolov V.M. Apparatura mykrobiologicheskoi promyshlennosti / V.M. Sokolov, M.A. Yablokova.// L.: Mashynostroenye. Lenynhr. otd –e. 1988. –278 pp.
17. Semenova T.A. Ochystka tekhnologicheskikh hazov /T. A. Semenova, Y.L. Leites, Yu. V. Akselrod, M. Y. Markyna, S. P. Serheev, E. N. Kharkovskaia – М.: «Khymiya», 1977. – 488 pp.
18. Barbotazhnyi absorber: pat. 2040957 RF: MPK V01D53/12 opubl. 09.08.1995
19. Absorber: pat. 98531 Ukraina: MPK V01D53/18 opubl. 27.04.2015

Стаття надійшла до редакції 02 червня 2021 року

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ВИМОГ СТАНДАРТУ ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 ЩОДО НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ВІДПОВІДНОСТІ

Грінченко Г.С., Артюх С.М., Бурдейна В.М., Черняк О.М., Кіпоренко О.В.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів

Грінченко Ганна Сергіївна; ORCID: 0000-0002-6498-6142; hrinchenko@uipa.edu.ua; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Артюх Світлана Миколаївна; ORCID: 000-0003-0804-6313; artyhsn@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Бурдейна Вікторія Михайлівна; ORCID: 000-0002-0026-1900; zamorskavika@ukr.net; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Черняк Олена Миколаївна; ORCID: 0000-0001-6167-8809; cherniak@uipa.edu.ua; кандидат технічних наук; старший викладач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Кіпоренко Олексій Володимирович; ORCID: 0000-0002-1683-2640; kiporenko.oleksii22@gmail.com; студент; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Впровадження ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 «Загальні вимоги до компетентності калібрувальних та випробувальних лабораторій» є важливим кроком у встановленні вимог щодо прийняття рішення про відповідність специфікації або стандарту, беручи до уваги вимоги багатьох міжнародних документів, що містять вимоги до обладнання та техніки випробувань та вимірювань, та визначення ризиків прийняття певного рішення по оцінюванню відповідності. У цьому виданні стандарту пропонується стандартизувати та оцінити точність результату вимірювання не тільки за невизначеності вимірювань, а й за іншими показниками при оцінюванні відповідності обладнання та техніки випробувань та вимірювань. Важливим фактором впровадження стандарту є розробка критеріїв, пов'язаних з правилами прийняття рішення і заявами про відповідність в ресурси і процеси, що пов'язані з персоналом, аналізом контракту і звітами. Але окрім критеріальної оцінки, також важливо здійснити метрологічне підтвердження використовуваного вимірювального обладнання, щоб отримати надійні результати вимірювань під час оцінки відповідності продукції. Оцінка метрологічного підтвердження вимірювального обладнання підтверджує його відповідність даному вимірювальному завданню. Для належного виконання цього завдання необхідно мати відповідну техніку вимірювання. Виконуючи вимірювання згідно із зазначеним методом, важливо чітко дотримуватися вимог, що містяться у вимірювальному обладнанні, умов проведення, послідовності вимірювальних операцій та вимог до фахівців. Виконання цих вимог дозволяє отримати надійний результат з необхідною точністю та обґрунтовано прийняти рішення з урахуванням рівня ризику.

Ключові слова: вимірювання; невизначеність; оцінювання відповідності; калібрувальні та випробувальні лабораторії.

Hrinchenko H., Artyukh S., Burdeina V., Cherniak O., Kiporenko O. "Implementation of the requirements of the DSTU ISO / IEC 17025: 2017 standard on measurement uncertainty in conformity assessment"

The implementation of ISO/IEC 17025: 2017 "General Requirements for the Competence of Calibration and Testing Laboratories" is an important step in establishing the requirements for

deciding whether to conform to a specification or standard, taking into account the requirements of many international documents containing requirements for equipment and techniques for testing and measurement, and the definition risks of making a certain decision on conformity assessment. This edition of the standard proposes to standardize and evaluate the accuracy of a measurement result, not only for measurement uncertainty, but also for other indicators in assessing the conformity of equipment and testing and measurement techniques. An important factor in the implementation of the standard is the development of criteria related to decision rules and claims for the compliance of resources and processes related to personnel, contract analysis and reports. But in addition to criteria-based assessment, it is also important to carry out metrological confirmation of the measuring equipment used in order to obtain reliable measurement results in the assessment of product conformity. Evaluation of metrological confirmation of the measuring equipment confirms its compliance with the given measuring task. To perform this task properly, it is necessary to have the appropriate measuring technique. When carrying out measurements according to the indicated methods, it is important to strictly observe the requirements contained in the measuring equipment, the conditions of carrying out, the sequence of measuring operations and the requirements for specialists. Fulfillment of these requirements allows obtaining a reliable result with the required accuracy and making an informed decision taking into account the level of risk.

Keywords: measurement; uncertainty; conformity assessment; calibration and testing laboratories.

Постановка проблеми

Забезпечення якості продукції та послуг залежить від вимог що до них застосовуються та точністю їх дотримання, а це можливо лише при умові вимірювань параметрів продукції, які проводяться при розробці, виробництві, випробуванні та експлуатації продукції. Виробництва конкурентоспроможної продукції, зниження витрат підприємства, пов'язаних з виробництвом бракованої продукції і скарг від клієнтів і споживачі – все це можливо за умови прийняття правильних рішень при забезпеченні якості та за допомогою врахування ризиків. На підприємстві надійний контроль параметрів продукції забезпечується вимірвальними лабораторіями. Ці лабораторії можна називати по-різному, але основна мета їхньої діяльності - проводити вимірювання з необхідною точністю.

Для забезпечення достовірності одержаних результатів контролю параметрів виробів та випробування готової продукції, засоби вимірвальної техніки повинні піддаватися метрологічному контролю під час їх експлуатації. Результати повірки та калібрування одержуються і оформлюються за значно різними правилами. Тому на цей час підприємства повинні визначатися, так який же вид метрологічного контролю задовольняє вимоги замовників продукції та саме підприємство.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питаннями аналізу метрологічних вимог, критеріїв та підходів у нормативно-правовому полі займалися багато науковців та практиків [1-9]. Було проаналізовано як українське, так міжнародне законодавство у сфері технічного регулювання, виявлено і проаналізовано вимоги різних законів та внесено роз'яснення для коректного застосування нових понять інженерами на підприємствах з метою забезпечення єдності вимірювань для випуску якісної продукції [1-3]. Проаналізовано вимоги до компетентності вимірвальних лабораторій підприємств, як основа одержання достовірних результатів вимірювань для забезпечення якості та конкурентоспроможності продукції, яка виготовляється [4,5].

Європейська система технічного регулювання передбачає визначення вимог до величини та методів вимірювання у випробувальних лабораторіях відповідно до

міжнародного стандарту ISO/IEC 17025 "Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій" [10].

З моменту впровадження ISO/IEC 17025:2005 [11,12] випробувальні та калібрувальні лабораторії, які були акредитовані, були орієнтовані на те, що критерієм точності вимірювань є невизначеність. Оцінка невизначеності вимірювань під час випробувань та калібрування вимірвального обладнання не може бути надійною, оскільки це не завжди стандартизовані методи її оцінки для конкретного вимірвального завдання.

Отже, **метою статті** є проаналізувати практичне застосування стандарту ISO/IEC 17025:2017 та шляхи імплементації вимоги стандарту у практичну діяльність при визначенні невизначеності вимірювання при оцінюванні відповідності.

Основний матеріал

Для виконання вимоги ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 «Загальні вимоги до компетентності калібрувальних та випробувальних лабораторій» щодо прийняття рішення про відповідність специфікації або стандарту, лабораторія повинна документувати застосовне нею правило прийняття рішення з урахуванням рівня ризику (наприклад, помилкове прийняття та помилкове відхилення, статистичні припущення), пов'язаного з правилом прийняття рішення, і застосувати правило прийняття рішення. При цьому лабораторія повинна звітувати стосовно заяви про відповідність, щоб у ній чітко зазначалося:

- яких результатів стосується ця заява про відповідність;
- які специфікації, стандарти чи їх частини виконуються або не виконуються;
- застосоване правило прийняття рішення (якщо воно не відображене у вимогах специфікації або стандарту).

ISO/IEC 17025:2017 визнає, що єдиного правила прийняття рішення щодо відповідності не існує. Тобто у конкретній ситуації буде своє правило прийняття рішення.

ISO/IEC 17025:2017 включає критерії, пов'язані з правилами прийняття рішення і заявами про відповідність в ресурси і процеси, пов'язані з персоналом, аналізом контракту і звітами.

Наприклад:

-пункт 7.1.3 цього стандарту вимагає, що «Коли замовник запитує висновок про відповідність специфікації або стандарту на випробування або калібрування (наприклад, придатний/не придатний, в межах допуску/за межами допуску), то специфікація або стандарт і правила прийняття рішень повинні бути чітко визначені. Якщо правило прийняття рішення не визначено в специфікації або стандарті, то воно повинно бути повідомлено замовнику і погоджено з ним»;

- підпункт 7.8.3.1 b) встановлює, що «при необхідності заяву про відповідність вимогам або специфікаціям» і розділ 7.8.3.1 c) «де це може бути застосовано, невизначеність вимірювань, представлену в тих же одиницях, що і вимірювана величина, або в відносному по відношенню до вимірюваної величині вигляді (наприклад, у відсотках), коли це стосується вірогідності або застосування результатів випробувань; цього вимагає замовник; або невизначеність вимірювання впливає на відповідність встановленим межах».

В 7.8.4.1 а), 7.8.4.1 е), 7.8.6.1, 7.8.6.2 ISO/IEC 17025:2017 також встановлюються критерії коли та якими правилами слід встановлювати відповідність. Однак, важливо враховувати, що оцінка відповідності здійснюється на відповідність технічним умовам, технічним специфікаціям або стандартам. І у разі відсутності у методиці правила прийняття рішення, воно повинно бути погоджено із замовником. Невизначеність у правила прийняття рішення застосовується «де це може бути застосовано» або вона «впливає на відповідність встановленим межах».

Визначення правила прийняття рішення за невизначеністю передбачає знання якогось нормативного значення невизначеності вимірювань, наприклад максимальної допустимої невизначеності, яка б була визначена у методики вимірювань/випробувань. У разі відсутності такого значення може бути застосоване значення цільової невизначеності.

За VIM (ISO/IEC Guide 99:2007): цільова невизначеність - невизначеність вимірювання, встановлена як верхня межа і обрана на підставі передбачуваного використання результатів вимірювання.

Для того, щоб встановити правила прийняття рішення за невизначеністю, необхідно розібратися із деякими визначеннями:

- межа поля допуску, межа технічних вимог - задані верхнє або нижнє граничне значення для допустимих значень параметру (властивості). З цим терміном пов'язаний термін «поле допуску», як інтервал допустимих значень;

- приймальні границі - задане верхнє або нижнє граничне значення для допустимих вимірних значень величини;

- приймальний інтервал - інтервал допустимих вимірних значень величини (приймальний інтервал звичайно включає приймальні границі);

- бракувальний інтервал - інтервал вимірних значень величини, які вважаються неприпустимими;

- захисна смуга - інтервал між границею поля допуску і відповідної приймальною границею;

- просте приймання - правило прийняття рішення, при якому приймальний інтервал дорівнює полю допуску.

За цими визначеннями термінів слід встановити який є допуск на значення параметру (або властивості) за вимірюваною величиною, наприклад:

- не повинно бути більше (або менше) встановленого значення;

- повинно бути в межах від ... до;

- повинно бути (кількісне значення) та в методиці визначено яким засобом виміральної техніки проводити вимірювання із зазначенням його типу або максимальної допустимої похибки/класу точності.

При виконанні вимірювань та повідомленні про відповідність, наприклад, про вихід за межі специфікації виробника або відповідність/невідповідність конкретному вимогу, існує 2 можливих варіанти:

А. Прийнято правильне рішення щодо відповідності специфікації;

Б. Прийнято неправильне рішення щодо відповідності специфікації.

При цьому кожне вимірне значення має пов'язану з ними невизначеність вимірювань. Наприклад, якщо є мінімальне значення, номінальне значення та максимальне значення параметру, то якщо результат вимірювання плюс/мінус невизначеність знаходиться в границях від мінімального до максимального значення, то результат признається як відповідний. А якщо значення невизначеності таке, що результат вимірювання плюс/мінус невизначеність виходять за приймальні границі, то треба мати правило прийняття рішення про відповідність.

Застосування захисних смуг може знизити ймовірність прийняття неправильного рішення про відповідність. Фактично це захисний фактор, вбудований в процес прийняття рішення по результату вимірювання, що полягає в звуженні приймальних границь нижче

поля допуску. Таким чином, довжина захисної смуги є різниця між полем допуску і прийнятною границею. Це означає, що якщо результат вимірювання для верхньої границі допуску лежить всередині прийнятною границі, тоді результат вимірювання вважається відповідним специфікації.

В описі захисної смуги часто зазначають верхній і нижній межі поля допуску. Захисна смуга, довжиною, яка дорівнює нулю, говорить про те, що приймається будь-який результат вимірювань, який знаходиться нижче межі поля допуску. Це є простим прийняттям, яке також називають «розділеним ризиком», оскільки ймовірність опинитися в не поля допуску може досягати 50% в тому випадку, якщо результат вимірювання знаходиться на межі поля допуску (мається на увазі симетричне нормально розподіл результатів).

Бінарне правило прийняття рішень застосовується коли вибір для результату обмежений двома варіантами (пройшов або не пройшов pass/fail). Небінарне правило прийняття рішень застосовуються, коли рішення по результату може бути виражено декількома варіантами (задовільно, умовно відповідає, у немов не відповідає, незадовільно).

У разі відсутності захисної смуги бінарну заяву про відповідність за верхнім значенням поля допуску для правила простого прийняття роблять у вигляді:

- задовільно - виміряне значення нижче межі поля допуску;
- незадовільно - виміряне значення вище межі поля допуску.

У разі встановлення захисної смуги бінарну заяву про відповідність роблять у вигляді:

- задовільно (Pass), результат виміряної величини нижче прийнятною верхньої границі (верхнє значення поля допуску мінус значення захисної смуги);
- незадовільно - відмова заснована на захисній смузі, якщо результат вимірювання вище прийнятною границі.

Якщо невизначеність велика, то є обмеження прийняття правильного рішення про відповідність. Значення максимальної допустимої невизначеності для конкретних вимірювань у міжнародній практиці одержують за раундами міжлабораторних звірень. В міжнародних документах також встановлюються непрямі значення невизначеності. Наприклад, для засобів вимірювальної техніки як співвідношення з його максимальною допустимою похибкою.

ISO/IEC 17025:2017 вимагає, щоб лабораторії оцінювали невизначеність вимірювань і щоб вони застосовували документоване правило прийняття рішень при заяві про відповідність.

Як уже згадувалося раніше, застосовувані підходи можуть істотно варіюватися залежно від ситуації, і можуть застосовуватися різні захисні смуги. Найбільш поширеним є застосування цільової невизначеності для значення захисної смуги. Однак, є багато випадків, коли використовується множник до значення невизначеності, відмінний від 1. У таблиці 1 із ІЛАС-G8:09 наведені приклади різних захисних смуг для досягнення певних рівнів специфічних ризиків, заснованих на заяві замовників.

Таблиця 1. Варіації захисних смуги для досягнення певних рівнів специфічних ризиків (ILAC-G8:09)

Правило прийняття рішення	Захисна смуга	Специфічний ризик
6 сигма	3 U	<1 ppm ймовірність помилкового прийняття
3 сигма	1,5 U	< 0,16% ймовірність помилкового прийняття
ILAC G8:2009 правило	1 U	< 2,5% ймовірність помилкового прийняття
ISO 14253-1:2017	0,83 U	< 5% ймовірність помилкового прийняття
Просте прийняття	0	< 50% ймовірність помилкового прийняття
Некритично	-U	Об'єкт відхиляється для вимірюваного значення більшого ніж ... < 2,5% ймовірність помилкового прийняття
Визначено замовником		Замовник визначає значення захисної смуги

В таблиці U–значення розширеної невизначеності.

Розширену цільову невизначеність можна визначити через деякі робочі характеристики методик. Наприклад:

- як 1/8 ширини інтервалу відповідності;
- відтворюваність вимірювань (R) розділити на 2,8 та помножити на 2;
- стандартний відхил, встановлений під час перевірки кваліфікації, помножити на 2.

Для допомоги лабораторіям у встановленні правил прийняття рішення є такі документи:

- ДСТУ ISO/IEC Guide 98-4:2018 Неопределенность измерений. Часть 4. Роль неопределенности измерений при оценке соответствия (ISO/IEC Guide 98-4:2012, IDT);
- ILAC-G8:09/2019 Настанова з правил рішення та заяв про відповідність;
- JCGM106:2013 Оцінювання даних вимірювань. Роль невизначеності вимірювань при оцінці відповідності (відповідає ISO/IEC Guide 98-4:2012);
- ISO14253-1:2017 Геометрические технические характеристики изделия (GPS) - проверка путем измерения деталей и измерительного оборудования. Часть 1: правила решения для проверки соответствия или несоответствия спецификации.

Висновки

На підставі проведеного аналізу визначено, що під час перевірки техніки, розробленої в лабораторії, необхідно оцінити обладнання та оцінити характеристики методів вимірювання, для яких можуть бути використані різні кількісні оцінки. Однак доцільно, крім невизначеності вимірювань, використовувати оцінку правильності та точності, особливо відзначити межі допустимого відхилення результатів двох вимірювань з точки зору повторюваності та відтворюваності, розрахованих на експериментальних даних. Проведення калібрування виключно вимірального обладнання є виправданим кроком для зменшення витрат. Випробувальне обладнання, яке не має виміральної функції, має бути перевірено на відповідність технічним характеристикам, встановленим у процедурах випробувань.

Однак, лабораторії повинні розуміти, що застосування невизначеності для прийняття рішення під час оцінки відповідності, при ситуації коли:

- ще немає національних стандартів для методик калібрування засобів вимірювальної техніки;

- невизначеність вимірювань, яка оцінюється під час калібрування засобів вимірювальної техніки, значна у порівнянні з відхилення його показів від еталонного значення величини;

- невизначеність вимірювань не затребувана на національному рівні, реальні правила прийняття рішення про відповідність повинні признаватися за теорією допускового контролю за встановленими у методиках та інших документах вимогами до продукції, допустимих норм до виміряних величин, похибки застосованих засобів вимірювальної техніки.

Знання міжнародних документів щодо встановлення правил прийняття рішень із застосуванням невизначеності можуть стати до нагоди для проходження акредитації лабораторії, участі у міжнародних та інших міжлабораторних порівняннях тощо.

Список використаних джерел:

1. Development and validation of measurement techniques according to ISO/IEC 17025:2017 / R. Trishch, O. Maletska, H. Hrinchenko, S. Artiukh, V. Burdeina, N. Antonenko // IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL). – 2019. – P. 1 – 6.
2. Analysis of the requirements of international and national standards for measurement methods and metrological equipment / R. Trishch, O. Maletska, O. Cherniak, Ju. Semionova, V. Jancis // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. – 2020. – № 1. – P. 156–162. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.156>.
3. Poliarus O. The features of application of normative documents to inverse problems of measurement / O. Poliarus, J. Brovko, O. Maletska // Metrology and instruments. – 2018. – № 5. – P. 40–46.
4. Малецька О. Аналіз вимог до засобів та методик вимірювань за ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 / О. Малецька // Технологія машинобудування. – 2018. – № 21. – С. 152-160. – DOI: <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2018-21-152-158>
5. Ghernaout D. Overlapping ISO/IEC 17025:2017 into Big Data: A Review and Perspectives / D. Ghernaout, M. Aichouni, A. Alghamdi // Alghamdi International Journal of Science and Qualitative Analysis. – 2018. – Vol. 4, № 3. – P. 83–92. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijjsqa.20180403.14>
6. Habibie M. Implementation of PDCA Cycle in Calibration and Testing Laboratory Based on ISO/IEC 17025:2017" / M. Habibie, H. Kresiani // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 598. – P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/598/1/012108>
7. Al-mijrab A. S. A. Critical Success Factors of ISO/IEC 17025 Implementation within Arabic Countries: A Case Study of Libyan Research Centres and Laboratories (LRCL) / A. S. A. Al-mijrab, M. E. Elgharib, M. A. Al-Griw // ST-6: TQ e-Learning Practices in Industries. – 2019. – № 6. – P. 1–6.
8. A Framework to Measure Readiness Level of Laboratory for Implementing ISO/IEC 17025: A Case Study / Z. T. Putri, F. Fahma, W. Sutopo, R. Zakaria // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 495. – P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/495/1/012011>
9. KaSing L. Addressing the new requirements under ISO/IEC 17025: 2017 by testing laboratories-experience sharing / L. KaSing // Journal of Food Safety and Quality. – 2020. – № 11. – P. 8989-8993.
10. ISO/IEC 17025:2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. – URL : <https://www.iso.org/ru/standard/39883.html> (last accessed: 25.05.2021).
11. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. – URL : <https://www.iso.org/ru/standard/66912.html> (last accessed 25.05.2021).
12. NAAU Management System "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (in accordance with ISO/IEC 17025:2017)" [Systema upravlinnja NAAU «Zaghaljni vymoghy do kompetentnosti

vyprobuvaljnykh ta kalibruvaljnykh laboratorij (vidpovidno do ISO/IEC 17025:2017)]. – URL : http://www.aviator.nau.edu.ua/metrology/npd/DSTU_ISO-IEC17025_2017.pdf (last accessed: 25.05.2021).

References:

1. Trishch, R, Maletska, O, Hrinchenko, H, Artiukh, S, Burdeina, V & Antonenko, N 2019, 'Development and validation of measurement techniques according to ISO/IEC 17025:2017', *IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)*, pp. 1-6.
2. Trishch, R., Maletska, O, Cherniak, O, Semionova, Ju & Jancis, V 2020, 'Analysis of the requirements of international and national standards for measurement methods and metrological equipment', *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, no. 1 (11), pp. 156-162, viewed 25 May 2021, <<https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.156>>.
3. Poliarus, O, Brovko, J & Maletska, O 2018, 'The features of application of normative documents to inverse problems of measurement', *Metrology and instruments*, no. 5, pp. 40-46.
4. Maletska, O 2018, 'Analiz vymoh do zasobiv ta metodyk vymiriuvan za DSTU ISO/IEC 17025:2017', *Tekhnolohiia mashynobuduvannia*, no. 21, pp. 152-160, viewed 25 May 2021, <<https://doi.org/10.32820/2079-1747-2018-21-152-158>>.
5. Ghernaout, D, Aichouni, M & Alghamdi, A 2018, 'Overlapping ISO/IEC 17025:2017 into Big Data: A Review and Perspectives', *International Journal of Science and Qualitative Analysis*, vol. 4, no. 3, pp. 83-92, viewed 25 May 2021, <<https://doi.org/10.11648/j.ijjsqa.20180403.14>>.
6. Habibie, M & Kresiani, H 2019, 'Implementation of PDCA Cycle in Calibration and Testing Laboratory Based on ISO/IEC 17025:2017', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 598, pp. 1-7, viewed 25 May 2021, <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/598/1/012108>>.
7. Al-mijrab, ASA, Elgharib, ME & Al-Griw, MA 2019, 'Critical Success Factors of ISO/IEC 17025 Implementation within Arabic Countries: A Case Study of Libyan Research Centres and Laboratories (LRCL)', *ST-6: TQ e-Learning Practices in Industries*, no. 6 (6), pp. 1-6.
8. Putri, ZT, Fahma, F, Sutopo, W & Zakaria, R 2019, 'A Framework to Measure Readiness Level of Laboratory for Implementing ISO/IEC 17025: A Case Study', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 495, pp. 1-8, viewed 25 May 2021, <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/495/1/012011>>.
9. KaSing, L 2020, 'Addressing the new requirements under ISO/IEC 17025: 2017 by testing laboratories-experience sharing', *Journal of Food Safety and Quality*, no 11(23), pp. 8989-8993.
10. *ISO/IEC 17025:2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* 2005, viewed 25 May 2021, <<https://www.iso.org/ru/standard/39883.html>>.
11. *ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* 2017, viewed 25 May 2021, <<https://www.iso.org/ru/standard/66912.html>>.
12. *NAAU Management System "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (in accordance with ISO/IEC 17025:2017)* 2017, [Systema upravlinnja NAAU «Zaghaljni vymoghy do kompetentnosti vyprobuvaljnykh ta kalibruvaljnykh laboratorij (vidpovidno do ISO/IEC 17025:2017)], viewed 25 May 2021, <http://www.aviator.nau.edu.ua/metrology/npd/DSTU_ISO-IEC17025_2017.pdf>.

Стаття надійшла до редакції 28 травня 2021 року

АНАЛІЗ ВИМОГ ДО ОСНАЩЕННЯ ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ДСТУ ISO/IEC 17025:2017

Артюх С.М., Бурдейна В.М., Грінченко Г.С., Черняк О.М., Тріщ А.Р.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів

Артюх Світлана Миколаївна; ORCID: 000-0003-0804-6313; artyhsn@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Бурдейна Вікторія Михайлівна; ORCID: 000-0002-0026-1900; zamorskavika@ukr.net; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Грінченко Ганна Сергіївна; ORCID: 0000-0002-6498-6142; hrinchenko@uipa.edu.ua; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Черняк Олена Миколаївна; ORCID: 0000-0001-6167-8809; cherniak@uipa.edu.ua; кандидат технічних наук; старший викладач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Тріщ Андрій Романович; ORCID: 0000-0002-0012-4690; andrey.trisch@gmail.com; аспірант кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У роботі прописані цілі акредитації випробувальних лабораторій та вимоги до їх оснащення. Акредитація випробувальних лабораторій є незалежною експертною оцінкою компетентності лабораторії для проведення будь-яких випробувань. Отримання акредитації підтверджує якість робіт, які виконуються лабораторією, і тим самим підвищує їх конкурентоспроможність в конкретному сегменті ринку. Основною метою акредитації випробувальних лабораторій є підтвердження компетентності; забезпечення довіри виробників, продавців до діяльності акредитованих випробувальних лабораторій.

Із мети проведення акредитації лабораторій витікає наступне: по-перше, процедура акредитації підтверджує компетентність і забезпечує конкурентоспроможність продукції, а це в свою чергу говорить про те, що лабораторії які пройшли акредитацію і отримали свідоцтва, мають необхідні знання, навички і досвід у своїй професійній сфері, для якісного виконання своїх обов'язків. По-друге, процедура акредитації – це процедура добровільна, а це означає, що випробувальні лабораторії, які проводять у себе процедуру акредитації, працюють у рамках закону, а значить не займаються незаконною діяльністю і до них виникає більше довіри. По-третє, випробувальні лабораторії, що пройшли процедуру акредитації, окрім знань, досвіду і навичок виконання досліджень також мають необхідне обладнання і умови для проведення перевірок. Крім того, такі лабораторії забезпечують якість результатів, їх кореляцію на різні характеристики об'єктів та проводять повторні випробування. Таким чином, процедура акредитації випробувальних лабораторій є свого роду гарантією надійності та компетентності у своїй професійній сфері. Адже саме такі випробувальні лабораторії конкурентоспроможні та мають переваги на ринку послуг.

Ключові слова: випробувальна лабораторія; компетентність; акредитація; гармонізація міжнародних вимог; експертна організація; якість робіт.

Artyukh S., Burdeina V., Hrinchenko H., Cherniak O., Trishch A. «Analysis of requirements for equipping testing laboratories in accordance with DSTU ISO \ IES 17025: 2017».

The paper prescribes the goals of accreditation of testing laboratories and requirements for their equipment. Accreditation of testing laboratories is an independent expert assessment of the laboratory's competence to conduct any tests. Obtaining accreditation confirms the quality of works performed by the laboratory, and thus increases their competitiveness in a particular market segment. The main purpose of accreditation of testing laboratories is confirmation of competence; ensuring the confidence of manufacturers and sellers in the activities of accredited testing laboratories.

The purpose of accreditation of laboratories is as follows: first, the accreditation procedure confirms the competence and ensures the competitiveness of products, which in turn means that laboratories that have been accredited and received certificates have the necessary knowledge, skills and experience in their professional field, for quality performance of their duties. Second, the accreditation procedure is a voluntary procedure, which means that the testing laboratories that conduct the accreditation procedure operate within the law, which means that they are not engaged in illegal activities and are more trusted. Third, testing laboratories that have passed the accreditation procedure, in addition to knowledge, experience and research skills, also have the necessary equipment and conditions for conducting inspections. In addition, such laboratories ensure the quality of the results, their correlation with different characteristics of objects, and conduct retests. Thus, the procedure of accreditation of testing laboratories is a kind of guarantee of reliability and competence in their professional field. After all, such testing laboratories are competitive and have advantages in the services market.

Keywords: testing laboratory; competence; accreditation; harmonization of international requirements; expert organization; quality of works.

Постановка проблеми

Сьогодні найважливішою умовою успішного розвитку економіки є виробництво конкурентоспроможної продукції, яке в свою чергу залежить від компетентності випробувальної лабораторії. Основною метою політики випробувальної лабораторії в галузі якості є гарантування замовнику високого рівня якості випробувань і досліджень, які забезпечують отримання надійних, достовірних, відтворюваних результатів.

Випробувальна лабораторія є органом з оцінки відповідності. Згідно із Законом України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» оцінка відповідності може бути:

- добровільною, при цьому виді оцінки відповідності вимог до акредитації випробувальної лабораторії не має;
- оцінкою відповідності технічним регламентам - випробувальна лабораторія обов'язково повинна бути акредитована.

Крім того, інші закони також регламентують обов'язковість акредитації лабораторії під час виконання певної діяльності, наприклад, калібрувальні лабораторії, які проводять калібрування для акредитованих випробувальних лабораторій; уповноважені лабораторії, яким компетентний орган надав право досліджувати (випробовувати) об'єкти санітарних заходів для цілей державного контролю тощо.

Таким чином, законодавство України встановлює необхідність акредитації лабораторії для виконання певної діяльності.

Акредитацію також проходять калібрувальні та випробувальні лабораторії, на які не розповсюджуються законодавчі вимоги, за рішенням керівництва підприємства або організації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Коли розглядається питання про проведення акредитації випробувальної лабораторії, повинна бути забезпечена її відповідність в першу чергу вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 (ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 – початок дії з 01.01.2021) «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT)» та вимогам Національного агентства з акредитації України, яке буде перевіряти компетентність лабораторії під час акредитації [6].

Питаннями технічних аспектів випробувальних лабораторій та їх забезпечення з метою акредитації займалися ряд національних наукових організацій та науковців, які класифікували вимоги міжнародних стандартів щодо лабораторій. Основні їх дослідження опубліковані в роботах [7, 8], які стосуються вимог до обладнання та персоналу. Опубліковано ряд наукових досліджень, пов'язаних з методиками вимірювань, невизначеністю процесу вимірювання та оцінювання ризиків [9]. Але існує актуальність в поясненні вимог міжнародних стандартів щодо усіх можливих аспектів технічного забезпечення лабораторії під час підготовки до її акредитації.

Мета статті полягає у аналізі вимог до оснащення випробувальних лабораторій та виявленні груп ризику при проходженні процедури акредитації.

Основний матеріал

Сьогодні переважна більшість лабораторій вважає, що проведення акредитації буде сприяти довірі замовників до результатів їх випробувань та/або вимірювань продукції. Однак, під час вирішення питання щодо акредитації лабораторії слід враховувати всі позитивні та негативні сторони.

Під час розроблення проєкта сфери акредитації головне визначитися які параметри продукції необхідно випробувати та за якими методиками вимірювань / випробувань (далі – методики).

Методики можуть бути:

- рекомендованими, до яких відносяться методики, опубліковані у міжнародних, регіональних чи національних стандартах або видані авторитетними технічними організаціями, або видані у відповідній науковій літературі чи журналах, або ті, що зазначаються виробником обладнання. При цьому методики, викладені у національних стандартах України, є стандартизовані;

- розробленими лабораторією.

Лабораторія повинна забезпечити, що вона використовує останню дійсну версію методики, за винятком, коли це недоречно або неможливо. І ось тут виникає питання - «коли недоречно або неможливо»? Відповідь на це питання залежить від:

- методики, за якою замовник пропонує провести випробування, це може бути скасований в Україні стандарт. Однак, враховуючи положення Закону України «Про стандартизацію» про добровільність застосування національних стандартів, допустимо проведення випробувань за вимогами скасованих стандартів;

- відсутності стандарту, впровадженого на заміну скасованого, та його відповідності наявним вимогам до продукції.

У разі визначення методики проведення вимірювань/випробувань у нормативно-правовому акті неможливо враховувати «коли недоречно або неможливо», слід використовувати тільки визначену методику.

Всі НД на методики, необхідні для реалізації сфери акредитації, повинні бути в наявності в лабораторії, та безухильно виконуватися під час проведення вимірювань / випробувань. Тому все необхідне для лабораторії обладнання, визначається на підставі вимог методик [10].

Обладнання – це всі технічні засоби, програмне забезпечення, наявність яких визначена в методиці. Лабораторія повинна мати обладнання усіх видів, необхідне для правильного проведення вимірювань\випробувань, оброблення та аналізування отриманих результатів. Обладнання повинно бути доступним, придатним та відповідати вимогам застосованих методик. Це обладнання забезпечує правильне виконання вимірювань\випробувань у сфері акредитації та одержання достовірного результату. За вимогами ДСТУ ISO\IEC 17025:2017 все обладнання повинно бути перевірено перед впровадженням в експлуатацію.

До обладнання відносяться засоби вимірвальної техніки (ЗВТ), випробувальне обладнання (ВО), допоміжне обладнання (ДО) та програмне забезпечення. Все обладнання підтримується і відбирається таким чином, щоб гарантувати достовірність результатів у сфері акредитації.

ЗВТ – технічні засоби, які застосовуються для вимірювань та мають метрологічні характеристики. Для визначення вимог до ЗВТ в методиці може бути вказано:

- назва ЗВТ та його тип;
- або назва категорії ЗВТ; діапазон вимірювання та максимальна допустима похибка або клас точності, чутливість, стабільність тощо. Також може бути вказана ціна поділки ЗВТ.

За ДСТУ ISO 10012:2005 ЗВТ входять до визначення терміну «вимірвальне обладнання» як вимірвальний прилад [1].

Під час визначення придатності ЗВТ до застосування важливо враховувати умови проведення вимірювань\випробувань, які вказані у методиці. Для цього слід перевіряти можливі умови використання ЗВТ на відповідність умовам проведення вимірювань\випробувань за методикою.

Також умови проведення вимірювань\випробувань слід враховувати для визначення відповідності ЗВТ за зовнішніми механічними та електромагнітними умовами.

Згідно з міжнародними вимогами, які зараз впроваджені в Україні, в експлуатаційних документах ЗВТ встановлюються також такі метрологічні характеристики як повторюваність та відтворюваність. Для цих характеристик розбіжність результатів вимірювань повинна бути незначною порівняно з максимальною допустимою похибкою.

Для акредитації не важливим є була чи ні проведена оцінка відповідності ЗВТ технічному регламенту, який на неї розповсюджується. Головне – ЗВТ повинен бути калібрований перед введенням його в експлуатацію у акредитованій калібрувальній лабораторії. Тому, у разі придбання імпортного ЗВТ калібрування його виробником не є достатнім. Також під час акредитації та для акредитованої випробувальної лабораторії перевірка ЗВТ, які є законодавчо регульованими, не потрібна [2].

Для ЗВТ, які використовуються для проведення робіт у сфері акредитації, лабораторія самостійно встановлює міжкалібрувальний інтервал.

Випробувальне обладнання (ВО) - це технічні засоби, які використовуються для забезпечення умов випробування. До випробувального обладнання можуть належати ЗВТ, но тоді поводження з ними таке ж, як описано вище. Розглянемо ВО, яке не є ЗВТ. Головна відмінність – відсутність метрологічних характеристик (діапазону вимірювання, похибки, класу точності тощо). Випробувальне обладнання розглядають 2-х груп: яке має точнісні характеристики та яке не має точнісних характеристик. Точнісні та метрологічні характеристики є зовсім різними характеристиками за змістом. Метрологічні характеристики пов'язані із вимірюваннями: похибка вимірювань, діапазон вимірювань, а точнісні характеристики - із встановленням умов випробувань: діапазон встановлення температури, похибка встановлення температури тощо [6].

Перевірка ВО відповідає добре всім знайомій атестації випробувального обладнання. Термін «перевірка» замінив термін «атестація» ВО, але виконується аналогічно. Законодавчих вимог до проведення перевірки ВО не має. Тому у разі наявності необхідних

ЗВТ та відповідного персонала лабораторії можуть самостійно проводити таку перевірку як перед впровадженням в експлуатацію, так і періодичну перевірку в процесі експлуатації ВО. Однак, ті ЗВТ, які будуть використовуватися для перевірки ВО, повинні бути калібровані. На цей час є деяка плутанина у використанні терміна «калібрування». І деякі перевіряючі лабораторію аудитори та технічні експерти вимагають саме калібрувати ВО. Це неправильно. Калібруються у сучасному розумінні терміну «калібрування» за Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» тільки ЗВТ [3].

Термін «калібрування» може використовуватися як градування, вибір продукції однакового розміру тощо. Однак, з точки зору метрології та встановленого на цей час визначення терміну «калібрування» на міжнародному рівні розуміється тільки калібрування ЗВТ.

Ці неправильні вимоги з боку перевіряючих осіб до калібрування ВО пов'язані із відсутністю основоположних національних стандартів, які б формували загальні вимоги до процедур або якогось виду діяльності.

Наприклад, багато підприємств та лабораторій обурюються вимогами до калібрування сит. Для того, щоб уважно розібратися з питанням якій процедурі підлягають сита з метою перевірки після випуску з виробництва та під час їх експлуатації розглянемо вимоги ДСТУ ISO 3310-1:2017 «Сита. Технічні вимоги та випробування. Частина 1. Сита лабораторні з металевого дроту (ISO 3310-1:2016, IDT)» [2]. Цей стандарт встановлює максимальні допустимі відхилення розміру отвору від його номінального розміру. Процедура перевірки відповідності отворів сита встановленим вимогам – випробування (тест), а не калібрування. При цьому слід розглянути відмінності визначення терміну «ЗВТ» «вимірювальний прилад» від визначення терміну «вимірювальне обладнання» за [1]. До визначення терміну «вимірювальне обладнання» відносяться крім вимірювальних приладів, еталони, допоміжні прилади. Визначення сита за ISO 3310-1 – вимірювальне обладнання, яке застосовується для просіювання. Тому застосування під час вимірювання не значить, що сито є ЗВТ. ЗВТ застосовується для вимірювання та може підлягати повірці або калібруванню. Під час вимірювання повинно бути одержане конкретне значення вимірювальної величини, а під час просіювання може бути одержана тільки оцінка розміру частин (не більше ніж розмір отвору), які просіялися. На підставі цього сита повинні перевірятися як ВО з точностними характеристиками.

Якщо у лабораторії немає можливостей самостійно провести перевірку ВО, вона може звернутися до іншого підприємства або лабораторії, яка може зробити таку перевірку, наприклад, до виробника ВО, метрологічного центра тощо [10].

За результатами перевірки такого обладнання складається протокол або акт, чи робиться запис у його реєстраційній картці або у журналі встановленої форми записів у системі управління лабораторії [4].

Висновки

Таким чином, головним завданням системи якості випробувальної лабораторії є створення і стабільне підтримання необхідних умов для отримання достовірної інформації про показники якості та безпеки продукції при випробуваннях встановленими методами і оцінки відповідності цих показників існуючим вимогам. Наведені у цій роботі рекомендації щодо реалізації вимог до обладнання акредитованої лабораторії можуть бути застосовні для акредитованих лабораторій незалежно від їх сфери діяльності (харчова або хімічна промисловість, машинобудування тощо). Головне для них відповідати вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 (ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019). Адже акредитація лабораторії - це значний крок на шляху підвищення своїх конкурентних переваг і ще одна «сходінка», завдяки якій організація наближується в цілому до сертифікації системи менеджменту якості.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003, IDT). Вимоги до процесів вимірювання та вимірального обладнання. – [Чинний від 2007-01-01]. – Київ, 2007. – 26 с.
2. ДСТУ ISO 3310-1:2017. Сита. Технічні вимоги та випробування. Ч. 1: Сита лабораторні з металевого дроту (ISO 3310-1:2016, IDT) [Електронний ресурс]. – [Чинний від 2017-10-01]. – Режим доступу : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72584. (дата звернення 20.05.2021)
3. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України. – Київ : ВВР, 2014. – 46 с.
4. Система менеджмента качества организации: почему она не дает отдачи? [Электронный ресурс]. – Режим доступу : <http://www.iteam.ru/publications/quality/section 61/article 2272>. – (дата звернення 20.05.2021)
5. ISO/IEC 17025. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100424.pdf> – (Lastaccessed 20.05.2021)
6. Кортусова Ю. Ю. Особенности аккредитации испытательной лаборатории / Ю. Ю. Кортусова // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 3. – Режим доступу : <https://web.snauka.ru/issues/2012/03/10622>. – (дата звернення 20.05.2021)
7. Методика оцінювання метрологічної надійності засобів виміральної техніки з урахуванням концепції невизначеності / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко, В. В. Присяжнюк, Ю. М. Костюк // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 1. – С. 217–220.
8. Poliarus O. The features of application of normative documents to inverse problems of measurement / O. Poliarus, J. Brovko, O. Maletska // Metrology and instruments. – 2018. – No. 5. – P. 40–46.
9. Боцюра О. А. Основні положення Настанови з подання невизначеності вимірювань на основі байєсівського підходу / О. А. Боцюра, П. І. Неєжмаков, І. П. Захаров // Український метрологічний журнал. – 2019. – № 2. – С. 3–9.
10. ISO 13528:2015. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.iso.org/standard/56125.html> / – (Lastaccessed 20.05.2021)

References:

1. DSTU ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003, IDT). Vymohy do protsesiv vymiruvannia ta vymiruvального obladnannia 2007, Kyiv.
2. DSTU ISO 3310-1:2017 (ISO 3310-1:2016, IDT). Syta. Tekhnichni vymohy ta vyprobuвання. Part 1. Syta laboratorni z metalevoho drotu 2017, viewed 20 May 2021, <http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72584>.
3. Verkhovna Rada 2014, Zakon Ukrainy pro metrolohiu ta metrolohichnu diialnist, Kyiv.
4. Sistema menedzhmenta kachestva orhanyzatsyy: pochemu ona ne daet otdachy? 2009, viewed 20 May 2021, <<http://www.iteam.ru/publications/quality/section 61/article 2272>>.
5. ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories Obshhie trebovaniya k kompetentnosti ispytelnyh i kalibrovочnyh laboratorij 2017, viewed 20 May 2021, <<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100424.pdf>>.
6. Kortusova, YuYu 2012, 'Osobennosti akkreditacii ispytelnoj laboratorii', Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii, no. 3, viewed 20 May 2021, <<https://web.snauka.ru/issues/2012/03/10622>>.
7. Vasilevskiy, OM, Ihnatenko, OH, Prysiazhniuk, VV & Kostyuk, YuM 2016, 'Metodyka otsiniuvannia metrolohichnoi nadiinosti zasobiv vymiruvальної tekhniki z urakhuvanniam kontseptsii nevyznachenosti', Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy, no. 1, pp. 217-220.
8. Poliarus, O, Brovko, J & Maletska, O 2018, 'The features of application of normative documents to inverse problems of measurement', Metrology and instruments, no. 5, pp. 40-46.
9. Botsiura, O, Zakharov, I & Neyezhnikov, P 2019, 'Osnovni polozhennia Nastanovy z podannia nevyznachenosti vymiruvannia na osnovi baiiesivskoho pidkhodu', Ukrainnyi metrolohichnyi zhurnal, no. 2, pp. 3-9.
10. ISO 13528:2015 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison 2015, viewed 20 May 2021, <<https://www.iso.org/standard/56125.html>>.

Стаття надійшла до редакції 28 травня 2021 року

АНАЛІЗУВАННЯ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ЩОДО МІЖЛАБОРАТОРНИХ ТА ВНУТРІШНЬОЛАБОРАТОРНИХ ПОРІВНЯНЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ ВИПРОБУВАЛЬНИХ (КАЛІБРУВАЛЬНИХ) ЛАБОРАТОРІЙ

Тріщ Р.М., Бурдейна В.М. Артюх С.М., Черняк О.М., Грінченко Г.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів

Тріщ Роман Михайлович; ORCID: 0000-0002-9503-8428; trich_@ukr.net; професор, доктор технічних наук; завідувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Бурдейна Вікторія Михайлівна; ORCID: 000-0002-0026-1900; zamorskavika@ukr.net; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Артюх Світлана Миколаївна; ORCID: 000-0003-0804-6313; artyhsn@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Черняк Олена Миколаївна; ORCID: 0000-0001-6167-8809; cherniak@uipa.edu.ua; кандидат технічних наук; старший викладач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Грінченко Ганна Сергіївна; ORCID: 0000-0002-6498-6142; hrinchenko@uipa.edu.ua; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Проаналізовано міжнародні стандарти щодо визначення поняття міжлабораторних (внутрішньолабораторних) порівнянь. Визначені основні завдання міжлабораторних порівнянь при перевірці кваліфікації. Описано основні вимоги щодо моніторингу достовірності результатів міжлабораторних (внутрішньолабораторних) порівнянь та при оцінці точності методики вимірювань типовими завданнями міжлабораторних порівнянь. Розглянуто можливі способи використання стандартних зразків для цілей перевірки кваліфікації. Визначена мета внутрішньолабораторних порівнянь у відповідності до міжнародних стандартів. У відповідності до вимог міжнародних стандартів запропонована схема проведення експерименту, заснованого на збалансованих однорідних рівнях. Визначений підхід щодо проведення порівнянь для перевірки кваліфікації лабораторії під час реалізації стандартної методики, а також для попередньої оцінки прецизійності методики, що розробляється. Проаналізовані основні засади метода проведення порівнянь. Визначені основні вимоги щодо виконання вимірювань при експерименті в міжлабораторних (внутрішньолабораторних) порівняннях. Коротко описані вимоги до однорідності матеріалу зразків, які використовуються в міжлабораторних (внутрішньолабораторних) порівняннях. Коротко описана діяльність зарубіжних і вітчизняних провайдерів перевірок кваліфікації. Проаналізовані та визначені основні вимоги до зразків, які застосовуються для експерименту по оцінці точності при проведенні міжлабораторних (внутрішньолабораторних) порівнянь.

Ключові слова: міжлабораторні порівняння; внутрішньолабораторні порівняння; випробувальні лабораторії; міжнародні стандарти; зразки.

Trishch R., Burdeina V., Artyukh S., Cherniak O., Hrinchenko H. «Analysis of international requirements of standards for interlaboratory and intralaboratory comparisons of test results of testing (calibration) laboratories».

International standards for defining the concept of interlaboratory (intralaboratory) comparisons are analyzed. The main tasks of interlaboratory comparisons during the qualification test are determined. The main requirements for monitoring the reliability of the results of interlaboratory (intralaboratory) comparisons and in assessing the accuracy of measurement methods by typical tasks of interlaboratory comparisons are described. Possible ways of using standard samples for the purposes of proficiency testing are considered. The purpose of intralaboratory comparisons in accordance with international standards is determined. In accordance with the requirements of international standards, a scheme for conducting an experiment based on balanced homogeneous levels is proposed. The approach to conducting comparisons for checking the qualification of the laboratory during the implementation of the standard methodology, as well as for the preliminary assessment of the precision of the developed methodology is defined. The basic principles of the method of comparisons are analyzed. The main requirements for performing measurements during the experiment in interlaboratory (intralaboratory) comparisons are determined. The requirements for the homogeneity of the material of the samples used in interlaboratory (intralaboratory) comparisons are briefly described. The activity of foreign and domestic providers of qualification tests is briefly described. The main requirements to the samples used for the experiment to assess the accuracy of interlaboratory (intralaboratory) comparisons are analyzed and determined.

Keywords: interlaboratory comparisons; intralaboratory comparisons; testing laboratories; international standards; samples.

Постановка проблеми

Всі тенденції глобалізації у світовій економіці і торгівлі, тісна співпраця країн в області науки, техніки, охорони здоров'я, безпеки, охорони навколишнього середовища, прискорення науково-технічного прогресу висувають для світової спільноти в якості актуальної проблеми необхідність і потреба в розвитку і вдосконаленні міжнародної системи оцінки відповідності. Це призвело до створення нової сфери міжнародної стандартизації, пов'язаної з оцінкою відповідності (до розробки стандартів ISO / IEC серії 170001), прийнятого курсу країн на гармонізацію національних і міжнародних нормативних баз. Визначною метою створення міжнародної системи оцінки відповідності є забезпечення довіри користувачів до результатів оцінки відповідності товарів, робіт і послуг встановленим вимогам. Мета побудови системи, необхідна ефективність її функціонування (виняток учасниками системи оцінки відповідності такого явища, як дублювання дій, продиктований недостатньою довірою з боку користувачів результатів оцінки відповідності в одній країні до компетентності органів, що виконують оцінку відповідності в іншій) дозволили сформулювати принцип взаємного визнання результатів оцінки відповідності: «один стандарт - одне випробування - прийнято всюди» [2, 3]. На реалізацію цього принципу з метою формування системи взаємного визнання результатів оцінки відповідності направлено керівництво ISO / IEC 68: 2002 [4]. Підвищення рівня довіри користувачів результатів системи оцінки відповідності можливо на основі укладених багатосторонніх угод між органами з оцінки відповідності та / або міжнародних угод між національними органами з акредитації органів з оцінки відповідності. Відповідно з ISO / IEC 17000 підписаної угоди базуються на домовленості про взаємне визнання результатів оцінки відповідності як отриманих компетентно і за схожими процедурам, що дозволяє підписувати угоди бути впевненими, що всі потенційні учасники угоди є компетентними і здатні продемонструвати оцінку відповідності міжнародно визнаним вимогам. Понад 2000 лабораторій в більш ніж 80

країнах світу беруть участь в міжлабораторних порівняннях досліджень. Тому результати міжлабораторних порівнянь представляють особливий інтерес для лабораторій, тому що дають достовірну інформацію про їх професіоналізм. Особливу увагу в міжлабораторних (внутрішньо лабораторних) порівняннях приділяється визначенню вимог до зразків, які використовуються в цих порівняннях.

Головна мета вимірювальної та випробувальної лабораторії (далі – ВЛ) – це одержання достовірних результатів вимірювань/випробувань (далі – результатів). У міжнародних документах лабораторії для забезпечення довіри до результатів пропонується проводити моніторинг їх достовірності. Такий моніторинг повинен бути плановим та, де це доречно, включати, зокрема, внутрішньолабораторні порівняння. Також, рекомендується лабораторії моніторити свої результати в порівнянні з результатами інших лабораторій, де це можливо і доречно. Цей моніторинг повинен плануватися та переглядатися, і включати, але не обмежуватись, наступним:

- а) участь у перевірках кваліфікації;
- б) участь у міжлабораторних порівняннях, відмінних від перевірок кваліфікації.

Дослідження спирається на те, що вирішуючи питання про достатню кількість зразків (матеріалу) для проведення експерименту, необхідно враховувати можливість випадкових утрат або помилок під час одержання деяких результатів, що може вимагати додаткової кількості матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ряд науковців розглядали проблему організації проведення та оцінки міжлабораторних порівнянь. Так, наприклад, автори у роботі [5] внутрішньолабораторний контроль розглядають як елемент системи забезпечення єдності результатів випробувань, під час якого здійснюється як попереджувальний (попередній) контроль, так і контроль прийнятності результатів.

У роботі [6] запропоновано способи оцінки якості результатів вимірювання під час внутрішнього контролю в калібрувальній лабораторії, які можна застосовувати, використовуючи тільки стандартизовані або валідовані методики калібрування.

Метою статті є комплексне дослідження вимог міжнародних стандартів щодо впливу зразків в забезпеченні якості результатів досліджень при проведенні міжлабораторних (внутрішньолабораторних) порівнянь та визначення основних вимог до зразків, що використовуються в міжлабораторних (внутрішньолабораторних) порівнянь.

Основний матеріал

За ISO/IEC 17043:2010 «Міжлабораторні порівняння Оцінка відповідності. Основні вимоги до проведення перевірки кваліфікації»: Міжлабораторні порівняння - організація, виконання та оцінювання вимірювань або випробувань одного і того ж або декількох подібних зразків двома або більше лабораторіями відповідно до заздалегідь встановлених умов.

Внутрішньолабораторні порівняння - організація, виконання та оцінювання результатів вимірювань або випробувань одного і того ж або декількох подібних зразків в одній лабораторії.

Проведення та участь у порівняннях можуть бути направлені на перевірку кваліфікації лабораторії або оцінку точності методики вимірювань. При перевірці кваліфікації типовими завданнями міжлабораторних порівнянь є:

- оцінювання характеристик функціонування лабораторій з проведення певних випробувань або виконання вимірювань та постійний моніторинг за ними;

- виявлення проблем у лабораторіях, пов'язаних, наприклад, із застосуванням неправильних процедур вимірювань або випробувань, недостатньою ефективністю навчання та управління персоналом або некоректним калібруванням обладнання, і їх усунення;
- встановлення ефективності та порівнянності методів випробувань або вимірювань;
- забезпечення додаткового довіри у замовників лабораторії;
- виявлення відмінностей між лабораторіями;
- навчання лабораторій, що беруть участь, засноване на результатах порівнянь;
- підтвердження заявленої невизначеності.

При оцінці точності методики вимірювань типовими завданнями міжлабораторних порівнянь є [7]:

- підтвердження заявленої невизначеності;
- оцінювання характеристик методики (часто описується як спільні випробування).

Внутрішньолaborаторні порівняння можуть проводитися з метою:

- перевірки перевірку кваліфікації фахівців лабораторії;
- верифікації стандартної методики;
- оцінку точності розробленої методики вимірювань або методики, що застосовується в лабораторії поза сферою її застосування під час валідації методики.

Проведення порівнянь ґрунтується на порівнянні результатів, виконаних фахівцями різних лабораторій або різними фахівцями однієї лабораторії. Це вимагає наявності зразків, дослідження яких будуть проводитися під час проведення порівнянь. Зразком для проведення перевірок може бути проба, продукт, штучний об'єкт (артефакт), стандартний зразок, частина обладнання чи еталон.

Вимоги до зразків встановлені рядом міжнародних стандартів, впроваджених в Україні в статусі національних стандартів. Один з таких стандартів ДСТУ ГОСТ ІСО 5725-2:2005 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений (ГОСТ ІСО 5725-2-2003, IDT) встановлює вимоги до метода проведення порівнянь за показниками прецизійності.

Під час реалізації цього методу оцінюються стандартні відхилення повторюваності результатів, одержаних в лабораторіях за однією методикою вимірювань/випробувань (далі – методика). Для цього застосовані матеріали (зразки) повинні бути однорідними або неоднорідність зразка може бути урахована у значеннях прецизійності.

Для реалізації цього метода важлива можливість використання схеми проведення експерименту, заснованого на збалансованих однорідних рівнях. Такий підхід до проведення порівнянь може бути використаний для проведення перевірки кваліфікації лабораторії під час реалізації стандартної методики, а також для попередньої оцінки прецизійності методики, що розробляється.

Основні засади цього метода проведення порівнянь такі:

- 1) використовується статистична модель, яка описується рівнянням

$$y = m + B + e,$$

де (для конкретного зразка):

m - середнє значення (математичне очікування);

B - лабораторна складова систематичної похибки результатів вимірювань, які виконані у відповідності із стандартною методикою. в умовах повторюваності;

e - випадкова похибка, яка міститься у кожному незалежному спостереженні кожного вимірювання та в умовах повторюваності.

2) в статистичній практиці істинне значення стандартного відхилення невідомо, тому замінюється оцінкою, яка основана на виборці.

За цим методом зразки з q партій матеріалів, що відповідають q різних рівнів вимірюваної характеристики, надсилаються в p лабораторій, кожна з яких в умовах повторюваності на кожному з q рівнів одержує точно M паралельних визначень (значень незалежних спостережень). Експеримент такого типу носить назву «збалансованого експерименту з однорідними рівнями».

Виконання вимірювань при цьому експерименті повинно бути організоване з виконанням таких вимог:

- кожна група з M незалежних спостережень при вимірюванні одного рівня повинна бути одержана в умовах повторюваності, тобто у межах короткого інтервалу часу і одним та тим же оператором, а також без ніякого проміжного перекалібрування обладнання (крім випадку, якщо таке перекалібрування є умовою виконання вимірювань);

- незалежні спостереження виконуються незалежним чином так, начебто вони проводяться на різних зразках. Однак, кожне з M спостережень виконується на ідентичних зразках.

Таким чином, для проведення перевірянь координатору або провайдеру необхідно мати достатню кількість ідентичного однорідного матеріалу для реалізації одного рівня вимірювань. Достатня кількість визначається в залежності від p лабораторій, які приймають участь у порівняннях, та необхідної кількості матеріалу для проведення M спостережень в кожній лабораторії. Також при вирішенні питання про достатню кількість зразків (матеріалу) для проведення експерименту необхідно враховувати можливість випадкових втрат або помилок при одержанні деяких результатів, що може вимагати додаткової кількості матеріалу. Матеріалу (зразків) повинно бути достатньо для забезпечення експерименту та передбаченого резерву.

При необхідності гомогенізації матеріалу проводиться найбільш придатним для нього способом. Якщо матеріал, призначений для досліджень, не є однорідним, важливо підготувати проби таким способом, який установлений у методиці. Для нестабільних матеріалів наводяться спеціальні вказівки щодо їх зберігання та поводження з ними.

Для зразків передбачають відповідні заходи для усунення можливості зміни їх характеристик під час транспортування, збереження та підготовки для досліджень.

Ідентифікація зразків забезпечується маркуванням з визначенням назви експерименту та шифру зразка.

Вимоги до однорідності матеріалу зразків визначені у додатку B.5 ДСТУ EN ISO/IEC 17043:2017 Оцінка відповідності. Загальні вимоги до перевірки професійного рівня (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT), як необхідність демонстрації достатньої однорідності зразків за допомогою обґрунтованих статистичних методів, включаючи статистично випадкову вибірку репрезентативної кількості проб. Відповідні процедури детально викладені в ДСТУ ISO 13528:2016 «Статистичні методи для застосування під час перевірки професійного рівня за допомогою міжлабораторних порівнянь (ISO 13528:2015, IDT)», і в Міжнародному гармонізованому протоколі IUPAC. ISO 13528 встановлює сувору межу з неоднорідності та нестабільності для обмеження впливу на невизначеність і, отже, впливу, який вони чинять на одержувані оцінки, Міжнародний гармонізований протокол IUPAC розширює умови виконання статистичної перевірки оцінки неоднорідності та нестабільності щодо критерію, рекомендованого в ISO 13528.

Стабільність перевіряється для гарантії того, що вимірювана величина(и) не змінилася під час раунду перевірки кваліфікації. В ISO 13528 визначено, що зразки повинні

перевірятися в різних умовах, які зустрічаються при нормальному ході проведення програми перевірки кваліфікації, тобто в умовах відвантаження і перевезення при розподілі учасникам.

В ISO 13528 визначено, що повинні бути гарантії однорідності, стабільності та придатності зразків. Провайдер (координатор) повинен оцінити однорідність та стабільність зразків з використанням критеріїв, які дозволяють гарантувати, що неоднорідність та нестабільність зразків не буде негативно впливати на результати порівнянь.

Висновки

Вимоги до зразків, які застосовуються для експерименту по оцінці точності, визначені ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-1:2005 «Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення (ГОСТ ИСО 5725-1-2003, IDT)» таким чином:

- матеріали повинні представляти у повній мірі ті, які передбачені у сфері застосування методики;

- якщо зразок дискретний та не змінюється під час проведення досліджень, можна використовувати його одного для всіх лабораторій. Якщо при цьому використовуються різні зразки, то вони повинні бути ідентичними;

- при виборі матеріалу для забезпечення різних рівнів приймається до уваги проведення гомогенізації або вплив гетерогенності матеріалу на одержанні результати;

- у разі виконання вимірювань на твердих матеріалах, які не можуть бути гомогенізовані, а також якщо вимірювання не можуть бути повторені не тому самому зразку, неоднорідність матеріалу не дозволяє застосувати поняття «ідентичні зразки, тому у цьому випадку оцінка прецизійності може бути приписана тільки конкретному зразку;

- коли дослідження пов'язані з руйнуванням зразка, то складова змінності результатів, яка виникає через різноманітність зразків, на яких виконувались дослідження, повинна бути незначною порівняно із змінністю за методикою або повинна бути невід'ємною її частиною та представляти складову прецизійності;

- у випадку, коли матеріали (зразки) можуть змінюватися у часі, то повний цикл виконання експерименту повинен встановлюватися з урахуванням цього.

Таким чином, з якою метою не проводились би порівняння, слід максимально забезпечувати виконання різних вимірювань в однакових умовах на ідентичних однорідних та стабільних зразках.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ ISO/IEC 17043:2017. Оцінка відповідності. Загальні вимоги до перевірки професійного рівня (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT). – [Чинний від 2018-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 34 с.
2. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-2:2005. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 2: Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений (ГОСТ ИСО 5725-2-2003, IDT). – [Чинний від 2006-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2005. – 61 с.
3. ДСТУ EN ISO/IEC 17043:2017. Оцінка відповідності. Загальні вимоги до перевірки професійного рівня (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT)). – [Чинний від 2006-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2005. – 61 с.
4. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-1:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Ч. 1: Основні положення та визначення (ГОСТ ИСО 5725-1-2003, IDT) . – [Чинний від 2006-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2005. – 54 с.
5. Володарский Е. Т. Внутривлабораторный контроль качества. Современные подходы / Е. Т. Володарский, Л. А. Кошечая, Н. А. Раковец // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – № 3. – С. 95–101.
6. Внутрішньолабораторний контроль якості результатів калібрування / В. Г. Васильєва, Г. А. Примакова, Л. М. Домненко, А. О. Меженський // Український метрологічний журнал. – 2018. – № 4. – С. 3–7.

7. Результаты контроля точности лабораторных измерений показателей качества угля / Е. Е. Гарковенко, Т. А. Моцак, Л. Г. Сатановская, Л. А. Уткина // Уголь Украины. – 2011. – № 10. – С. 52–54.
8. ISO/IEC 17043:2010. Conformity assessment – General requirements for proficiency testing: (Prepared by the ISO Committee on conformity assessment (CASCO), approved by both organizations ISO and IEC (cancels and replaces ISO/IEC Guide 431:1997 and ISO/IEC Guide 43-2:1997). – 39 p.
9. ДСТУ ISO/IEC 17025:2017. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. – [Чинний від 2018-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 33 с.
10. ДСТУ ISO 13528:2016. Статистичні методи для застосування під час перевірки професійного рівня за допомогою міжлабораторних порівнянь (ISO 13528:2015, IDT). – [Чинний від 2016-09-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 61 с.

References:

1. DSTU ISO/IEC 17043:2017. Otsinka vidpovidnosti. Zahalni vymohy do perevirky profesiinoho rivnia (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT) 2017, Derzhavne pidpriemstvo Ukrainyskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, Kyiv.
2. DSTU HOST YSO 5725-2:2005. Tochnost (pravylnost y pretsyzyonnost) metodov y rezultatov yzmerenyi. Part 2 Osnovnoi metod opredeleniya povtoriaemosti y vosproyzydomosti standartnoho metoda yzmerenyi (HOST YSO 5725-2-2003, IDT) 2005, Derzhavne pidpriemstvo Ukrainyskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, Kyiv.
3. DSTU EN ISO/IEC 17043:2017 Otsinka vidpovidnosti. Zahalni vymohy do perevirky profesiinoho rivnia (EN ISO/IEC 17043:2010; ISO/IEC 17043:2010, IDT) 2005, Derzhavne pidpriemstvo Ukrainyskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, Kyiv5.
4. DSTU HOST YSO 5725-1:2005 Tochnist (pravylnist i pretsyziinist) metodiv ta rezultativ vymiriuvannia. Part 1 Osnovni polozhennia ta vyznachennia (HOST YSO 5725-1-2003, IDT) 2005, Derzhavne pidpriemstvo Ukrainyskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, Kyiv.
5. Volodarskiy, E, Koshevaya, L & Rakovets, N 2010, 'Vnutrilaboratornyj kontrol kachestva. Sovremennye podhody' [Intralaboratory Quality Control. Modern Approaches]. *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*, no. 3, pp. 95-10.
6. Vasylieva, V, Prymakova, H, Domnenko, L & Mezhenyskyi, A 2018, Vnutrishno laboratornij kontrol yakosti rezultativ, *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal*, no. 4, pp. 3-7.
7. Harkovenko, EE, Motsak, TA, Satanovskaia, LH & Utkyna, LA 2011, 'Rezultaty kontrolja tochnosti labora-tornyh izmerenij pokazatelej kachestva uglja', *Ugol Ukrainy*, no. 10, pp. 52-54.
8. Conformity assessment – General requirements for proficiency testing: ISO/IEC 17043:2010. (Prepared by the ISO Committee on conformity assessment (CASCO), approved by both organizations ISO and IEC (cancels and replaces ISO/IEC Guide 431:1997 and ISO/IEC Guide 43-2:1997) 2010.
9. DSTU ISO/IEC 17025:2017. Zahalni vymohy do kompetentnosti vyprobuvalnykh ta kalibruvalnykh laboratorii 2017, Derzhavne pidpriemstvo Ukrainyskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, Kyiv.
10. DSTU ISO 13528:2016 Statystychni metody dlia zastosuvannia pid chas perevirky profesiinoho rivnia za dopomohoiu mizhlaboratornykh porivnian (ISO 13528:2015, IDT) 2016, Derzhavne pidpriemstvo Ukrainyskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, Kyiv.

Стаття надійшла до редакції 28 травня 2021 року

DOI 10.32820/2079-1747-2021-27-117-124

УДК 006.32:006.91

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ЩОДО НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ В МЕТРОЛОГІЧНУ ДІЯЛЬНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ

Тріщ Р.М., Черняк О.М., Артюх С.М., Бурдейна В.М., Грінченко Г.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Тріщ Роман Михайлович; ORCID: 0000-0002-9503-8428; trich_@ukr.net; професор, доктор технічних наук; завідувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Черняк Олена Миколаївна; ORCID: 0000-0001-6167-8809; cherniak@uipa.edu.ua; кандидат технічних наук; старший викладач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Артюх Світлана Миколаївна; ORCID: 000-0003-0804-6313; artyhsn@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Бурдейна Вікторія Михайлівна; ORCID: 000-0002-0026-1900; zamorskavika@ukr.net; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Грінченко Ганна Сергіївна; ORCID: 0000-0002-6498-6142; hrinchenko@uipa.edu.ua; кандидат технічних наук, доцент; доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Міжнародними документами, в яких містяться положення щодо визначення достовірності результатів вимірювань/випробувань, велика увага приділяється невизначеності вимірювань. Однак, на сьогоднішній день, розроблено лише концепцію оцінки невизначеності, принципи і методологія оцінки невизначеності не досягнули належного рівня можливості впровадження в практику. Ухвалення невизначеності, як оцінки якості отриманого результату вимірювань і декларування можливості оцінки достовірності цього результату, вимагає критеріїв оцінки якості самої невизначеності.

Для забезпечення можливості застосування невизначеності вимірювань необхідна розробка методології, яка дасть практичні методи і методики її оцінки для конкретних метрологічних робіт. Існуюча методологія представлена на цей час тільки на рівні рекомендацій. Тому на сучасному етапі впровадження в практичну метрологію концепції невизначеності вимірювань важливим завданням є вдосконалення методології в частині її регламентування у відповідних стандартних методиках.

Метою роботи є пояснення вимоги міжнародних стандартів щодо невизначеності вимірювань для застосування в метрологічну діяльність на промислових підприємствах.

Проведено аналіз концепції невизначеності вимірювань як наукової теорії і показано неоднозначність її здійснення для прикладної метрології, застосовуючи у різних лабораторіях. Показано, що для реалізації концепції оцінювання невизначеності вимірювань необхідно усунути наявні недоліки, розробити методики і навчити персонал правильності їх використання. Пропонується встановити критерії вибору або встановлення максимальної допустимої невизначеності для результатів конкретних вимірів, що, в свою чергу, призводить за собою розробку критеріїв правильності її встановлення.

Ключові слова: невизначеність вимірювань; калібрування; методика вимірювань; метрологічні характеристики; засоби вимірювальної техніки; еталон.

Trishch R., Cherniak O., Artyukh S., Burdeina V., Hrinchenko H. «Implementation of the requirements of international standards of measurement uncertainty in the metrological activities of enterprises»

International documents, which contain provisions for determining the reliability of measurement/test results, pay great attention to measurement uncertainty. However, to date, only the concept of uncertainty assessment has been developed, the principles and methodology for assessing uncertainty have not reached the proper level of possibility of implementation in practice. The acceptance of uncertainty as an assessment of the quality of the obtained measurement result and the declaration of the possibility of assessing the reliability of this result requires criteria for assessing the quality of the uncertainty itself.

To ensure the possibility of using measurement uncertainty, it is necessary to develop a methodology that will provide practical methods and techniques for its assessment for specific metrological works. The existing methodology is currently presented at the recommendation level only. Therefore, at the present stage of implementation of the concept of measurement uncertainty in practical metrology, an important task is to improve the methodology in terms of its regulation in the corresponding standard methods.

The aim of the work is to explain the requirements of international standards for measurement uncertainty for use in metrological activities at industrial enterprises.

The analysis of the concept of measurement uncertainty as a scientific theory was carried out and the ambiguity of its implementation for applied metrology is shown, using it in various laboratories. It is demonstrated that in order to implement the concept of assessing the measurement uncertainty, it is necessary to eliminate the existing shortcomings, develop methods and train personnel in the correctness of their use. It is proposed to establish selection criteria or establish the maximum permissible uncertainty for the results of specific measurements, which, in turn, leads to the development of criteria for the correctness of its installation.

Keywords: measurement uncertainty; calibration; measurement technique; metrological characteristics; measuring equipment; standard.

Постановка проблеми

Міжнародними документами приділяється велика увага процесу оцінки невизначеності вимірювань, при цьому декларується, що концепція невизначеності вимірювань змінила сучасну метрологію. Питаннями невизначеності вимірювань займаються як в метрологічних організаціях, так і в організаціях, пов'язаних з акредитацією лабораторій для забезпечення метрологічної простежуваності результатів вимірювань.

Проведений аналіз різних ситуацій, які виникали при оцінці достовірності результатів вимірювань / випробувань з урахуванням значень невизначеностей результатів, дає підставу вважати, що для усунення протиріччя між двома лабораторіями необхідно домовлятися по оцінці складових невизначеності вимірювань при застосуванні ідентичних зразків для проведення вимірювань або випробувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для калібрувальних і випробувальних лабораторій основним критерієм їх компетентності є отримання достовірного результату вимірювань. Достовірність результату досягається виконанням багатьох вимог, серед яких вибір і забезпечення виконання робочих характеристик методик [1].

В роботі авторами запропоновано методику оцінювання метрологічної надійності засобів вимірвальної техніки, яка базується на використанні концепції невизначеності вимірювання, що дозволяє забезпечувати метрологічну простежуваність, а також встановлювати міжповірочний інтервал для засобів вимірвальної техніки [2].

В роботі [3] аналізуються шляхи до реалізації алгоритму обробки результатів і оцінювання невизначеності вимірювань на основі байєсівського підходу.

Міжнародними документами, в яких містяться положення щодо визначення достовірності результатів вимірювань/випробувань, велика увага приділяється невизначеності вимірювань. У багатьох з них, зокрема в OIML G19 [4] встановлюється, що «концепція» невизначеності вимірювань», наведена в GUM (ISO/IEC Guide 98-1:2009 [5]), докорінно змінила сучасну метрологію. Розгляд невизначеності вимірювань широко визнається як в метрології, так і в співтовариствах акредитації лабораторій, як необхідне для забезпечення метрологічної простежуваності результатів вимірювань. В ISO/IEC Guide 99:2007 (VIM) [5] використовують посилання на GUM (ISO/IEC Guide 98-3: 2008 [6]) як на документи, визнані практиками - метрологами у прикладній метрології. Однак, для розробки і впровадження в практику теорії невизначеності вимірювань однієї теорії недостатньо.

Концепція являє собою комплекс поглядів на що-небудь, пов'язаних між собою і утворюють взаємопов'язану систему. Концепція повинна підтримуватися відповідними принципами і методологією. Особливості реалізації концепції невизначеності вимірювань вимагають ретельно розроблених принципів і методик. Відсутність принципів і методик оцінки невизначеності в конкретних випадках призводить до суттєвих помилок та зводить на нуль зусилля фахівців з розрахунку значення невизначеності. Крім того, відсутність допустимих значень і стандартних методик для вимірювання конкретних величин призводить до безцільності прикладених зусиль, тому що не існує критеріїв прийняття рішення про прийнятність отриманого результату

У [5] невизначеність вимірювання визначена як «невід'ємний параметр, що характеризує розсіювання значень величини, які приписуються вимірюваній величині на підставі інформації, що використовується». При цьому концепцію оцінки невизначеності можна сформулювати як визначення параметра кількісної оцінки якості результату вимірювання без використання поняття «істинне значення вимірюваної величини», який можна застосовувати для вирішення різних практичних завдань, пов'язаних з оцінюванням результату вимірювання.

Мета статті - пояснити вимоги міжнародних стандартів щодо невизначеності вимірювань для застосування в метрологічну діяльність на промислових підприємствах.

Основний матеріал

Принципи, як загальні положення, яким повинні задовольнити наукові припущення для оцінки невизначеності, можна сформулювати на підставі відомого з міжнародно-правових актів алгоритму її оцінювання, суть якого полягає в наступному:

- вибір моделі вимірювання;
- встановлення впливають на результат вимірювання факторів;
- складання рівняння вимірювання;
- оцінювання значень компонентів рівнянь;
- оцінка невизначеностей за типами A і B;
- визначення сумарної і розширеної невизначеності.

Але, в даному алгоритмі, не вистачає ще одного етапу - встановлення значення розширеної невизначеності, як критерію необхідної якості результату вимірювання для конкретної вимірвальної задачі. Для того, щоб реалізувати кожен з цих принципів

необхідна методологія, яка буде включати методи і методики для використання практиками для реалізації процесу оцінювання невизначеності. Існуюча методологія представлена на цей час тільки на рівні рекомендацій, наприклад, правила створення рівняння вимірювань, визначення оцінок його складових, порядок оцінювання значення невизначеності і реєстрації результатів. Тому на сучасному етапі впровадження в практичну метрологію концепції невизначеності вимірювань важливим завданням є вдосконалення методології в частині її регламентування у відповідних стандартних методиках.

Відсутність основоположних стандартних методик є проблемою при розробки процесу оцінювання невизначеності вимірювань кожної лабораторією самостійно. Це призводить до того, що вимірюючи одну і ту ж величину за стандартною методикою, кожна лабораторія використовує різні рівняння вимірювань, різні підходи до оцінки значень стандартних невизначеностей. В результаті намічена концепцією можливість звірення результатів вимірювань, проведених в різних лабораторіях не може реалізуватися. Таким чином, одним з головних протиріч даної концепції є некоректно записане рівняння вимірювання.

На практиці зустрічаються рівняння, в яких не витримується розмірність по компонентам, тобто не враховуються впливаючі чинники з коефіцієнтами впливу на результат і приведенням розмірності до значення результату. Це не тільки недостатня компетентність фахівця, але і складність встановлення коефіцієнта впливу.

При оцінюванні значень компонентів рівнянь в міжнародних документах, наприклад, в ЕА 4/02:2013 [7], допускається «вільність» у встановленні значень як самих компонентів, так і невизначеності, яку вони вносять. Наприклад, оцінка невизначеності під час калібрування гирі (додаток S.2 ЕА 4/02) значення компонент рівняння та значення невизначеності наведені без належного обґрунтування. Такий «вільний» підхід до значень компонент і їх вкладу в невизначеність може найближчим часом привести до появи параметра, який буде оцінювати якість кількісної оцінки невизначеності. І цей процес підтвердження або оцінки якості може тривати до нескінченності.

При оцінюванні невизначеностей за типом А і В допускається помилки, які пов'язані з методологією. При вимірюванні з одним незалежним спостереженням, невизначеність за типом А визначити неможливо. А при двох незалежних спостереженнях вже можна, тому що це вже багаторазові спостереження. При цьому виникає значна помилка обробки такого статистичного ряду. Тобто необхідний якийсь параметр, який буде оцінювати якість розрахованого і врахованого в оцінці розширеної невизначеності стандартної невизначеності за типом А. Необхідність такого параметра можна уникнути маючи стандартну методику, як договір між двома сторонами по оцінюванню стандартної невизначеності за типом А.

Така ж ситуація і з розрахунком стандартної невизначеності за типом В. Необхідно чітко визначитися: які впливні чинники враховувати; як оцінити їх вплив на результат вимірювання; який закон розподілу необхідно використовувати, інакше складно прийняти значення невизначеності для вирішення практичних завдань.

Для вирішення практичних завдань з оцінки невизначеності при конкретних вимірах повинні бути конкретні рекомендації, в яких регламентовано покрокове оцінювання. В іншому випадку інженер, функції якого вирішувати практичні завдання, повинен бути висококваліфікованим науковим співробітником. Однією з найважливіших завдань по оцінці невизначеності, крім методичних розробок, є розробка методології оцінки необхідної цільової невизначеності - максимальної допустимої невизначеності для оцінки достовірності і прийнятності отриманого результату вимірювання.

На сьогоднішній день підприємства і лабораторії здають засоби вимірвальної техніки (ЗВТ) на калібрування в акредитовану калібрувальну лабораторію, розуміючи, що невизначеність при калібруванні - це не метрологічна характеристика ЗВТ, а якість роботи

калібрувальної лабораторії. Критерієм якості калібрувальної лабораторії є значення найкращою калібрувальною можливістю лабораторії, яке вказане в атестаті акредитації. Але підприємство довіряє калібрувати ЗВТ лабораторії, у якій значення найкращою калібрувальною можливістю дорівнює чи перевищує значення максимальної допустимої похибки ЗВТ. Тобто при калібруванні в такий лабораторії ЗВТ буде свідомо непридатне до експлуатації за критерієм «головним ризиком отримання недостовірного результату вимірювання є перевищення ЗВТ його максимальної похибки».

У сертифікаті калібрування, нехтуючи похибкою, як основною метрологічною характеристикою ЗВТ, вказується відхилення. Значення цього відхилення вказується як середнє значення відхилень з результатів проведених експериментальних досліджень при звіряння показів ЗВТ із значенням величини, яка реалізується еталоном, що характеризує систематичну похибку ЗВТ.

Досвідчені фахівці, що працюють в калібрувальної лабораторії і володіють методологією оцінювання похибки вимірювань, як правило, визначають не просто відхилення, а максимальне значення відхилення, яке містить і випадкову і систематичну складові похибки ЗВТ. І цим значенням можуть керуватися користувачі ЗВТ при проведенні його метрологічного підтвердження відповідності вимогам вимірвальної задачі. Користувач ЗВТ може на практиці використовувати відхилення, встановлене при калібруванні як систематична похибка, якщо ЗВТ - міра або реалізований як програмно технічний засіб. Тобто в разі нехтотно малої випадкової складової похибки, що не характерно для аналогових стрілочних і цифрових приладів.

Оцінка невизначеності під час калібрування в основному проводиться за нестандартними методиками в порушення вимог статті 27 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [8]. У цих методиках основною помилкою є прийняття повторюваності ЗВТ як випадкової складової його похибки, що не відповідає дійсності. Кожний показ ЗВТ містить в собі випадкову і систематичну складові похибки, які визначаються в порівнянні з показами еталона з урахуванням метрологічного запасу по точності. Випадкова складова похибки ЗВТ, також як і його повторюваність, оцінюються середньоквадратичним відхиленням, які різняться з певною дисперсією.

Для оцінки випадкової складової при обробці статистичного ряду спостережень, отриманого з відхилень показів ЗВТ від еталонного значення, розраховується експериментальне середньоквадратичне відхилення одного значення. А при оцінці повторюваності розраховується експериментальне середньоквадратичне відхилення середнього значення результатів, отриманих при вимірюванні ЗВТ однієї і тієї ж величини в умовах повторюваності.

Суть протиріччя в тому, що середньоквадратичне відхилення випадкової складової завжди більше в порівнянні з середньоквадратичним відхиленням повторюваності, так як не враховується кількість незалежних спостережень, випадкова складова похибки входить в значення максимальної допустимої похибки, а повторюваність є окремою характеристикою ЗВТ, яка повинна бути дуже мала в порівнянні з максимальної допустимою похибкою.

Метод розрахунку невизначеності при вимірах і при калібруванні ЗВТ, запропонований в міжнародних документах (GUM [4], EA 4/02 [7] і ін.) дає завищений результат за рахунок повторного обліку чинників, що впливають. Наприклад, у результаті вимірювання вже враховано зміни температури, або неправильне розташування вантажу на платформі ваг, або зайве зусилля затиску губок штангенциркуля, але при оцінці невизначеності ці чинники ще раз враховують.

У OIML G 19 згадується практика проведення повірки ЗВТ, коли невизначеність не розраховувалася, але достовірність результату повірки забезпечувалася вибором еталона і дотриманням умов проведення експериментальних досліджень. У цьому ж документі

рекомендується, що значення невизначеності має бути незначним, і згадується запас по точності між метрологічними характеристиками еталона і ЗВТ, що повіряється.

Оцінювання невизначеності еталонів теж має протиріччя, так як якщо сприймати нове визначення еталону, наведене в [5], то еталон не розглядається як ЗВТ. Але еталони, перш за все, є технічними засобами, застосовувані при вимірах в процесах оцінки відповідності, повірки, калібрування по ним інших ЗВТ. В [9] встановлено, що для зразка повинні бути встановлені величина, номінальне значення або діапазон виміру, яке відтворюється еталоном, похибка або клас точності, і невизначеність вимірювання із зазначенням інформації про її оцінюванні.

Відмова від розгляду еталона як ЗВТ, особливо для робочих еталонів, може привести до порушення єдності вимірювань на підприємствах, випуску неякісної та неконкурентоспроможною продукції. Порівняння невизначеності еталона з максимальною допустимою похибкою ЗВТ, контрольованого за допомогою цього еталону, свідчить про нерозуміння різниці між невизначеністю і похибкою, і призводить до порівняння абсолютно різних по фізичній природі понять.

При виборі еталона з великою похибкою, нестабільного, але відкаліброваного з невеликою невизначеністю, не можна достовірно відкалібрувати ЗВТ з меншою похибкою, ніж у еталону. Тому не можна визнавати правильним критерієм прийнятності еталона для повірки, калібрування ЗВТ співвідношення між невизначеністю і похибкою.

За теорією допускового контролю класичне співвідношення похибки ЗВТ, що застосовується для контролю допуску на контрольований параметр, приймається 1:3. І правильність такого підходу до вибору співвідношення допуску та похибки ЗВТ, за допомогою якого контролюють цей допуск, підтверджена практикою. Порівнювати невизначеність ЗВТ з допуском на контрольований параметр неприпустимо через різної природи понять допуск і невизначеність. Можна встановити з якою невизначеністю був проконтрольований допуск, але це буде мати сенс тільки в разі встановлення значення максимальної допустимої невизначеності для контролю конкретного допуску та розрахунку цієї невизначеності за встановленою методикою.

При перевірці випробувального устаткування, яке не дає результату вимірювання (холодильники, сита, печі, водяні лазні, калібри тощо) немає можливості їх калібрувати, тому що калібрування передбачає порівняння показів з еталонним значенням. Перевірка випробувального устаткування проводиться за допомогою робочих ЗВТ, а не еталонів. Термін «перевірка» для них відповідає перевірці їх технічних характеристик вимогам, встановленим в експлуатаційних документах або методиках калібрування і вимірювань, в яких передбачається використання цього випробувального устаткування.

У ISO/IEC 17025:2017 [11] встановлено, що калібрувальна і випробувальна лабораторії повинні оцінювати невизначеність вимірювання. У підрозділі щодо вимірювального обладнання в якості метрологічної характеристики вказана точність, тобто похибка ЗВТ. У підрозділі 7.2 при виборі і розробці методик вимірювань значно розширено перелік робочих характеристик. Якщо лабораторія не впевнена в оцінці невизначеності, досить встановити впливні фактори і їх значення, при яких результат вимірювання буде достовірним.

Критерій вибору робочих характеристик методик вимірювань - задоволення вимог замовника. Замовник не буде задоволений результатом вимірювання з приписаною

невизначеністю, поки він не буде знати при якому значенні невизначеності отриманий результат вимірювання буде йому прийнятний. Отже повинна бути відома, яка задовольняє замовника, максимальна допустима невизначеність і методика, за якою встановлюється значення невизначеності результату, для порівняння отриманої невизначеності в лабораторії з максимальною допустимою невизначеністю.

Висновки

Проведено аналіз концепції невизначеності вимірювань як наукової теорії і показано неоднозначність її здійснення для прикладної метрології, застосовуючи у різних лабораторіях. Показано, що для реалізації концепції оцінювання невизначеності вимірювань необхідно усунути наявні недоліки, розробити методики і навчити персонал правильності їх використання. Пропонується встановити критерії вибору або встановлення максимальної допустимої невизначеності для результатів конкретних вимірів, що, в свою чергу, призводить за собою розробку критеріїв правильності її встановлення.

Список використаних джерел:

1. Vasilevskiy O. M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty / O. M. Vasilevskiy // *International Journal of Metrology and Quality Engineering*. – 2014. – № 5. – P. 403.
2. Методика оцінювання метрологічної надійності засобів виміральної техніки з урахуванням концепції невизначеності / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко, В. В. Присяжнюк, Ю. М. Костюк // *Вісник інженерної академії України*. – 2016. – № 1. – С. 217–220.
3. Боцюра О. А. Основні положення Настанови з подання невизначеності вимірювань на основі байєсівського підходу / О. А. Боцюра, П. І. Неежмаков, І. П. Захаров // *Український метрологічний журнал*. – 2019. – № 2. – С. 3–9.
4. OIML G 19:2017 The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology. – URL : http://www.coomet.org/DB/isapi/cmt_docs/2017/12/7 HHG12.pdf/ – (Lastaccessed : 05.05.2021).
5. ISO/IEC Guide 98-1:2009 Uncertainty of measurement. Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement. – URL : https://webstore.iec.ch/preview/info_isoiecguide98-1%7Bed1.0%7Den.pdf / – (Lastaccessed : 05.05.2021).
6. ISO/IEC Guide 99:2007. International vocabulary of metrology. – Basic and general concepts and associated terms. – URL : <https://docplayer.ru/54947474-Iso-iec-guide-99-2007- e-r.html/> – (Lastaccessed : 05.05.2021).
7. ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement. Part 3 : Guide to the expression of uncertainty in measurement. – URL : [https://isoiecguide98-3%7Bed1.0%7Den%20\(1\).pdf](https://isoiecguide98-3%7Bed1.0%7Den%20(1).pdf) / – (Lastaccessed : 05.05.2021).
8. EA 4/02M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration. – URL : <https://european-accreditation.org/wpcontent/uploads/2018/10/ea-4-20-g-rev00-may-2015- rev.pdf/> – (Lastaccessed : 05.05.2021).
9. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII станом на 01.05.2021. – URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>. – (Lastaccessed : 05.05.2021).
10. OIML D 8:2008 Метрологія. Еталони. Вибір, визнання, застосування, зберігання та документація. – URL : <http://D008-e04.pdf>. – (Lastaccessed : 05.05.2021).
11. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. – URL : <https://www.iso.org/ru/standard/66912.html>. – (Lastaccessed : 05.05.2021).

References:

1. Vasilevskiy, OM 2014, 'Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty', *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, no. 5, pp. 403.

2. Vasilevskyi, OM, Ihnatenko, OH, Prysiashniuk, VV & Kostiuk, YuM 2016, 'Metodyka otsiniuvannia metrolohichnoi nadiinosti zasobiv vymiriuvanoi tekhniki z urakhuvanniam kontseptsii nevyznachenosti', *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy*, no. 1, pp. 217-220.
3. Botsiura, O, Zakharov, I & Nyezshmakov, P 2019, 'Osnovni polozhennia Nastanovy z podannia nevyznachenosti vymiriuvan na osnovi baiiesivskoho pidkhodu', *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal*, no. 2, pp. 3-9.
4. International organization of legal metrology 2017, *OIML G 19:2017: The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology*, viewed 5 May 2021, <https://www.oiml.org/en/files/pdf_g/g019-e17.pdf>..
5. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission 2009, *ISO/IEC Guide 98-1:2009: Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement*, viewed 5 May 2021, <https://webstore.iec.ch/preview/info_isoiecguide98-1%7Bed1.0%7Den.pdf>.
6. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission 2007, *ISO/IEC Guide 99:2007: International vocabulary of metrology. – Basic and general concepts and associated terms*, viewed 5 May 2021, <<https://docplayer.ru/54947474-Iso-iec-guide-99-2007-e-r.html>>.
7. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission 2008, *ISO/IEC Guide 98-3:2008: Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement*, viewed 5 May 2021, <[https://isoiecguide98-3%7Bed1.0%7Den%20\(1\).pdf](https://isoiecguide98-3%7Bed1.0%7Den%20(1).pdf)>.
8. European Accreditation Laboratory Committee 2014, *EA 4/02M:2013: Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration* viewed 5 May 2021, <<https://european-accreditation.org/wpcontent/uploads/2018/10/ea-4-20-g-rev00-may-2015-rev.pdf>>..
9. Verkhovna Rada of Ukraine 2014, *1314-VII: Zakon Ukrainy. Pro metrolohiyu ta metrolohichnu diyalnist* [1314-VII Law of Ukraine. About metrology and metrological activity], viewed 5 May 2021, <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>>.
10. State Enterprise Ukrainian State Research and Production Center of Standardization, Metrology, Certification and Consumer Protection 2008, *DSTU OIML D 8:2008 Metrolohiya. Etalony. Vybir, vyznannya, zastosuvannya, zberihannya ta dokumentatsiya*, [OIML D 8:2008 Measurement standards — Choice, recognition, use, conservation and documentation], viewed 5 May 2021, <http://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTY1/dsty_oiml_d_8-2008.pdf>.
11. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission 2017, *ISO/IEC 17025:2017: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*, viewed 5 May 2021, <<https://www.iso.org/ru/standard/66912.html>>.

Стаття надійшла до редакції 28 травня 2021 року

ДО УВАГИ АВТОРІВ

У зв'язку зі зміною редакційної політики та популяризацією за кордоном збірника наукових праць УІПА «Машинобудування» (далі – Збірник) через світові бібліографічні, наукометричні бази, міжнародні каталоги повідомляємо наступне.

Науковий фаховий Збірник приймає до публікації наукові праці з напрямків галузеве машинобудування, матеріалознавство, прикладна механіка та метрологія та інформаційно – вимірювальна техніка.

Збірник зареєстровано у Міжнародному центрі періодичних видань, йому присвоєно Міжнародний стандартний номер серійного видання ISSN (International Standard Serials Number) 2079-1747 (print). Збірник індексується в міжнародних каталогах та наукометричних базах даних: Index Copernicus, Google Scholar, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OpenAIRE (Open Access Infrastructure for Research in Europe), WorldCat, iDiscover, Dimensions, ISSN National Centre (ROAD), SciLit, Fatcat, LENS, PHSG University of Education St.Gallen, University of Washington Libraries, Research4Life, а також українських Open Ukrainian Citation Index і Наукова періодика України.

Публікаційна етика та правила оформлення наукових публікацій

Редакційна колегія Збірника орієнтується в роботі на норми та принципи міжнародної організації Committee on Publication Ethics (COPE), її політика базована на рекомендаціях Budapest Open Access Initiative (BOAI).

Опубліковані в Збірнику наукових праць УІПА статті мають бути результатом наукових досліджень авторів, внеском у розвиток науки і забезпечувати спадкоємність наукових поглядів. З урахуванням цього редакція встановлює стандарти етичної поведінки для всіх сторін, що беруть участь в процесі публікації.

Обов'язки авторів

1. Стандарт авторства

Авторство має бути обмежене лише тими, хто вніс значний внесок в одержання результатів дослідження (розробка концепції, наукової ідеї та інш.). Автор, який представляє редакції рукопис, повинен гарантувати, що ним вказано всіх співавторів, що вони бачили і схвалили остаточний варіант рукопису і згодні з її поданням до редакції для публікації.

Статті, що подаються аспірантами, здобувачами, повинні мати рекомендацію наукового керівника, якщо він не є співавтором статті.

2. Стандарт однократності (неприпустимість паралельних публікацій).

Автор не повинен подавати до редакції рукопис раніше опублікованої статті. Він не повинен також подавати рукопис однієї і тієї ж за змістом статті в редакції декількох журналів одночасно.

Подача рукопису одночасно в кілька журналів є неетичною і неприйнятною.

3. Стандарт доступу до вихідних даних, дослідження та їх зберігання.

Автор зобов'язаний подати вихідні матеріали (дані) дослідження на вимогу редакції і повинен бути готовий надати публічний доступ до них. Автор повинен зберігати ці дані протягом певного часу після публікації.

4. Стандарт оригінальності і неприпустимість плагіату

Автор повинен представити в редакцію абсолютно оригінальну статтю. Якщо він використовував роботи або включає в свою статтю фрагменти з робіт (цитати) інших осіб, то таке використання має бути належним чином оформлене (лапки, виноска на джерело цитування, вказівка оригінального джерела в бібліографічному списку до статті).

Плагіат в будь-якій формі є неетичною і неприйнятною поведінкою автора.

5. Стандарт підтвердження джерел

Автор повинен в бібліографічному списку правильно вказати наукові та інші джерела, які він використовував у ході дослідження та які мали істотний вплив на результати дослідження.

Джерела, на які є виноска в тексті рукопису статті, повинні бути вказані в обов'язковому порядку. Інформація, отримана з неофіційних (приватних) джерел (розмова, листування, обговорення з третіми особами та ін.), не повинна використовуватися.

6. Стандарт виправлення помилок в опублікованих роботах

Якщо автор виявить суттєву помилку або неточність у вже опублікованій статті, то він зобов'язаний негайно повідомити про це редакцію і сприяти їй у виправленні помилки.

Якщо редакція дізнається про помилку від третіх осіб, то автор зобов'язаний негайно усунути помилку або представити докази її відсутності.

Загальні правила оформлення наукових публікацій

1. До друку приймаються наукові статті, що мають наукову і практичну цінність. Редакція приймає статті, повністю підготовлені до друку в збірнику наукових праць. Статті, оформлення яких не відповідає вказаним вимогам, не приймаються до друку.

2. Рішення щодо публікації (позитивне чи негативне) повідомляється автору. Стаття може бути повернена для доопрацювання. Рукописи авторам не повертаються.

3. Статті, відіслані авторам на доопрацювання, повинні бути повернені до редакції не пізніше, ніж через 10 днів після її одержання.

4. До розгляду приймаються наукові статті обсягом не менше 18-20 тис. знаків (включаючи таблиці, графіки, рисунки), формат паперу – А4, орієнтація – книжкова, всі поля – 2 см, міжрядковий інтервал – 1,5, кегль шрифту – 14, гарнітура – Times New Roman, абзац – 1,25 см.

5. Формули, рисунки, таблиці вставляються по тексту одразу після посилання на них. Ілюстрації повинні бути чіткими, формули – написані загальноприйнятою символікою. Розмір шрифту в ілюстраційному матеріалі не менше 10 пт.

6. Статті подаються в друкованому (2 прим.) та в електронному варіантах у вигляді файлів (текст форматами DOC, RTF, графіки, рисунки – JPEG, TIFF). Якщо текст статті разом з ілюстраціями виконано у вигляді одного файлу, то необхідно додатково подати файл із ілюстраціями (одна ілюстрація – один файл).

7. На електронну адресу редакції подається комплект файлів, до якого має бути додано опис, де зазначаються:

- назва текстового редактора,
- імена файлів,
- назва збірника
- назва статті,
- розділ науки,
- прізвище, ім'я та по батькові авторів.

8. До редакції приймаються документи Microsoft Word версій до 2003 року (Word 11, Microsoft Office 2003). Документи Word 2007, Word 2010 **в форматі *.docx не приймаються**.

9. Редакція залишає за собою право вносити поправки до статей, не змінюючи основного змісту. Відповідальність за цитування та достовірність інформації несуть автори статей.

10. Мова публікацій: українська, російська, англійська.

11. Слід чітко розмежовувати тире (–) та дефіс (-). Необхідно використовувати однотипні лапки («...» – для українського та російського тексту статті та “...” – для англійського). Не допускається ставити абзацний відступ пробілами та клавішею Tab. Рядки тексту в межах абзацу не повинні розділятися клавішею Enter.

12. Не допускається використання переносів. Між ініціалами, ініціалами та прізвищем ставиться нерозривний пробіл. Нумерація сторінок не проставляється.

13. Збірник з опублікованою статтею надсилається авторові поштою або видається у редакції.

Структура наукової статті (відповідно вимог ДСТУ 7152:2010

«Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках»)

Матеріали, подані до збірника, мають відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України», Постанови Кабінету Міністрів України від 27 січня 2010 р. № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» та повинні мати такі необхідні відомості:

1. **Індекс УДК** (вирівнювання по лівому краю). Визначити код УДК ви можете на сайті бібліотеки: <http://library.uipa.edu.ua/>

2. **Назва статті** (вирівнювання по центру, шрифт – напівжирний, великі літери).

3. **Прізвище та ініціали авторів**, співавторів (шрифт напівжирний)

4. **Анотація** (авторське резюме) без слова «Анотація» подається трьома мовами – українською, російською, англійською. Анотація містить прізвища та ініціали авторів (напівжирний курсив), назву статті у лапках, текст анотації. Обсяг анотації повинен бути не менше 1800 знаків.

5. **Ключові слова** (напівжирний курсив) – 5-6 слів через крапку з комою трьома мовами – українською, російською, англійською.

6. **Текст наукової статті.**

7. **Список використаних джерел** українською або російською мовами відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1-2006 (дивись сайт бібліотеки <http://library.uipa.edu.ua/vikladacham-i-kuratoram.html>), англійською мовою відповідно до міжнародних стандартів (<https://web.library.uq.edu.au/files/424/filename.pdf>). В оригінальних роботах цитують не більш 15 праць, а в оглядах – до 50. Список повинний містити публікації за останні 10 років, більш ранні допускаються лише в особливих випадках.

8. **References** – список використаних джерел латинськими літерами відповідно до стандарту Harvard (Постанова Кабінету Міністрів України від 27 січня 2010 р. №55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею»).

На сайті <http://www.slovnuk.ua/services/translit.php> можна безкоштовно скористатися сервісом транслітерації україномовного тексту в латиницю.

На сайті <http://www.translit.net> є сервіс для транслітерації російськомовного тексту (стандарт BGN).

9. Стаття повинна супроводжуватися **авторською довідкою** (для кожного автора) трьома мовами – українською, російською, англійською.

10. Авторська довідка містить наступні дані:

- назва статті;

- прізвище, повне ім'я та по батькові;

- рік народження;

- вчений ступінь, вчене звання;

- місце роботи (англійською мовою – повна офіційно-прийнята назва установи);

- посада;

- ідентифікатор ORCID (дивись сайт бібліотеки: <http://library.uipa.edu.ua/naukovtsyam/item/768-reiestratsiia-vchenykh-u-mizhnarodnomu-reiestri-orcid.html>);

- адреса для листування, телефон, e-mail;

- адреса для відправки авторського екземпляру.

У кінці довідки треба зазначити «Поданий матеріал раніше не публікувався і до інших видавництв не надсилався». «Не заперечую проти виставлення повного тексту статті на сайт Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, в реферативну базу даних «Україніка наукова» та повнотекстову базу даних «Наукова періодика України», сайт Наукової бібліотеки УІПА.

Рекомендації до написання анотацій (авторських резюме) до наукових статей

До публікації приймаються рукописи з максимально конкретизованими анотаціями. Композиційно анотація може бути збудована за принципами IMRAD (Introduction, Methods (Methodology), Results and Discussion). Загальновизнаною світовою практикою є використання анотацій (англійською мовою – resume чи abstract) не лише як структурного компонента власне наукової статті, але й як окремої наукової форми, що має на меті ознайомити у найзагальніших рисах із суттю та змістом дослідження.

Актуальність – актуальність дослідження. Мета – мета і завдання дослідження. Не слід повторювати назву статті. Якщо з назви статті мета та завдання роботи є зрозумілими, то це

речення слід пропустити. Наприклад, можна вказати – Розглянуті напрямки... Не використовувати такі слова як «В цій статті, в статті». Компетентні дослідники чудово розуміють, що мова йде саме про Вашу статтю.

Методи (методологія дослідження) – відомості про те, коли, де, як проводилося дослідження; яка інформація, методи використовувалися; хто був включений в групу піддослідних. **Метод або методологію** проведення роботи доцільно описувати в тому випадку, якщо вони відрізняються новизною або їх розробка становить самостійну частину роботи. У рефератах документів, що описують експериментальні роботи, вказують джерела даних і характер їхньої обробки.

Результати – основні висновки (конкретика), результати дослідження. Наприклад – Встановлено..., З'ясовано..., Показано... та ін. **Результати** роботи описують гранично точно й інформативно. Наводять основні теоретичні та експериментальні результати, фактичні дані, виявлені зв'язки і закономірності. При цьому перевага надається новим результатам і даним довгострокового значення, важливим відкриттям, висновкам, які спростовують наявні теорії, а також даними, що, на думку автора, мають практичне значення.

Висновки можуть містити рекомендації, оцінки, пропозиції, гіпотези, описані у статті. Не рекомендується вказувати, що Ваш підхід або методика є кращими, ніж в інших авторів. Це є зрозумілим із самого статусу статті як наукової.

Перспективи – інформація про те, як отриманий результат співвідноситься з висновками інших учених, які перспективи дослідження, напрями подальшої роботи, складності.

При підготовці анотації слід виходити з того, що Ви пишите для компетентних дослідників і широкого кола потенційних англomовних користувачів. Тому можете вводити до анотації спеціальні терміни. Слід чітко викладати свою позицію. Від стилю її викладення залежить кількість звертань і, що є особливо важливим і актуальним сьогодні, кількість цитувань Вашої публікації. Анотація не повинна містити загальних слів.

Авторське резюме повинно викладати суттєві факти роботи, і не повинно перебільшувати або містити матеріал, який відсутній в основній частині публікації.

Відомості, що містяться в заголовку статті, не повинні повторюватися в тексті авторського резюме. Скорочення та умовні позначення не допускаються.

В авторському резюме не робляться посилання на номер публікації в списку літератури до статті.

Слід уникати зайвих вступних фраз (наприклад, «автор статті розглядає»). Історичні довідки, якщо вони не становлять основний зміст документа, опис раніше опублікованих робіт та загальновідомі положення в рефераті не наводять.

У тексті анотації слід вживати синтаксичні конструкції, властиві мові наукових і технічних документів, уникати складних граматичних конструкцій (не застосовуваних у науковій англійській мові).

Обсяг тексту визначається змістом публікації (обсягом відомостей, їх науковою цінністю та / або практичним значенням), але **не повинний бути менше 1000 знаків**.

Приклад авторського резюме українською мовою:

Значна частина планів по впровадженню змін, що містять в своїй основі нововведення, або не доходить до практичної реалізації, або в дійсності приносить набагато менше користі, ніж планувалося..... У статті пропонується механізм ..., заснований на аналізі ... Дослідження спирається на звід правил і процедур, що містять серію методів, використання яких дозволяє ... До таких методів відносяться:Результатом розробленої автором методики ... є пропозиція, яка в своїй концептуальній основі орієнтується на ...вишукування шляхів та прискорить реалізацію....., що в кінцевому результаті призведе до....

Рекомендації до написання тексту наукової статті

Відповідно до Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України», текст статті має бути із зазначенням наступних елементів:

- **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи

практичними завданнями;

- **аналіз останніх досліджень** і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття;

- **формулювання цілей статті** (постановка завдання);

- виклад **основного матеріалу** дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;

- **висновки** з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Особливості стилю наукової статті

Часто автори, які декларують звертання до наукової проблематики, використовують при цьому публіцистичний стиль викладу. Змішання стилів не є виправданим, оскільки створення якісного інтелектуального продукту не може асоціюватися із публіцистичністю у будь-якій її формі. Публіцистика і наука – це дві повноцінні, важливі для суспільного розвитку, але зовсім відмінні сфери інтелектуального самовираження. Отже, починаючи зі стадії осмислення прийомів збору інформації та закінчуючи формами викладу тих концепцій та ідей, до яких дійшов автор у результаті дослідження, слід чітко та однозначно орієнтуватися на загальновизнані наукові стандарти рівня аргументованості та стилю викладу матеріалу.

При цьому треба пам'ятати, щоб у статті не було бездоказових тез та концепцій; усі ідеї знаходилися у закономірному та обґрунтованому взаємозв'язку; автор прагнув до максимальної об'єктивності та пошуку наукової істини, вільної від тиску ідеології та емоцій.

Рекомендації до складання списку використаних джерел

Після статті подається 2 списки:

Список використаних джерел (звичайний список літератури) та **References** (список для міжнародних БД, де дані українською/російською мовою описуються за допомогою транслітерації (<http://www.slovnuk.ua/services/translit.php>), а джерела англійською дублюються зі списку «Список використаних джерел»). Необхідно в опис документу в Списку та References вносити всіх авторів, не скорочуючи перелік до трьох, як це рекомендовано чинним у нас державним стандартом.

Правила оформлення списку літератури *References*, транслітерованого у романському алфавіті (латиниця)

Правильний опис використовуваних джерел у списках літератури є запорукою того, що цитована публікація буде врахована під час **оцінювання наукової діяльності її авторів**, отже, (по ланцюжку) — діяльності організації, регіону, країни.

За цитуванням журналу визначається його науковий рівень, авторитетність, ефективність діяльності його редакційної колегії і т. д. З цього виходить, що найбільш значущими складовими в бібліографічних посиланнях є **прізвища авторів і назви журналів**. Причому для того, щоб всі автори публікації були враховані в системі *Scopus*, **необхідно в опис статті вносити прізвища всіх авторів**, не скорочуючи їх до трьох, чотирьох та інше.

Для оформлення списку літератури *References* необхідно користуватись стандартом Harvard (<https://web.library.uq.edu.au/files/424/filename.pdf>).

Приклад опису статті з журналу:

Fritzowski, P & Kaminski, H 2009, 'Dynamics of a rope modeled as a discrete system with extensible members', *Computational Mechanics*, no. 44(4), pp. 473-480. doi:10.1007/s00466-009-0387-2.

Приклад опису книги:

Loveikin, V, Chovniuk, Yu, Dikteruk, M & Pastushenko, S 2004, *Modeliuvannia dynamiky mekhanizmiv vantazhopidomnykh mashyn*, RVV MDAU, Mykolaiv.

Збірник наукових праць «Машинобудування» входить до Категорії Б наукових фахових видань, включених до Переліку наукових фахових видань України (технічні науки), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук і доктора філософії (кандидата наук) наказ МОН України №409 від 17.03.2020.

Збірник наукових праць «Машинобудування» зареєстровано у Державному комітеті інформаційної політики України у 2006 році (Свідоцтво про Державну реєстрацію засобу масової інформації серія KB № 12132-1016P). Друкований варіант видання зареєстровано у ISSN Register під номером ISSN 2079-1747.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

УДК 621 – 622

Машинобудування. Збірник наукових праць. Випуск 27. – Харків, Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), 2021. – 130 с.

У збірнику подано результати наукових досліджень в галузі машинобудування. Розглянуто важливі проблеми міцності, стійкості, роботоздатності, динаміки вантажопідйомних, транспортуючих машин та верстатів, а також питання технології машинобудування.

Для викладачів, науковців, аспірантів, фахівців в галузі машинобудування.

SCIENTIFIC EDITION

UDC 621 – 622

Engineering. Collection of Scientific Papers. Issue 27. – Kharkiv, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy (UEPA), 2021. – 130 p.

There were considered the important problems of strength, steadiness, capacity for work, dynamics of loading transporting, technological, machines and imporers, also a question of machine-building technologic.

For instructors, research workers, post graduates, experts in the field of machine-building.



Підписано до друку 08.06.2021, Формат 60×84 ¹/₈. Умов. друк. арк. – 15,1.

Гарнітура *Times New Roman*. Друк цифровий. Наклад 50 прим. Ціна договірна.

ТОВ «Друкарня Мадрид». Свідоцтво серія ДК №4399 від 27.08.2012 р.

м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11, тел. 0800-33-67-62