

## СОДЕРЖАНИЕ

### РОБОТЫ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

***В.В. Серебрянный, Н.В. Петров***

Алгоритмы построения 3D-модели окружающей среды мобильного робота на основе стереокамеры ..... 8

***А.Ю. Поливанов, Ю. Дабул***

Метод преобразования координат в промышленном роботе KUKA KR16 с системой технического зрения..... 16

***В.В. Филатов, М.В. Чумаева, С.И. Моногаров***

Имитационные модели электронных блоков мехатронной системы бесконтактного двигателя постоянного тока ..... 24

### ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

***Е.В. Артамонов, В.В. Воронин, Т.Е. Костив, А.С. Штин***

Определение скорости резания, обеспечивающей максимальную работоспособность сборных резцов по параметрам виброускорения, при точении деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов..... 33

***А.А. Верещака, Н.С. Баранова, И.М. Шмаков, Е.С. Сотова***

Исследование структуры и фазового состава микрочастиц сферической формы, формирующихся в процессе осаждения PVD покрытий ..... 40

***А.А. Верещака, Н.С. Баранова***

Характер изнашивания и разрушения наноструктурированных покрытий Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N с изменяющейся величиной периода модуляции в износостойком слое..... 53

***В.А. Кузнецов, Р.Б. Волков, А.Ю. Прокопьев, Д.А. Сысоев, О.Т. Гусейнова***

Влияние режимов лезвийной обработки деталей приборных подшипников из закаленных и незакаленных специальных сплавов на высотные параметры шероховатости обработанных поверхностей ..... 63

***В.А. Кузнецов, В.В. Трегубов, А.В. Голобоков, А.Ю. Прокопьев***

Обеспечение качества абразивной обработки деталей приборных подшипников при продольном шлифовании на основе выбора оптимальных режимов резания ..... 73

<b>В.А. Гречишников, В.Б. Романов, А.С. Приходько, Д.С. Приходько</b> Использование метода твердотельного моделирования по определению сил резания при токарной обработке и при обработке по способу фрезоточения.....	83
<b>Н.А. Ковалев, Ю.С. Панкова, С.Р. Шехтман</b> Современные методы модификации поверхности режущих инструментов: обзор, анализ и перспективы...	90
<b>А.А. Филатова, Т.В. Тарасова</b> Динамика развития исследований в области аддитивного производства с использованием титановых сплавов.....	98

## 2.5.6. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

<b>В.П. Вороненко, К.А. Гарифуллин</b> Построение оптимальных логистических потоков в многономенклатурном механообрабатывающем производстве на основе модифицированной квадратичной задачи о назначениях.....	109
--	-----

## 2.3.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

<b>А.В. Рыбаков, А.А. Краснов, С.А. Евдокимов, А.Н. Шурпо</b> Цифровая трансформация среды обучения и деятельности при переходе к компьютерным базам знаний в машиностроении (на примере проектирования технологической оснастки) .....	117
<b>И.О. Саркисова</b> Развитие цифровых компетенций через кроссплатформенную разработку. Инструменты и методы .....	129
<b>А.В. Козлова, П.В. Попцов</b> Формирование критериев выбора наиболее подходящего способа интеграции информационных систем предприятия .....	141
<b>А.А. Попова, М.В. Захаров, К.В. Шошина</b> Разработка метода автоматизированного картографирования местности на основе мультиспектральных спутниковых снимков .....	150
<b>А.И. Усманов, А.В. Козлова, В.Г. Мешков</b> Анализ современных методов автоматизации неразрушающего контроля качества и диагностики электронных компонентов .....	161
<b>СОБЫТИЯ И ДАТЫ</b> .....	173

**CONTENTS**

**ROBOTS, MECHATRONICS AND ROBOTIC SYSTEMS**

*V.V. Serebrenny, N.V. Petrov*  
Mobile robot environment 3D-model construction algorithms based on stereo camera ..... 8

*A.Y. Polivanov, Y. Daboul*  
Method of coordinate conversion in industrial robot KUKA KR16 with computer vision system..... 16

*V.V. Filatov, M.V. Chumaeva, S.I. Monogarov*  
Simulation models of the mechatronic system electronic components of a contactless dc motor ..... 24

**TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF MECHANICAL  
AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING**

*E.V. Artamonov, V.V. Voronin, T.E. Kostiv, A.S. Shtin*  
Determination of the cutting speed that ensures maximum performance of prefabricated cutters based on their vibration when turning difficult-to-cut steels and alloys ..... 33

*A.A. Vereschaka, N.S. Baranova, I.M. Shmakov, E.S. Sotova*  
Study of the structure and phase composition of spherical microparticles formed during the deposition of PVD coatings ..... 40

*A.A. Vereschaka, N.S. Baranova*  
The character of wear and destruction of nanostructured Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N coatings with a variable value of the modulation period in the wear-resistant layer ..... 53

*V.A. Kuznetsov, R.B. Volkov, A.Yu. Prokopiev, D.A. Sysoev, O.T. Guseynova*  
Influence of turning modes of parts of tool bearings made of hardened and non-hardened special alloys on the height parameters of the roughness of the machined surfaces ..... 63

*V.A. Kuznetsov, V.V. Tregubov, A.V. Golobokov, A.Yu. Prokopyev*  
Ensuring the quality of abrasive machining of instrument bearing parts during longitudinal grinding based on the selection of optimal cutting modes ..... 73

*V.A. Grechishnikov, V.B. Romanov, A.S. Prikhodko, D.S. Prikhodko*  
Using the solid modeling method to determine cutting forces during turning and when processing using the turn-milling method ..... 83

<i>N.A. Kovalev, Y.S. Pankova, S.R. Shekhtman</i> Modern Methods of Surface Modification for Cutting Tools: Review, Analysis, and Perspectives.....	90
<i>A.A. Filatova, T.V. Tarasova</i> Development Dynamics of Research in Additive Manufacturing Using Titanium Alloys.....	98

## TECHNOLOGY OF MACHINE BUILDING

<i>V.P. Voronenko, K.A. Garifullin</i> Construction of rational logistic flows in multi-nomenclature production based on a modified quadratic assignment problem .....	109
--	-----

## AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTIONS

<i>A.V. Rybakov, A.A. Krasnov, S.A. Evdokimov, A. N. Surpo</i> Digital transformation of the learning environment and activities in the transition to computer knowledge bases in mechanical engineering (by the example of tooling design).....	117
<i>I.O. Sarkisova</i> Development of digital competencies through cross-platform development. Tools and methods .....	129
<i>A.V. Kozlova, P.V. Poptsov</i> Formation of methods for selecting the most suitable channel for managing enterprise information systems .....	141
<i>A.A. Popova, M.V. Zakharov, K.V. Shoshina</i> Development of a method for the automated terrain mapping based on multispectral satellite images .....	150
<i>A.I. Usmanov, A.V. Kozlova, V.G. Meshkov</i> Analysis of modern methods of automation of non-destructive quality control and diagnostics of electronic components .....	161

<b>EVENTS AND DATES</b> .....	173
-------------------------------	-----

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 8–15.

УДК 007.52

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 8–15.

***В.В. Серебрянный, Н.В. Петров***

МГТУ им. Н.Э. Баумана

## АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ СТЕРЕОКАМЕРЫ

### Аннотация

Робототехника является одним из самых актуальных направлений современности и позволяет решать множество задач – от замены человека на производстве до проведения разведывательных работ и патрулирования. Внедрение систем технического зрения в состав мобильных роботов позволяет им получать подробную информацию об окружающей среде, что дает возможность организовывать автономную работу этих роботов. Наиболее значимой информацией, получаемой благодаря системам технического зрения, является информация о геометрии окружающей среды. В работе рассматриваются существующие аппаратные подходы к построению геометрической картины окружающей среды, а также особенности алгоритма построения карты глубины с использованием стереокамеры. Кроме того, в работе рассматриваются результаты тестирования алгоритма построения 3D-модели окружающей среды мобильного робота на основе изображений, получаемых со стереокамеры в среде моделирования CoppeliaSim и стереокамеры RealSenseT265.

**Ключевые слова:** мобильные роботы, компьютерное зрение, системы технического зрения, стереокамеры, 3D-картографирование.

**Для цитирования:** Серебрянный В.В., Петров Н.В. Алгоритмы построения 3D-модели окружающей среды мобильного робота на основе стереокамеры // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 8–15.

***V.V. Serebrenny, N.V. Petrov***

Bauman Moscow State Technical University

## MOBILE ROBOT ENVIRONMENT 3D-MODEL CONSTRUCTION ALGORITHMS BASED ON STEREO CAMERA

### Abstract

Robotics is one of the most relevant areas of our time and allows us to solve many problems - from replacing a person in production to conducting reconnaissance work and patrolling. The use of technical vision systems as part of mobile robots allows them to receive detailed information about the environment, which makes it possible to organize the autonomous operation of these robots. The most significant information obtained from vision systems is information about the geometry of the environment. The paper discusses existing hardware

approaches to constructing a geometric picture of the environment, as well as features of the algorithm for constructing a depth map using a stereo camera. In addition, the paper discusses the results of testing an algorithm for constructing a 3D model of a mobile robot's environment based on images obtained from a stereo camera in the CoppeliaSim modeling environment and the RealSenseT265 stereo camera.

**Keywords:** mobile robotics, computer vision, vision systems, stereo cameras, 3D-mapping.

**For citation:** Serebrenny V.V., Petrov N.V. Mobile robot environment 3D-model construction algorithms based on stereo camera // Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No 2 (69). P. 8–15. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 16–23.

УДК 621.865.8:005

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 16–23.

А.Ю. Поливанов, Ю. Дабул

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

## МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ В ПРОМЫШЛЕННОМ РОБОТЕ КУКА KR16 С СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

### Аннотация

В статье рассматривается метод преобразования координат в промышленном роботе KUKA KR16 с системой технического зрения (СТЗ). Применение СТЗ позволяет сделать робота адаптивным, в результате чего имеется возможность определять бесконтактным способом координаты объектов в рабочей зоне манипулирования. Координаты преобразуются в базовую систему координат робота. Для обеспечения точности преобразования в статье рассматриваются внешняя и внутренняя калибровки камеры СТЗ.

Преобразование координат в промышленном роботе с системой технического зрения (СТЗ) имеет несколько целей. Во-первых, оно позволяет роботу точно определить положение и ориентацию объектов в пространстве. Это важно для выполнения задач, таких как сборка, позиционирование или обработка материалов.

Во-вторых, преобразование координат позволяет роботу работать в различных системах координат. Например, объекты могут быть представлены в глобальной системе координат, а робот может использовать локальную систему координат для выполнения задачи. Преобразование координат позволяет связать эти две системы и обеспечить правильное взаимодействие робота с окружающей средой.

Преобразование координат решается в системе управления роботом. Но, если робот оснащается СТЗ, то преобразование координат требует согласованной работы СТЗ и промышленного робота. Основная задача, которая решается в этом случае – определение координат объекта в базовой системе координат робота на основании изображения, полученного камерой СТЗ.

При преобразовании координат необходимо учитывать и компенсировать погрешности и неточности, которые возникают в системе СТЗ – робот. Компенсация погрешностей осуществляется путем калибровок – внутренней и внешней.

**Ключевые слова:** система технического зрения, робот, преобразование координат, базовая система координат.

**Для цитирования:** Поливанов А.Ю., Дабул Ю. Метод преобразования координат в промышленном роботе KUKA KR16 с системой технического зрения // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 16–23.

*A. Y. Polivanov, Y. Daboul*

MSUT “STANKIN”

## METHOD OF COORDINATE CONVERSION IN INDUSTRIAL ROBOT KUKA KR16 WITH COMPUTER VISION SYSTEM

### **Abstract**

The article discusses the method of coordinate transformation in the KUKA KR16 industrial robot with a computer vision system. The use of computer vision system makes it possible to make the robot adaptive, as a result of which it is possible to determine the coordinates of objects in the manipulation working area in a non-contact manner. The coordinates are converted to the robot’s base coordinate system. To ensure the accuracy of the conversion, the article discusses the external and internal calibrations of the computer vision system’s camera.

Coordinate transformation in an industrial robot with a computer vision system has several purposes. Firstly, it allows the robot to accurately determine the position and orientation of objects in space. This is important for tasks such as assembly, positioning, or material handling.

Secondly, coordinate transformation allows the robot to work in different coordinate systems. For example, objects can be represented in a global coordinate system, and a robot can use a local coordinate system to complete a task. The coordinate transformation allows you to connect these two systems and ensure the correct interaction of the robot with the environment.

Coordinate transformation is solved in the robot control system. But, if the robot is equipped with a computer vision system, then coordinate transformation requires coordinated work of the computer vision system and the industrial robot. The main task that is solved in this case is to determine the coordinates of the object in the basic coordinate system of the robot based on the image obtained by the computer vision system’s camera. When converting coordinates, it is necessary to take into account and compensate for errors and inaccuracies that occur in the computer vision system – robot system. Error compensation is carried out by calibrations – internal and external.

**Keywords:** computer vision system, robot, coordinate transformation, basic coordinate system.

**For citation:** Polivanov A. Y., Daboul Y. Method of coordinate conversion in industrial robot KUKA KR16 with computer vision system // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 16–23. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С.24–32.

УДК 621.313.024

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 24–32.

**В.В. Филатов** , **М.В. Чумаева**, **С.И. Моногаров**

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

 Автор для корреспонденции

## ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ БЕСКОНТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

### Аннотация

Бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ) как конструктивно завершённый модуль является сложной системой, объединяющей бесколлекторный двигатель и электронную систему управления. Основным силовым управляемым элементом является собственно бесколлекторный двигатель. Имитационная компьютерная модель бесколлекторного двигателя представлена блоком EMP. Мехатронная система БДПТ содержит ряд устройств, создающих силовые управляющие сигналы. В статье приведены имитационные модели электронных блоков, формирующих этих сигналы. Иерархический блок *COMPARATOR* (компаратор) моделирует работу системы датчиков положения ротора. Блок *DECODER* (дешифратор) моделирует процесс преобразования последовательности сигналов с датчиков положения ротора в строго определённую последовательность сигналов (код), которая задаёт необходимый алгоритм подключения обмоток якоря двигателя. Блок *COMMUTATOR* (коммутатор) моделирует процесс преобразования кода в симметричную трехфазную систему управляющих напряжений. Блок *PWM\_3×2* моделирует процессы широтно-импульсного управления БДПТ. Блок *PI\_REGULATOR* трехфазного пропорционально-интегрального регулятора формирует силовые управляющие сигналы. Выходные переменные построенной имитационной модели БДПТ достаточно точно отражают динамические и статические процессы реальной системы, что подтверждает адекватность модели.

**Ключевые слова:** бесконтактный двигатель постоянного тока, мехатронная система, имитационная компьютерная модель, управляющий сигнал, электронная система управления.

**Для цитирования:** Филатов В.В., Чумаева М.В., Моногаров С.И. Имитационные модели электронных блоков мехатронной системы бесконтактного двигателя постоянного тока // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 24–32.

**V.V. Filatov** , **M.V. Chumaeva**, **S.I. Monogarov**

MSUT “STANKIN”

 Corresponding author

## SIMULATION MODELS OF THE MECHATRONIC SYSTEM ELECTRONIC COMPONENTS OF A CONTACTLESS DC MOTOR

### Abstract

The contactless DC motor (BDPT) as a structurally complete module is a complex system combining a brushless motor and an electronic control system. The main power-driven element is the brushless motor itself. The simulation computer model of a brushless motor is represented by the EMP block. The BDPT mechatronic

system contains a number of devices that create power control signals. The article presents simulation models of electronic blocks that form these signals. The hierarchical COMPARATOR block simulates the operation of the rotor position sensor system. The DECODER block simulates the process of converting a sequence of signals from rotor position sensors into a strictly defined sequence of signals (code), which sets the necessary algorithm for connecting the motor armature windings. The COMMUTATOR block simulates the process of converting the code into a symmetrical three-phase control voltage system. The PWM<sub>3×2</sub> block simulates the processes of pulse-width control of the BDPT. The PI\_REGULATOR block of the three-phase proportional integral regulator generates power control signals. The output variables of the constructed BDPT simulation model accurately reflect the dynamic and static processes of the real system, which confirms the adequacy of the model.

**Keywords:** the contactless DC motor, mechatronic system, simulation computer model, control signal, electronic control system.

**For citation:** Filatov V.V., Chumaeva M.V., Monogarov S.I. Simulation models of the mechatronic system electronic components of a contactless dc motor // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 24–32. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 33–39.

УДК 621.941

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 33–39.

*Е.В. Артамонов<sup>1</sup>, В.В. Воронин<sup>2</sup>✉, Т.Е. Костив<sup>1</sup>, А.С. Штин<sup>1</sup>*<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»; <sup>2</sup> ПАО «Тюменские моторостроители»

✉ Автор для корреспонденции

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ МАКСИМАЛЬНУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СБОРНЫХ РЕЗЦОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРОУСКОРЕНИЯ, ПРИ ТОЧЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

### Аннотация

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований по определению диапазона скоростей резания, обеспечивающего условия максимальной работоспособности сменных режущих твердосплавных пластин сборных резцов, при точении деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов. Исследовалось точение при разных скоростях резания наружной поверхности заготовок из стали 14X17H2 и сплава ХН78Т на токарном станке с числовым программным управлением Viktor VTurn 26, при этом отслеживалось изменение вида стружки со сливной в элементную, производилась запись главной составляющей виброускорения сборного резца и контролировался относительный износ резца по задней поверхности. Разработанный авторами метод определения диапазона скоростей резания, обеспечивающего условия максимальной работоспособности сменных режущих твердосплавных пластин, основан на базовом математическом анализе зависимости среднеквадратичного значения главной составляющей виброускорения сборного резца от скорости резания. Результатом математического анализа является верхняя и нижняя границы искомого диапазона скоростей резания, определяемые соответственно по критическим точкам первой и второй производных. Разработанный способ может быть в полной мере реализован в условиях автоматизированного производства. Отклонение средних значений диапазонов скоростей резания, полученных по методу автора, составляет в среднем не более 7,5% от оптимальных, определенных по методике А.Д. Макарова и в среднем не более 6,5% по методике С.С. Силина. Диапазон скоростей резания, установленный по методу автора, позволяет уточнить широкий диапазон скоростей резания, рекомендованный производителем сменных режущих твердосплавных пластин (КЗТС, ISCAR), в среднем на 69%.

**Ключевые слова:** работоспособность, вибрация, точение, труднообрабатываемые стали и сплавы, сборный резец.

**Для цитирования:** Артамонов Е.В., Воронин В.В., Костив Т.Е., Штин А.С. Определение скорости резания, обеспечивающей максимальную работоспособность сборных резцов по параметрам виброускорения, при точении деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 33–39.

*E.V. Artamonov<sup>1</sup>, V.V. Voronin<sup>2</sup> ✉, T.E. Kostiv<sup>1</sup>, A.S. Shtin<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Tyumen Industrial University; 2 PAO “Tyumenskie motorostroiteli”

✉ Corresponding author

## DETERMINATION OF THE CUTTING SPEED THAT ENSURES MAXIMUM PERFORMANCE OF PREFABRICATED CUTTERS BASED ON THEIR VIBRATION WHEN TURNING DIFFICULT-TO-CUT STEELS AND ALLOYS

### Abstract

The article presents the results of experimental studies to determine the range of cutting speeds that provide conditions for maximum performance of replaceable carbide cutting plates of prefabricated cutters when turning parts made of hard-to-work steels and alloys. Turning at different cutting speeds of the outer surface of workpieces made of 14X17H2 steel and HN78T alloy was studied on a numerically controlled Viktor VTurn 26 lathe, while the change in the type of chips from drain to element was monitored, the main component of the vibration acceleration of the prefabricated cutter was recorded and the relative wear of the cutter along the back surface was monitored. The method developed by the authors for determining the cutting speed range, which provides conditions for maximum operability of replaceable carbide cutting plates, is based on a basic mathematical analysis of the dependence of the RMS value of the main component of the vibration acceleration of a prefabricated cutter on the cutting speed. The result of a mathematical analysis is the upper and lower limits of the desired cutting speed range, determined respectively by the critical points of the first and second derivatives. The developed method can be fully implemented in an automated production environment. The deviation of the average values of the cutting speed ranges obtained by the author's method is on average no more than 7.5% of the optimal values determined by the method of A.D. Makarov and on average no more than 6.5% by the method of S.S. Silin. The range of cutting speeds established by the author's method makes it possible to clarify the wide range of cutting speeds recommended by the manufacturer of replaceable carbide cutting plates (KZTS, ISCAR) by an average of 69%.

**Keywords:** workability, vibration, turning, difficult-to-cut steels and alloys, split-design tooling.

**For citation:** Artamonov E.V., Voronin V.V., Kostiv T.E., Shtin A.S. Determination of the cutting speed that ensures maximum performance of prefabricated cutters based on their vibration when turning difficult-to-cut steels and alloys. // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 33–39. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 40–52.

УДК 67.02

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 40–52.

*А.А. Верещака<sup>1</sup>, Н.С. Баранова<sup>2</sup>, И.М. Шмаков<sup>2</sup>, Е.С. Сотова<sup>3</sup>✉*

<sup>1</sup> Институт конструкторско-технологической информатики РАН; <sup>2</sup> РТУ МИРЭА;

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА МИКРОЧАСТИЦ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ОСАЖДЕНИЯ PVD ПОКРЫТИЙ

### Аннотация

В статье исследуются особенности структуры и фазового состава микрочастиц различного элементного состава – титан и цирконий, а также влияние микрочастиц на структуру нанослойных покрытий TiN-(Ti,Al)N и TiN-(Ti,Mo,Al)N. Установлены особенности деформации нанослойной структуры покрытия при ударном воздействии врезающихся в его поверхность микрочастиц. Определены фазы, формирующиеся в микрочастицах различного состава. Исследованы диффузионные процессы, при которых в поверхностных слоях ядра из основного элемента микрочастицы растворяются металлы, входящие в состав покрытия (в частности, молибден).

**Ключевые слова:** нитридные покрытия, микрочастицы, фазовый состав, нанослойная структура.

**Для цитирования:** Верещака А.А., Баранова Н.С., Шмаков И.М., Сотова Е.С. Исследование структуры и фазового состава микрочастиц сферической формы, формирующихся в процессе осаждения PVD покрытий // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 40–52.

*A.A. Vereschaka<sup>1</sup>, N.S. Baranova<sup>2</sup>, I.M. Shmakov<sup>2</sup>, E.S. Sotova<sup>3</sup>✉*

<sup>1</sup> Institute of Design and Technological Informatics of RAS; <sup>2</sup> RTU MIREA; <sup>3</sup> MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## STUDY OF THE STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF SPHERICAL MICROPARTICLES FORMED DURING THE DEPOSITION OF PVD COATINGS

### Abstract

The article examines the features of the structure and phase composition of microparticles of different elemental compositions – titanium and zirconium, as well as the influence of microparticles on the structure of TiN-(Ti,Al)N and TiN-(Ti,Mo,Al)N nanolayer coatings. The features of deformation of the nanolayer structure of the coating under the impact of microparticles cutting into its surface have been established. The phases that form in microparticles of various compositions have been determined. Diffusion processes have been studied in which metals included in the coating (in particular, molybdenum) are dissolved in the surface layers of the core from the main element of the microparticle.

**Keywords:** nitride coatings, microparticles, phase composition, nanolayer structure.

**For citation:** Vereschaka A.A., Baranova N.S., Shmakov I.M., Sotova E.S. Study of the structure and phase composition of spherical microparticles formed during the deposition of PVD coatings // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 40–52. (In Russian)

Научная статья

УДК 67.02

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 53–62.

Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No. 1 (68). P. 53–62.

А.А. Верещака<sup>1</sup>, Н.С. Баранова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт конструкторско-технологической информатики РАН; <sup>2</sup> РТУ МИРЭА

## ХАРАКТЕР ИЗНАШИВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ВЕЛИЧИНОЙ ПЕРИОДА МОДУЛЯЦИИ В ИЗНОСОСТОЙКОМ СЛОЕ

### Аннотация

Представлены результаты исследования свойств наноструктурированных покрытий Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N с изменяющимся периодом модуляции  $\lambda$ . Рассматривались покрытия с увеличивающимся от 20 до 300 нм и уменьшающимся от 300 до 20 нм периодом модуляции. В качестве объекта сравнения рассматривался образец с постоянной величиной периода модуляции  $\lambda = 50$  нм. Выявлены различия в характере трещинообразования у исследуемых покрытий. Было исследовано кристаллическое строение покрытий. Установлено, что при идентичном размере зёрен покрытия имеют заметные различия с точки зрения выраженности текстуры.

**Ключевые слова:** физическое осаждение из паровой фазы (PVD), трещинообразование, период стойкости режущего инструмента, нанослойные покрытия, износ.

**Для цитирования:** Верещака А.А., Баранова Н.С. Характер изнашивания и разрушения наноструктурированных покрытий Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N с изменяющейся величиной периода модуляции в износостойком слое // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 53–62.

А.А. Vereschaka<sup>1</sup>, N.S. Baranova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Design and Technological Informatics of RAS; <sup>2</sup> RTU MIREA

## THE CHARACTER OF WEAR AND DESTRUCTION OF NANOSTRUCTURED Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N COATINGS WITH A VARIABLE VALUE OF THE MODULATION PERIOD IN THE WEAR-RESISTANT LAYER

### Abstract

The study results of the properties of nanostructured Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N coatings with a varying modulation period  $\lambda$  are presented. Coatings with a modulation period increasing from 20 to 300 nm and decreasing from 300 to 20 nm were considered. A sample with a constant value of the modulation period  $\lambda = 50$  nm was

considered as an object of comparison. Differences in the cracking character in the studied coatings were revealed. The coatings crystal structure was investigated. It was found that with identical grain sizes, the coatings have noticeable differences in terms of texture severity.

**Keywords:** physical vapor deposition (PVD), cracking, cutting tool durability period, nanolayer coatings, wear.

**For citation:** Vereschaka A.A., Baranova N.S. The character of wear and destruction of nanostructured Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N coatings with a variable value of the modulation period in the wear-resistant layer // Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No 1 (68). P. 53–62. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 1 (68). С. 63–72.

УДК 67.02

Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No. 1 (68). P. 63–72.

**В.А. Кузнецов<sup>1</sup>, Р.Б. Волков<sup>2</sup>, А.Ю. Прокопьев<sup>3</sup>, Д.А. Сысоев<sup>4</sup>, О.Т. Гусейнова<sup>1,4</sup>✉**<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»»; <sup>2</sup> ООО «ВЕКТОР»;<sup>3</sup> Московский политехнический университет; <sup>4</sup> ОАО «ОК-ЛОЗА»

✉ Автор для корреспонденции

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ ИЗ ЗАКАЛЕННЫХ И НЕЗАКАЛЕННЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЛАВОВ НА ВЫСОТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

### Аннотация

Поскольку лезвийная обработка заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов является сложной технологической задачей, актуальным вопросом является разработка высокоэффективных технологических процессов лезвийной обработки заготовок деталей подшипников из труднообрабатываемых сталей и сплавов, что может быть реализовано на основе достоверно установленных закономерностей влияния технологических условий и режимов лезвийной обработки заготовок приборных подшипников на достигаемые параметры качества поверхности и физико-механические характеристики поверхностного слоя.

В данной статье рассмотрены закономерности влияния режимов лезвийной обработки токарной пластиной с напайными вставками из кубического нитрида бора (CBN-100) заготовок приборных подшипников из закаленных и незакаленных специальных сплавов (95X18-Ш, 110X18М-ШД, 40ХНЮ-ВИ) на высотные параметры шероховатости обработанных поверхностей, выявленные в ходе проведения экспериментальных исследований обработки специальных подшипниковых сплавов. Выявлен ряд особенностей, влияющих на формирование шероховатости поверхности деталей приборных подшипников после лезвийной обработки. Полученные результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для формирования технологических рекомендаций по обеспечению качества лезвийной обработки.

Известно, что кубический нитрида бора (КНБ) нашел широкое применение для чистовой лезвийной обработки закаленных сталей, имеющих твердость свыше 45 HRC, способной заменить традиционно используемые операции черного шлифования [6].

Традиционно при обработке закаленных сталей и сплавов повышение производительности достигается за счет внесения изменений в конструкцию режущего инструмента и усовершенствования оборудования. В настоящее время применение режущих инструментов из новых инструментальных материалов, в частности, кубического нитрида бора, позволяет обрабатывать специальные стали и сплавы в режиме высоких скоростей и подач [6].

Целью данного исследования является выявление закономерностей влияния режимов лезвийной обработки токарной пластиной с напайными вставками из кубического нитрида бора (CBN-100) заготовок приборных подшипников из закаленных и незакаленных специальных сплавов (95X18-Ш, 110X18М-ШД, 40ХНЮ-ВИ) на высотные параметры шероховатости обработанных поверхностей.

**Ключевые слова:** закаленные специальные сплавы, незакаленные специальные сплавы, лезвийная обработка, токарная пластина, кубический нитрид бора, высотные параметры шероховатости, приборные подшипники

**Для цитирования:** Кузнецов В.А., Волков Р.Б., Прокопьев А.Ю., Сысоев Д.А., Гусейнова О.Т. Влияние режимов лезвийной обработки деталей приборных подшипников из закаленных и незакаленных специальных сплавов на высотные параметры шероховатости обработанных поверхностей // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 63–72.

V.A. Kuznetsov<sup>1</sup>, R.B. Volkov<sup>2</sup>, A.Yu. Prokopiev<sup>3</sup>, D.A. Sysoev<sup>4</sup>, O.T. Guseynova<sup>1,4</sup>✉

<sup>1</sup> MSUT «STANKIN»; <sup>2</sup> LLS «VECTOR»; <sup>3</sup> Moscow Polytechnic University; <sup>4</sup> OJSC «OK-LOZA»

✉ Corresponding author

## INFLUENCE OF TURNING MODES OF PARTS OF TOOL BEARINGS MADE OF HARDENED AND NON-HARDENED SPECIAL ALLOYS ON THE HEIGHT PARAMETERS OF THE ROUGHNESS OF THE MACHINED SURFACES

### Abstract

Since blade machining of workpieces made of hard-to-cut steels and alloys is a complex technological task, an urgent issue is the development of highly efficient technological processes for blade machining of blanks of bearing parts made of hard-to-cut steels and alloys, which can be implemented on the basis of reliably established patterns of influence of technological conditions and modes of blade machining of instrument blanks bearings on the achieved parameters of surface quality and physical and mechanical characteristics of the surface layer.

The regularities of the influence of the modes of blade processing with a turning plate with soldered inserts made of cubic boron nitride (CBN-100) of instrument bearing blanks made of hardened and non-hardened special alloys (95H18-SH, 110H18M-SHD, 40HNYU-VI) on the high-altitude roughness parameters of the treated surfaces revealed during experimental studies of processing of special bearing alloys are considered. A number of features have been identified that influence the formation of surface roughness of parts of instrument bearings after blade processing. The obtained results of experimental studies can be used to formulate technological recommendations for ensuring the quality of blade processing.

It is known that cubic boron nitride (CBN) has found wide application for the finishing of blade processing of hardened steels with a hardness of over 45 HRC, capable of replacing traditionally used black grinding operations.

Traditionally, when machining hardened steels and alloys, productivity gains have been achieved through changes in cutting tool design and equipment improvements. Currently, the use of cutting tools made from new tool materials, in particular cubic boron nitride, makes it possible to process special steels and alloys at high speeds and feeds.

The purpose of this study is to identify the patterns of influence of the modes of blade machining with a turning plate with soldered inserts made of cubic boron nitride (CBN-100) blanks of instrument bearings made of hardened and non-hardened special alloys (95H18-SH, 110H18M-SHD, 40HNYU-VI) on the height parameters of the roughness of the treated surfaces.

**Keywords:** hardened special alloys, non-hardened special alloys, blade processing, turning plate, cubic boron nitride, height roughness parameters, instrument bearings.

**For citation:** Kuznetsov V.A., Volkov R.B., Prokopiev A.Yu., Sysoev D.A., Guseynova O.T. Influence of turning modes of parts of tool bearings made of hardened and non-hardened special alloys on the height parameters of the roughness of the machined surfaces // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 63–72. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 73–82.

УДК 67.02

Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No. 2 (69). P. 73–82.

**В.А. Кузнецов<sup>1</sup>, В.В. Трегубов<sup>1,2</sup>✉, А.В. Голобоков<sup>3</sup>, А.Ю. Прокопьев<sup>4</sup>**<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»»; <sup>2</sup> ОАО «ОК-Лоза»; <sup>3</sup> ООО «Новые технологии и материалы»;<sup>4</sup> Московский политехнический университет

✉ Автор для корреспонденции

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

### Аннотация

В ходе выполнения работ были определены цель работы, материалы заготовок и их физико-механические свойства, технологическое оборудование и инструмент, выполнены расчеты предельных режимов шлифования, а также составлен план полного факторного эксперимента.

По результатам проведенных работ выполнен анализ зависимостей параметров шероховатости, отклонения от круглости и волнистость от режимов обработки для продольного шлифования заготовок из сплавов 110X18M-ШД, 95X18-Ш, 40XНЮ-ВИ и получены:

- результаты натурных экспериментов и эмпирические зависимости высотных параметров шероховатости Ra, Rz, Rt от значений скорости резания, подачи и глубины резания при абразивной обработке при продольном шлифовании заготовок из сплавов 110X18M-ШД, 95X18-Ш и 40XНЮ-ВИ;
- результаты натурных экспериментов и эмпирическая зависимость параметра отклонения от круглости от значений скорости резания, подачи и глубины резания при абразивной обработке при продольном шлифовании заготовок из сплавов 110X18M-ШД, 95X18-Ш и 40XНЮ-ВИ;
- результаты натурных экспериментов и эмпирическая зависимость параметра волнистости от значений скорости резания, подачи и глубины резания при абразивной обработке продольным шлифованием заготовок из сплавов 110X18M-ШД, 95X18-Ш и 40XНЮ-ВИ;

В результате анализа полученных результатов было установлено:

- направлением повышения качества деталей приборных подшипников является оптимизация режимов абразивной обработки, что требует проведения дальнейших исследований;
- полученные результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для формирования технологических рекомендаций по обеспечению качества абразивной обработки.

**Ключевые слова:** продольное шлифование, врезное шлифование, скорость шлифования, величина подачи, глубина шлифования, отклонение от круглости, волнистость, шероховатость.

**Для цитирования:** Кузнецов В.А., Трегубов В.В., Голобоков А.В., Прокопьев А.Ю. Обеспечение качества абразивной обработки деталей приборных подшипников при продольном шлифовании на основе выбора оптимальных режимов резания // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 73–82.

*V.A. Kuznetsov<sup>1</sup>, V.V. Tregubov<sup>1,2</sup>✉, A.V. Golobokov<sup>3</sup>, A.Yu. Prokopyev<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> MSUT “STANKIN”; <sup>2</sup> OJSC “OK-LOZA”; <sup>3</sup> LLC “New Technologies and Materials”;

<sup>4</sup> Moscow Polytechnic University

✉ Corresponding author

## ENSURING THE QUALITY OF ABRASIVE MACHINING OF INSTRUMENT BEARING PARTS DURING LONGITUDINAL GRINDING BASED ON THE SELECTION OF OPTIMAL CUTTING MODES

### Abstract

In the course of the work, the purpose of the work, workpiece materials and their physical and mechanical properties, technological equipment and tools were determined, calculations of the limiting grinding modes were performed, and a plan for a full factorial experiment was drawn up. Based on the results of the work carried out, an analysis of the dependences of the parameters of roughness, deviation from roundness and waviness on processing modes for longitudinal grinding of workpieces from alloys 95H18-SH, 110H18M-SHD, 40HNYU-VI was carried out and the following was obtained:

- results of full-scale experiments and empirical dependences of the height parameters of roughness Ra, Rz, Rt on the values of cutting speed, feed and depth of cut during abrasive processing during longitudinal grinding of workpieces made of alloys 95H18-SH, 110H18M-SHD and 40HNYU-VI;
- results of full-scale experiments and empirical dependence of the deviation from roundness parameter on the values of cutting speed, feed and depth of cut during abrasive longitudinal grinding of workpieces made of alloys 95H18-SH, 110H18M-SHD and 40HNYU-VI;
- the results of full-scale experiments and the empirical dependence of the waviness parameter on the values of cutting speed, feed and depth of cut during abrasive processing by longitudinal grinding of workpieces made of alloys 95H18-SH, 110H18M-SHD and 40HNYU-VI;

As a result of the analysis of the results obtained, it was established:

- the direction of improving the quality of parts of instrument bearings is the optimization of abrasive processing modes; further research is required;
- the obtained results of experimental studies can be used to formulate technological recommendations for ensuring the quality of abrasive processing.

**Keywords:** longitudinal grinding, mortise grinding, grinding speed, feed amount, grinding depth, out of roundness, undulation, roughness.

**For citation:** Kuznetsov V.A., Tregubov V.V., Golobokov A.V., Prokopyev A.Yu. Ensuring the quality of abrasive machining of instrument bearing parts during longitudinal grinding based on the selection of optimal cutting modes // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 73–82. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 83–89.

УДК 621.941.01

Vestnik MSUT "Stankin". 2024. No. 2 (69). P. 83–89.

**В.А. Гречишников, В.Б. Романов, А.С. Приходько <sup>✉</sup>, Д.С. Приходько**

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

<sup>✉</sup> Автор для корреспонденции

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ И ПРИ ОБРАБОТКЕ ПО СПОСОБУ ФРЕЗОТОЧЕНИЯ

### Аннотация

Одним из существенных недостатков использования процесса точения при изготовлении деталей типа «тело вращения» является возникновение больших сил резания в зоне обработки, что отрицательно влияет на износ инструмента, шероховатость поверхности детали и прогиб длинномерного вала инструмента, что приводит к снижению режимов резания и уменьшению производительности обработки. Целесообразнее использовать способ фрезоточения при обработке тел вращения. Дисковая фреза по сравнению с резцом, при использовании ее как режущего инструмента, будет иметь преимущества по стойкости, производительности, точности и шероховатости обработанной поверхности, в том числе при обработке труднообрабатываемых материалов и длинномерных валов. Однако для использования метода фрезоточения как замены традиционному точению необходимо определение сил резания при обработке фрезой и резцом и их сравнение. В данной статье силы резания определяются расчетным путем и с использованием 3D-модели процесса точения и фрезоточения.

**Ключевые слова:** фрезоточение, токарная обработка, 3D-модель.

**Для цитирования:** Гречишников В.А., Романов В.Б., Приходько А.С., Приходько Д.С. Использование метода твердотельного моделирования по определению сил резания при токарной обработке и при обработке по способу фрезоточения // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 83–89.

**V.A. Grechishnikov, V.B. Romanov, A.S. Prikhodko <sup>✉</sup>, D.S. Prikhodko**

MSUT "STANKIN"

<sup>✉</sup> Corresponding author

## USING THE SOLID MODELING METHOD TO DETERMINE CUTTING FORCES DURING TURNING AND WHEN PROCESSING USING THE TURN-MILLING METHOD

### Abstract

One of the significant disadvantages of using the turning process in the manufacture of parts of the “body of rotation” type is the occurrence of large cutting forces in the processing area, which negatively affects tool wear, surface roughness of the part and deflection of the long shaft of the tool, which leads to a decrease in cutting modes and a decrease in processing productivity. It is more expedient to use the turn-milling method

when processing bodies of rotation. A disc milling cutter compared to a cutter, when used as a cutting tool, will have advantages in durability, productivity, accuracy and roughness of the treated surface, including when processing difficult-to-process materials and long shafts. However, in order to use the turn-milling method as a substitute for traditional turning, it is necessary to determine the cutting forces during turn-milling and cutter processing and compare them. In this article, the cutting forces are determined by calculation and using a 3D model of the turning and turn-milling process.

**Keywords:** turn-milling, turning process, 3D-model.

**For citation:** Grechishnikov V.A., Romanov V.B., Prikhodko A.S., Prikhodko D.S. Using the solid modeling method to determine cutting forces during turning and when processing using the turn-milling method // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 83–89. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 90–97.

УДК 621.735.016.2

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 90–97.

**Н.А. Ковалев**, **Ю.С. Панкова**, **С.Р. Шехтман**

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ: ОБЗОР, АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

### Аннотация

В настоящей статье представлен обзор современных методов модификации поверхности режущих инструментов с целью улучшения их производительности и характеристик. Для обоснования актуальности исследования представлен анализ публикаций в области модификации поверхности режущего инструмента. Проанализированы основные технологии модификации поверхности, такие как покрытие твердыми пленками, термохимическая обработка, лазерное и электроэрозионное микротекстурирование и другие. Особое внимание уделяется микротекстурированию как одному из наиболее перспективных методов модификации, его техническим аспектам и преимуществам перед другими методами. В статье рассматривается влияние различных методов модификации на характеристики и производительность режущих инструментов, а также представлены рекомендации по выбору методов в зависимости от конкретных требований применения. Заключительная часть статьи содержит итоговые выводы, рекомендации и перспективы дальнейших исследований в области модификации поверхности режущих инструментов.

**Ключевые слова:** модификация поверхности, режущие инструменты, микротекстурирование, покрытия.

**Для цитирования:** Ковалев Н.А., Панкова Ю.С., Шехтман С.Р. Современные методы модификации поверхности режущих инструментов: обзор, анализ и перспективы // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 90–97.

**N.A. Kovalev**, **Y.S. Pankova**, **S.R. Shekhtman**

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## MODERN METHODS OF SURFACE MODIFICATION FOR CUTTING TOOLS: REVIEW, ANALYSIS, AND PERSPECTIVES

### Abstract

The present article provides a review of modern methods for modifying the surface of cutting tools to enhance their performance and characteristics. It starts with an introduction to the issue of surface modification and justifies the relevance of the research through an analysis of publications in the area of cutting tool surface modification. The main modification technologies such as coating with hard films, thermochemical treat-

ment, laser and electroerosion microtexturing, among others, are analyzed. Special attention is given to microtexturing as one of the most promising methods of modification, its technical aspects, and advantages over other methods. The article discusses the impact of various modification methods on the characteristics and performance of cutting tools and provides recommendations for selecting methods depending on specific application requirements. The concluding part of the article contains final conclusions, recommendations, and prospects for further research in the field of surface modification of cutting tools.

**Keywords:** surface modification, cutting tools, microtexturing, coatings.

**For citation:** Kovalev N.A., Pankova Y.S., Shekhtman S.R. Modern Methods of Surface Modification for Cutting Tools: Review, Analysis, and Perspectives // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 90–97. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 98–108.

УДК 621.735.016.2

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 98–108.

*А.А. Филатова, Т.В. Тарасова*

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

## ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

### Аннотация

Представлен обзор научно-технической информации о динамике развития исследований в области аддитивного производства с использованием титановых сплавов. Проведен анализ публикационной активности по этому направлению в международной наукометрической базе данных. Представлены механические свойства титанового сплава системы Ti–Al–V в зависимости от способа аддитивного производства. Рассмотрена номенклатура марок титановых сплавов, используемых в аддитивном производстве авиационных и медицинских изделий.

**Ключевые слова:** аддитивное производство, титановые сплавы, металлические порошки.

**Для цитирования:** Филатова А.А., Тарасова Т.В. Динамика развития исследований в области аддитивного производства с использованием титановых сплавов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 98–108.

*A.A. Filatova, T.V. Tarasova*

MSUT “STANKIN”

## DEVELOPMENT DYNAMICS OF RESEARCH IN ADDITIVE MANUFACTURING USING TITANIUM ALLOYS

### Abstract

This review presents scientific and technical information on the development dynamics of research in the field of additive manufacturing with titanium alloys. An analysis of publication activity related to this area is conducted using an international scientometric database. Additionally, the mechanical properties of the titanium alloy system Ti–Al–V are discussed, considering the method of additive production. The study also covers the nomenclature of titanium alloy grades used in additive manufacturing for aviation and medical products.

**Keywords:** additive manufacturing, titanium alloys, metal powders.

**For citation:** Filatova A.A., Tarasova T.V. Development Dynamics of Research in Additive Manufacturing Using Titanium Alloys // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 98–108. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 109–116.

УДК 658.512.6

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 109–116.

**В.П. Вороненко, К.А. Гарифуллин**

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

## ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОМ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КВАДРАТИЧНОЙ ЗАДАЧИ О НАЗНАЧЕНИЯХ

### Аннотация

Анализируется задача построения оптимальных логистических потоков с помощью выбора варианта размещения оборудования на производственном участке, при котором минимизируется величина материального потока полуфабрикатов. Широко распространен метод сведения задачи о расстановке оборудования к квадратичной задаче о назначениях (КЗН), однако она не вполне адекватно описывает работу современного машиностроительного производства, так как не учитывает процесс оперативно-календарного планирования, при котором происходит перераспределение технологических операций между оборудованием. В связи с этим предложена математическая модель работы производственного участка, учитывающего частичную взаимозаменяемость размещаемого оборудования, основанная на модификации квадратичной задачи о назначениях.

При данной модификации для каждой технологической операции, выполняемой на производственном участке, указывается не одна единица оборудования, где она может быть исполнена, а список из нескольких возможных станков-исполнителей. В результате величина грузопотока в производственной системе может принимать различное значение. Предложен алгоритм, позволяющий оценить нижние и верхние оценки величины материального потока полуфабрикатов. Предлагается использовать нижнюю оценку как критерий для выбора оптимальной расстановки оборудования на производственном участке. Перебор возможных вариантов расстановок оборудования может быть проведен различными эвристическими методами. Был проведен численный эксперимент, который показал, что для данной задачи наиболее эффективным методом перебора является метод отжига. Для подтверждения адекватности предлагаемой математической модели производственного участка было проведено имитационное моделирование в ПО Anylogic. При прогонах имитационной модели измеренное значение величины материального потока полуфабрикатов всегда попадало в диапазон, который был предсказан с помощью предлагаемой математической модели, что подтвердило ее адекватность.

**Ключевые слова:** квадратичная задача о назначениях, размещение оборудования, дискретная оптимизация, планировка производственного участка, метод отжига, имитационное моделирование.

**Для цитирования:** Вороненко В.П., Гарифуллин К.А. Построение оптимальных логистических потоков в многономенклатурном механообрабатывающем производстве на основе модифицированной квадратичной задачи о назначениях // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 109–116.

*V.P. Voronenko, K.A. Garifullin*

MSUT “STANKIN”

## CONSTRUCTION OF RATIONAL LOGISTIC FLOWS IN MULTI-NOMENCLATURE PRODUCTION BASED ON A MODIFIED QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM

### Abstract

The problem of building optimal logistic flows is analyzed by choosing the option of placing equipment at the production site, in which the capacity of the cargo flow is minimized. The method of reducing the problem of equipment placement to the quadratic assignment problem (KZN) is widely used, however, it does not adequately describe the work of modern machine-building production, since it does not take into account the process of operational scheduling, in which technological operations are redistributed between equipment. In this regard, a mathematical model of the work of the production site is proposed, taking into account the partial interchangeability of the equipment being placed, based on a modification of the quadratic assignment problem.

With this modification, for each technological operation performed at the production site, not one piece of equipment is indicated where it can be performed, but a list of several possible machine tools. As a result, the capacity of the cargo flow in the production system can take on different values. An algorithm is proposed to estimate the lower and upper estimates of the capacity of the cargo flow. It is proposed to use the lower estimate as a criterion for choosing the optimal arrangement of equipment.

A search of possible equipment placement options can be carried out using various heuristic methods. A numerical experiment was conducted, which showed that for this task, the annealing method is the most effective method of sorting. To confirm the adequacy of the proposed mathematical model of the production area, simulation modeling was carried out in Anylogic software. During runs of the simulation model, the measured value of the freight traffic capacity always fell into the range that was predicted using the proposed mathematical model, which confirmed its adequacy.

**Keywords:** quadratic assignment problem, equipment placement, discrete optimization, production site layout, annealing method, simulation modeling.

**For citation:** Voronenko V.P., Garifullin K. A. Construction of rational logistic flows in multi-nomenclature production based on a modified quadratic assignment problem // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 109–116. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 117–128.

УДК 658.52.011.56

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 117–128.

*А.В. Рыбаков<sup>1,2</sup>, А.А. Краснов<sup>1</sup>✉, С.А. Евдокимов<sup>1</sup>, А.Н. Шурпо<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»»; <sup>2</sup> Институт конструкторско-технологической информатики РАН

✉ Автор для корреспонденции

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СРЕДЫ ОБУЧЕНИЯ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К КОМПЬЮТЕРНЫМ БАЗАМ ЗНАНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ (НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ)

### Аннотация

Статья посвящена ответу на два вопроса: как в условиях цифровой трансформации должна измениться деятельность конструктора (и, соответственно, среда обучения) в машиностроении и как можно осуществить перенос накопленной нормативно – справочной информации (НСИ) в машиностроении в компьютерную среду с минимальным привлечением профессиональных программистов? Сегодня НСИ в машиностроении представлена ГОСТами, стандартами предприятия (СтП), профессиональными справочниками и учебными пособиями, обычно существующими в печатном виде. Создаваемую компьютерную среду, использующую НСИ для проектирования и обучения, будем называть системой автоматизированной поддержки информационных решений (САПИР/СтП). Термин «компьютерная поддержка» в названии призван обосновать расширение применения вычислительных методов в проектировании и показать дополнительные возможности обеспечения ценности для пользователей (в нашем случае комплекта конструкторско-технологической документации) на основе цифровых технологий и использования компьютерных баз знаний [1].

**Ключевые слова:** цифровая трансформация деятельности конструктора и обучаемого, перенос ранее накопленных знаний в компьютерную среду, САПИР.

**Для цитирования:** Рыбаков А.В., Краснов А.А., Евдокимов С.А., Шурпо А.Н. Цифровая трансформация среды обучения и деятельности при переходе к компьютерным базам знаний в машиностроении (на примере проектирования технологической оснастки) // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 117–128.

*A.V. Rybakov<sup>1,2</sup>, A.A. Krasnov<sup>1</sup> ✉, S.A. Evdokimov<sup>1</sup>, A. N. Surpo<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> MSUT “STANKIN”; <sup>2</sup> Institute of Design and Technological Informatics of RAS

✉ Corresponding author

## **DIGITAL TRANSFORMATION OF THE LEARNING ENVIRONMENT AND ACTIVITIES IN THE TRANSITION TO COMPUTER KNOWLEDGE BASES IN MECHANICAL ENGINEERING (BY THE EXAMPLE OF TOOLING DESIGN)**

### **Abstract**

The article is devoted to answering two questions: how should the activities of a designer (and, accordingly, the learning environment) in mechanical engineering change in the context of digital transformation, and how can the accumulated normative reference information (RNI) in mechanical engineering be transferred to a computer environment with minimal involvement of professional programmers? Today, reference data in mechanical engineering is represented by GOSTs, enterprise standards (StP), professional reference books and textbooks, usually available in printed form. The created computer environment that uses reference data for design and training will be called an automated information decision support system (SAPIR/StP). The term “computer support” in the title is intended to justify the expansion of the use of computing tools in design and to show additional opportunities for providing value (a set of design and technological documentation) based on digital technologies and the use of computer knowledge bases.

**Keywords:** digital transformation of designer’s and trainee’s activity, transfer of previously accumulated knowledge into computer environment, automated information decision support system.

**For citation:** Rybakov A.V., Krasnov A.A., Evdokimov S.A., Surpo A. N. Digital transformation of the learning environment and activities in the transition to computer knowledge bases in mechanical engineering (by the example of tooling design)// Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 117–128. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 129–140.

УДК 004.4:378.147

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 129–140.

**И.О. Саркисова**

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

## РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ЧЕРЕЗ КРОССПЛАТФОРМЕННУЮ РАЗРАБОТКУ. ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ

### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы подготовки специалистов в области АСУП с учетом быстро меняющихся тенденций и потребностей рынка. Проанализированы профессиональные стандарты, их связь с ОП ВО по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств». Показано влияние требований работодателей на профессиональные компетенции и важность формирования навыков разработки ПО в условиях ограничений. Предложено использование кроссплатформенной разработки на начальном этапе обучения программированию. Проведен анализ и выбор IDE, кроссплатформенных фреймворков для наиболее простого ввода дополнительного материала в учебный процесс. Рассмотрены практические и методические аспекты кроссплатформенной разработки с использованием .NET Multi-platform App UI для анализа разомкнутой стационарной СПУ. Предложена методика легализации кодогенерации с использованием генеративных нейронных сетей в процессе обучения.

**Ключевые слова:** цифровые компетенции, профессиональный стандарт, кроссплатформенная разработка, .NET Multi-platform App UI (MAUI), нейросетевая модель GigaChat, СПУ.

**Для цитирования:** Саркисова И.О. Развитие цифровых компетенций через кроссплатформенную разработку. Инструменты и методы // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 129–140.

**I.O. Sarkisova**

MSUT “STANKIN”

## DEVELOPMENT OF DIGITAL COMPETENCIES THROUGH CROSS-PLATFORM DEVELOPMENT. TOOLS AND METHODS

### Abstract

The article discusses the issues of training specialists in the field of automated control systems, taking into account rapidly changing trends and market needs. The professional standards and their connection with the educational program in the field of training 15.03.04 “Automation of technological processes and productions” are analyzed. The influence of employers’ requirements on professional competencies and the importance of developing software development skills in conditions of restrictions are shown. The use of cross-platform development at the initial stage of programming training is proposed. The analysis and selection of IDE, cross-platform frameworks for the simplest input of additional material into the educational process is carried out. The practical and methodological aspects of cross-platform development using are considered .NET Multi-platform App UI for analysis of an open stationary software control systems. A method of legalizing code generation using generative neural networks in the learning process is proposed.

**Keywords:** digital competencies, professional standard, cross-platform development.NET Multi-platform App UI (MAUI), GigaChat neural network model, software control systems.

**For citation:** Sarkisova I.O. Development of digital competencies through cross-platform development. Tools and methods// Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 129–140. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 141–149.

УДК 681.518

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 141–149.

*А.В. Козлова, П.В. Попцов*

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

## ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ПОДХОДЯЩЕГО СПОСОБА ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ

### Аннотация

В данной статье рассматривается процесс интеграции, его особенности, требования и подходы к реализации. В связи с развитием технологий и увеличением среднего количества информационных систем на предприятиях, выстраивание обмена данными между всеми системами становится необходимостью.

Процесс интеграции рассматривается в работе с различных ракурсов: от анализа и систематизации основных ситуаций, в которых предприятия сталкиваются с необходимостью интеграции, до различных ее направлений и методов. В статье также представлены основные подходы к реализации данного процесса с акцентом на их технические особенности, анализ сильных и слабых сторон, а также применимость в бизнес-кейсах.

Наиболее подробно рассматриваются самые часто встречающиеся на практике подходы, применяемые при интеграции систем – это REST API и gRPC, а также GraphQL, как один из передовых фреймворков передачи данных. На основе проведенного анализа и собственного производственного опыта были разобраны наиболее часто встречающиеся кейсы интеграции, для каждого из них предложен вариант технической реализации, исходя из имеющихся требований к процессам.

**Ключевые слова:** интеграция, брокеры данных, информационные системы, автоматизация, предприятие, REST API, gRPC, hub-and-spoke, end-to-end, data management.

**Для цитирования:** Козлова А.В., Попцов П.В. Формирование критериев выбора наиболее подходящего способа интеграции информационных систем предприятия // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 141–149.

*A.V. Kozlova, P.V. Poptsov*

MSUT «STANKIN»

## FORMATION OF METHODS FOR SELECTING THE MOST SUITABLE CHANNEL FOR MANAGING ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS

### Abstract

This article discusses the integration process, its features, requirements and approaches to implementation. In connection with the development of technology and the increase in the number of information systems in enterprises, building data exchange between all systems becomes a necessity.

The integration process is considered in the work from various angles: from the analysis and systematization of the main situations in which enterprises are faced with the need for integration, to its various directions and methods. The article also presents the main approaches to implementing this process, with an emphasis on their technical features, analysis of strengths and weaknesses, as well as applicability in business cases.

The most commonly used approaches in practice when integrating systems are discussed in more detail – these are REST API and gRPC, as well as GraphQL, as one of the advanced data transfer frameworks. Based on the analysis and our own production experience, the most common integration cases were analyzed, and for each of them a technical implementation option was proposed, based on the existing process requirements.

**Keywords:** integration, information systems, automation, enterprise, REST API, gRPC, GraphQL, SOAP, hub-and-spoke, end-to-end, data management.

**For citation:** Kozlova A.V., Poptsov P.V. Formation of methods for selecting the most suitable channel for managing enterprise information systems // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 141–149. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 150–160.

УДК 004.89

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 150–160.

*А.А. Попова<sup>1</sup> ✉, М.В. Захаров<sup>2</sup>, К.В. Шошина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»;

<sup>2</sup> Филиал ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» в г. Геленджике

✉ Автор для корреспонденции

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

### Аннотация

Предложен метод распознавания объектов на мультиспектральных спутниковых изображениях, основанный на многомасштабной сегментации, сегментации с использованием спектральных разностей и классификации с помощью онтологической модели. Предложен алгоритм построения онтологической модели для основных классов объектов спутникового снимка и их дешифровочных признаков, предполагающий предварительную обработку спутникового снимка, формирование тестового набора данных, создание онтологической модели в программном обеспечении eCognition Developer и её проверку на тестовом наборе данных. С использованием геоинформационной системы QGIS осуществляется предварительная обработка спутникового снимка, предполагающая радиометрическую коррекцию и калибровку, геометрическую и атмосферную коррекцию, повышение пространственного разрешения снимка. С использованием программного обеспечения eCognition Developer осуществляется формирование тестового набора данных путем сегментации мультиспектрального спутникового снимка на основе методов многомасштабной сегментации и сегментации с использованием спектральных разностей, расчета дешифровочных признаков сегментов и ручной классификации сегментов изображения. С использованием программного обеспечения Protégé осуществляется построение онтологической модели, состоящей из иерархии классов, иерархии свойств классов, отношений между классами и диапазонов допустимых значений свойств. С использованием семантического механизма рассуждений Fact++ Protégé на основе подготовленного тестового набора данных осуществляется проверка онтологической модели на полноту и корректность. Разработан программный модуль для геоинформационной системы QGIS, реализующий предложенный метод. Результаты работы модуля свидетельствуют о том, что метод может эффективно использоваться для автоматизации процесса картографирования местности по данным мультиспектральной спутниковой съемки.

**Ключевые слова:** мультиспектральные спутниковые снимки, геоинформационное картографирование, онтология, метод, алгоритм.

**Для цитирования:** Попова А.А., Захаров М.В., Шошина К.В. Разработка метода автоматизированного картографирования местности на основе мультиспектральных спутниковых снимков // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 150–160.

*A.A. Popova*<sup>1</sup> ✉, *M.V. Zakharov*<sup>2</sup>, *K.V. Shoshina*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov;

<sup>2</sup> Branch of Southern Federal University, Gelendzhik

✉ Corresponding author

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR THE AUTOMATED TERRAIN MAPPING BASED ON MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES

### Abstract

A method for recognizing objects in multispectral satellite images is proposed, based on multi-scale segmentation, segmentation using spectral differences and classification using an ontological model. An algorithm has been proposed for constructing an ontological model of object classes in a satellite image and their decryption features, which involves pre-processing the satellite image, generating a test data set, creating an ontological model in the eCognition Developer software and testing it on a test data set. Using the QGIS geographic information system, the satellite image is preprocessed, which involves radiometric correction and calibration, geometric and atmospheric correction, and increasing the spatial resolution of the image. Using eCognition Developer software, a test data set is generated by segmenting a multispectral satellite image based on multi-scale segmentation and segmentation methods using spectral differences, calculating decoding features of segments and manually classifying image segments. Using Protégé software, an ontological model is built, consisting of a class hierarchy, a hierarchy of class properties, relationships between classes and ranges of valid property values. Using the Fact++ semantic reasoning engine of the Protégé software, the ontological model is checked for completeness and correctness based on the prepared test data set. A software module for the QGIS geographic information system has been developed that implements the proposed method. The results of the module indicate that the method can be effectively used to automate the process of mapping terrain using multispectral satellite imagery data.

**Keywords:** multispectral satellite images, geoinformation mapping, ontology, method, algorithm.

**For citation:** Popova A.A., Zakharov M.V., Shoshina K.V. Development of a method for the automated terrain mapping based on multispectral satellite images // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 150–160. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2024. № 2 (69). С. 161–172.

УДК 681.518.2

Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No. 2 (69). P. 161–172.

А.И. Усманов ✉, А.В. Козлова, В.Г. Мешков

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

### Аннотация

На сегодняшний день в России, согласно Стратегии развития электронной промышленности на период до 2030 года, научно–исследовательский комплекс и дизайн-центры отрасли не в полной мере обеспечивают решение отраслевых задач [1]. Основным проблемным вопросом производственно-технологического характера в отрасли электронной промышленности остается дефицит современного российского производственного, контрольно-измерительного и испытательного оборудования. Имеются проблемы обеспечения организаций отрасли российскими средствами автоматизированного проектирования, системным программным обеспечением и систеуправления базами данных. Применение автоматизированных систем управления и контроля технологических процессов носит фрагментарный характер, а использование информационных технологий без связи с технологическим оборудованием недостаточно эффективно. Особенно значимыми направлениями для импортозамещения являются телекоммуникационное оборудование, вычислительная техника, системы автоматизированного и интеллектуального управления [1]. В связи с этим высокой актуальностью обладают задачи, направленные на развитие современных автоматизированных методов неразрушающего контроля качества и диагностики электронных компонентов, повышения их достоверности, чувствительности и помехоустойчивости. В статье рассматриваются основные методы неразрушающего контроля качества, используемые в современной электронной промышленности, в частности, при производстве интегральных микросхем. Описаны физические принципы, составляющие основу описанных методов. Проведен сравнительный анализ, в ходе которого выявлены ключевые достоинства и недостатки методов неразрушающего контроля. Проведен анализ современного состояния отечественной акустической микроскопии и автоматизации процесса исследования объектов с помощью сканирующих акустических микроскопов. Приведено описание программного обеспечения для ЭВМ, позволяющее автоматизировать процесс исследования объектов с помощью сканирующих акустических микроскопов.

**Ключевые слова:** автоматизация процессов, неразрушающий контроль, акустическая томография, сканирующий акустический микроскоп, электронная компонентная база

**Для цитирования:** Усманов А.И., Козлова А.В., Мешков В.Г. Анализ современных методов автоматизации неразрушающего контроля качества и диагностики электронных компонентов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2 (69). – С. 161–172.

*A.I. Usmanov*<sup>✉</sup>, *A.V. Kozlova*, *V.G. Meshkov*

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## ANALYSIS OF MODERN METHODS OF AUTOMATION OF NON-DESTRUCTIVE QUALITY CONTROL AND DIAGNOSTICS OF ELECTRONIC COMPONENTS

### Abstract

Today in Russia, according to the Development Strategy of the electronics industry for the period until 2030, the research complex and design centers of the industry do not fully provide solutions to industry problems [1]. The main problematic issue of a production and technological nature in the electronics industry remains the shortage of modern Russian production, control, measuring and testing equipment. There are problems in providing industry organizations with Russian computer-aided design tools, system software and database management systems. The use of automated control and monitoring systems for technological processes is fragmentary. The use of information technology without communication with technological equipment is not effective enough. Particularly significant areas for import substitution are telecommunications equipment, computer technology, automated and intelligent control systems [1]. In this regard, tasks aimed at developing modern automated methods of non-destructive quality control and diagnostics of electronic components, increasing their reliability, sensitivity and noise immunity are of high relevance. The article discusses the main methods of non-destructive quality control used in the modern electronics industry, in particular in the production of integrated circuits. The physical principles that form the basis of the described methods are described. A thorough analysis was carried out, during which the key advantages and disadvantages of non-destructive testing methods were identified. An analysis of the current state of domestic acoustic microscopy and automation of the process of studying objects using scanning acoustic microscopes has been carried out. A description of computer software is given that allows you to automate the process of studying objects using scanning acoustic microscopes.

**Keywords:** process automation, non-destructive testing, acoustic tomography, scanning acoustic microscope, electronic component base

**For citation:** Usmanov A.I., Kozlova A.V., Meshkov V.G. Analysis of modern methods of automation of non-destructive quality control and diagnostics of electronic components // Vestnik MSUT “Stankin”. 2024. No 2 (69). P. 161–172. (In Russian)