

# ВЕСТНИК

НАУЧНЫЙ  
РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ  
ЖУРНАЛ

МГТУ «СТАНКИН»

Автоматизация и управление  
технологическими процессами  
и производствами

---

Технология и оборудование  
механической и физико-технической  
обработки

---

Роботы, мехатроника  
и робототехнические системы

---

Технология машиностроения

---

Технологии и машины  
обработки давлением

**СОДЕРЖАНИЕ**

**РОБОТЫ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

*М.М. Стебулянин, Д.В. Ларичев*

Краткий обзор работ по тематике безопасных траекторий движения роботов  
совместного использования ..... 8

*О.Д. Егоров, В.А. Игнатьев*

Матрично-векторный способ расчёта мощности электродвигателей промышленного робота ..... 16

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

*С.Н. Григорьев, В.А. Коротков*

Оценка влияния ориентации абразивных зёрен на эксплуатационные показатели  
шлифовальных кругов ..... 21

*А.А. Верецака, С.В. Федоров, Е.С. Сотова,  
К.М. Макаревич, И.М. Шмаков, П.Ю. Потапов*

Повышение износостойкости деталей из титановых сплавов  
путем осаждения на их рабочие поверхности покрытий DLC ..... 36

*Л.Д. Малькова*

Прогнозирование энергопотребления при механической обработке  
на основе удельного параметра ..... 48

*Я.И. Шуляк*

Влияние обработки деформирующим резанием на прочность  
оребрённых теплообменных труб, нагруженных внутренним давлением ..... 58

*В.А. Клачков, М.П. Худяков*

Исследование технологического процесса притирки шаровых шарниров:  
подходы к созданию имитационной модели рабочего процесса ..... 66

## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*А.А. Лим, А.А. Кутин*

Гиперграфовый подход к моделированию сборочных процессов: синтез с нодовыми системами и имплементация в среде смешанной реальности..... 80

*Ю. В. Максимов, Д. С. Байкин*

Перспективы применения селективного лазерного плавления (SLM – Selective Laser Melting) в изготовлении сложнопрофильных тонкостенных деталей ..... 90

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

*М.В. Шарькин, Е.Н. Сосенушкин*

Вариант технологии штамповки сдвоенных тонкополотных поковок из алюминиевого сплава и его влияние на стойкость штамповой оснастки..... 99

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

*Н.М. Ефромеев, Е.Б. Фролов*

Алгоритм решения задачи многостаночного обслуживания ..... 107

*Ф. Юсеф С.Е. Сосенушкин*

Исследование адекватности математической модели, описывающей процесс унификации кадров данных стандартов беспроводных сенсорных сетей с применением теории массового обслуживания ..... 116

*А.С. Далечин, А.Н. Феофанов*

Роль автоматизированной системы выбора компоновок агрегатных станков на стадии эскизного проектирования..... 126

## СОБЫТИЯ И ДАТЫ. К 95-ЛЕТИЮ МГТУ «СТАНКИН»

*В.А. Тимирязев*

К 125-летию профессора Б.С. Балакшина ..... 134

**CONTENTS**

**ROBOTS, MECHATRONICS AND ROBOTIC SYSTEMS**

*M.M. Stebulyanin, D.V. Larichev*

A brief review of works on the topic of safe trajectories for collaborative robots ..... 8

*O.D. Egorov, V.A. Ignatiev*

Matrix-vector method for calculating the power of electric motors of an industrial robot ..... 16

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

*S.N. Grigoriev, V.A. Korotkov*

Assessment of the influence of the orientation of abrasive grains  
on the performance of grinding wheels ..... 21

*A.A. Vereschaka, S.V. Fedorov, E.S. Sotova,  
K.M. Makarevich, I.M. Shmakov, P.Yu. Potapov*

Increasing the wear resistance of titanium alloy parts by depositing DLC coatings  
on their working surfaces ..... 36

*L.D. Malkova*

Forecasting of energy consumption during machining based on a reduced parameter ..... 48

*Ya.I. Shulyak*

Effect of deformational cutting treatment on the strength of finned heat-exchange tubes  
loaded with internal pressure ..... 58

*V.A. Klachkov, M.P. Khudyakov*

Investigation of the technological process of ball joint lapping: approaches to creating  
a simulation model of the workflow ..... 66

## TECHNOLOGY OF MACHINE BUILDING

*A.A. Lim, A.A. Kutin*

Hypergraph approach to modelling assembly processes: synthesis with node systems  
and implementation in mixed reality environment ..... 80

*Yu. V. Maksimov, D. S. Baykin*

Prospects for the Application of Selective Laser Melting (SLM – Selective Laser Melting)  
in the Manufacturing of Complex Thin-Walled Components..... 90

## TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR PRESSURE PROCESSING

*M.V. Sharykin, E.N. Sosenushkin*

A variant of the technology of stamping double thin-blade forgings  
from aluminum alloy and its influence on the durability of the stamping tooling..... 99

## AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTIONS

*N.M. Efromeev, E.B. Frolov*

Algorithm for solving the problem of multi-machine maintenance ..... 107

*F. Yousef, S.E. Sosenushkin*

The study of the adequacy of a mathematical model describing the process of unifying data frames  
of wireless sensor network standards using  
the queuing theory..... 116

*A.S. Dalechin, A.N. Feofanov*

The role of an automated system for choosing the layouts of transfer machines  
at the draft design stage..... 126

## EVENTS AND DATES ON THE 95TH ANNIVERSARY MSUT “STANKIN”

*V.A. Timiryazev*

125th anniversary of Professor B.S. Balakshin ..... 134

Научная статья

УДК 621.865.8

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 8–15.

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 8–15.

*М.М. Стебулянин, Д.В. Ларичев* 

ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

 Автор для корреспонденции

## КРАТКИЙ ОБЗОР РАБОТ ПО ТЕМАТИКЕ БЕЗОПАСНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ РОБОТОВ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

### Аннотация

Роботы совместного использования (коботы) играют ключевую роль в автоматизации производства, работая в непосредственной близости от людей. Однако для повышения их эффективности и безопасности требуются усовершенствованные алгоритмы детектирования столкновений и интерполяции траекторий. В данной статье обозначены перспективы применения некоторых таких алгоритмов.

Алгоритм GJK, известный своей высокой скоростью, позволяет эффективно определять пересечения сложных геометрических форм в реальном времени. В сочетании с B-сплайнами, обеспечивающими плавность и точность движений, он способен минимизировать резкие остановки и снизить износ оборудования. Данный подход имеет преимущества по сравнению с традиционными методами, такими как методы ограничивающих объемов (AABB, OBB) и линейная интерполяция.

Исследования показывают, что использование GJK и B-сплайнов позволяет сократить время расчета возможности столкновения, повысить точность поддержания контурной скорости и снизить вероятность аварийных ситуаций. Перспективным направлением развития является интеграция этих алгоритмов с системами машинного обучения для адаптивного управления в динамических средах.

**Ключевые слова:** роботы совместного использования, алгоритм Гилберта-Джонсона-Кирти, B-сплайны, детектирование столкновений, интерполяция траекторий, безопасность.

**Для цитирования:** Стебулянин М.М., Ларичев Д.В. Краткий обзор работ по тематике безопасных траекторий движения роботов совместного использования // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 8–15.

*M.M. Stebulyanin, D.V. Larichev* ✉

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## A BRIEF REVIEW OF WORKS ON THE TOPIC OF SAFE TRAJECTORIES FOR COLLABORATIVE ROBOTS

### Abstract

Collaborative robots (cobots) play a key role in production automation by working in close proximity to humans. However, improved collision detection and trajectory interpolation algorithms are required to increase their efficiency and safety. This article explores the prospects of using some of these algorithms. The GJK algorithm, known for its high speed, makes it possible to efficiently detect intersections of complex geometric shapes in real time. Combined with B-splines that ensure smooth and precise movements, it is able to minimize sudden stops and reduce wear on equipment. The paper analyzes the advantages of this approach in comparison with traditional methods such as bounding volume methods (AABB, OBB) and linear interpolation.

Research shows that the use of GJK and B-splines can reduce the time needed to calculate the possibility of a collision, increase the accuracy of maintaining contour velocity, and reduce the likelihood of accidents. A promising area of development is the integration of these algorithms with machine learning systems for adaptive control in dynamic environments.

**Key words:** collaborative robots, Gilbert-Johnson-Keerthi algorithm, B-splines, collision detection, trajectory interpolation, safety.

**For citation:** Stebulyanin M.M., Larichev D.V. A brief review of works on the topic of safe trajectories for collaborative robots. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 8–15. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 16–20.

УДК 62-83 + 681.5

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 16–20.

**О.Д. Егоров, В.А. Игнатьев** ✉

ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## МАТРИЧНО-ВЕКТОРНЫЙ СПОСОБ РАСЧЁТА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

### Аннотация

Разработан матрично-векторный способ расчёта мощности всех электродвигателей приводных мехатронных модулей степеней подвижности промышленного робота от статических и динамических нагрузок, действующих на его исполнительное устройство. Введены в рассмотрение диагональные матрицы обобщённых скоростей и коэффициентов полезного действия приводов в степенях подвижности робота. Получена формула для вычисления обобщённых сил в сочленениях манипуляционного механизма.

**Ключевые слова:** мощность, матрица, вектор, обобщённая сила, электродвигатель, модуль.

**Для цитирования:** Егоров О.Д., Игнатьев В.А. Матрично-векторный способ расчёта мощности электродвигателей промышленного робота // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 16–20.

**O.D. Egorov, V.A. Ignatiev** ✉

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## MATRIX-VECTOR METHOD FOR CALCULATING THE POWER OF ELECTRIC MOTORS OF AN INDUSTRIAL ROBOT

### Abstract

A matrix-vector method has been developed for calculating the power of all electric motors of drive mechatronic modules of the degree of mobility of an industrial robot from static and dynamic loads acting on its actuator. Diagonal matrices of generalized speeds and efficiency coefficients of drives in the degrees of mobility of the robot are introduced into consideration. A formula for calculating generalized forces in the joints of the manipulation mechanism is obtained.

**Keywords:** power, matrix, vector, generalized force, electric motor, module.

**For citation:** Egorov O.D., Ignatiev V.A. Matrix-vector method for calculating the power of electric motors of an industrial robot. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 16–20. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 21–35.

УДК 621.922.3

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 21–35.

**С.Н. Григорьев<sup>1</sup>, В.А. Коротков<sup>2</sup>**✉

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»; <sup>2</sup> ФГБОУ ВО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»

✉ Автор для корреспонденции

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОРИЕНТАЦИИ АБРАЗИВНЫХ ЗЁРЕН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

### Аннотация

Проведены комплексные испытания шлифовальных кругов, при изготовлении которых абразивные зёрна целенаправленно ориентировали в теле инструментов посредством электростатического поля (патент РФ №2369474). Исследовано влияние ориентирования абразивных зёрен в шлифовальных кругах: в частности, установлено воздействие ориентации зёрен на режущую способность, коэффициент шлифования и эффективную мощность резания шлифовальных кругов, а также на шероховатость обрабатываемых ими поверхностей при обработке по схеме с постоянным усилием прижатия инструмента и заготовки при круглом врезном шлифовании.

Установлено, что управление геометрией зёрен посредством их целенаправленного ориентирования в шлифовальных инструментах позволяет существенно повысить эффективность процесса шлифования. С увеличением величин передних углов зёрен при их радиальной ориентации в шлифовальных кругах повышается режущая способность инструментов, снижаются деформации обрабатываемого материала и температуры при шлифовании. А уменьшение передних углов зёрен при их тангенциальном ориентировании в кругах позволяет существенно снизить шероховатость шлифуемых поверхностей и уменьшить износ инструментов.

**Ключевые слова:** ориентация абразивных зёрен, геометрия зёрен, режущая способность, коэффициент шлифования, эффективная мощность резания кругами, температура и шероховатость обработанных поверхностей.

**Для цитирования:** Григорьев С.Н., Коротков В.А. Оценка влияния ориентации абразивных зёрен на эксплуатационные показатели шлифовальных кругов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 21–35.

**S.N. Grigoriev<sup>1</sup>, V.A. Korotkov<sup>2</sup>** ✉

<sup>1</sup> MSUT “STANKIN”; <sup>2</sup> Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev

✉ Corresponding author

## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE ORIENTATION OF ABRASIVE GRAINS ON THE PERFORMANCE OF GRINDING WHEELS

### Abstract

Comprehensive tests of grinding wheels were conducted, in the manufacture of which the abrasive grains were purposefully oriented in different directions by means of an electrostatic field (Patent of the Russian Federation № 2369474). The efficiency of abrasive grain orientation in grinding wheels, the effect of grain orientation on the cutting ability, grinding coefficient and effective cutting power of grinding wheels, as well as on the roughness of the surfaces processed by them during processing according to the scheme with a constant pressing force between the tool and the workpiece and during round plunge grinding were investigated.

It was found that controlling the geometry of grains by means of their orientation in grinding tools allows to significantly increase the efficiency of the grinding process. With an increase in the front angles of grains due to their radial orientation in grinding wheels, the cutting ability of the tools increases, deformations of the workpiece and temperatures during grinding are reduced. Reducing the front angles of grains and stresses in them during operation by means of tangential orientation of grains in grinding wheels allows for a significant reduction in the roughness of grinding surfaces and a reduction in tool wear out.

**Keywords:** abrasive grain orientation, front angles and stresses in grains, cutting ability, grinding ratio, effective cutting power of grinding wheels, temperature and roughness of machined surfaces.

**For citation:** Grigoriev S.N., Korotkov V.A. Assessment of the influence of the orientation of abrasive grains on the performance of grinding wheels. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 21–35. (In Russian)

*Научная статья*

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 36–47.

УДК 67.02

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 36–47.

**А.А. Верещака<sup>1</sup>, С.В. Федоров<sup>2</sup>, Е.С. Сотова<sup>2</sup>✉,  
К.М. Макаревич<sup>3</sup>, И.М. Шмаков<sup>2</sup>, П.Ю. Потапов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> ИКТИ РАН; <sup>2</sup> ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»»; <sup>3</sup> РТУ МИРЭА; <sup>4</sup> АО «ЦНИИМАШ»

✉ Автор для корреспонденции

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПУТЕМ ОСАЖДЕНИЯ НА ИХ РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ DLC

### Аннотация

В статье представлены результаты сравнение свойств покрытия DLC, осажденного на субстрат титанового сплава Ti–6Al–4V, с нитридными покрытиями ZrN и (Zr,Hf)N. С целью повышения адгезии с субстратом при осаждении покрытия DLC проводилось предварительное травление ионами хрома, что обеспечило формирование в субстрате диффузионного поверхностного слоя, насыщенного хромом, затем осаждался слой Si-DLC, после которого осаждался слой чистого DLC. Была определена твердость исследуемых покрытий, исследована морфология их поверхности, прочность разрушения при скретч-тесте, в также – трибологические свойства и износостойкость при тесте pin-on-disk в контакте с инденторами из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и стали. С помощью трансмиссионной микроскопии (ТЭМ) исследовалась структура покрытия DLC. Было установлено, что в тесте pin-on-disk в контакте с инденторами Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и AISI 52100 образец с покрытием DLC демонстрирует намного более низкий коэффициент трения и существенно лучшую износостойкость по сравнению с образцами с нитридными покрытиями и без покрытий.

**Ключевые слова:** нитридные покрытия; DLC; износостойкость; коэффициент трения; титановые сплавы

**Для цитирования:** Верещака А.А., Федоров С.В., Сотова Е.С., Макаревич К.М., Шмаков И.М., Потапов П.Ю. Повышение износостойкости деталей из титановых сплавов путем осаждения на их рабочие поверхности покрытий DLC // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 36–47.

*A.A. Vereschaka<sup>1</sup>, S.V. Fedorov<sup>2</sup>, E.S. Sotova<sup>2</sup>✉,  
K.M. Makarevich<sup>3</sup>, I.M. Shmakov<sup>2</sup>, P.Yu. Potapov<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> IDTI RAS; <sup>2</sup> MSUT “STANKIN”; <sup>3</sup> RTU MIREA; <sup>4</sup> JSC “TsNIIMash”

✉ Corresponding author

## INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF TITANIUM ALLOY PARTS BY DEPOSITING DLC COATINGS ON THEIR WORKING SURFACES

### Abstract

The article presents the results of comparison of the properties of the DLC coating deposited on the Ti–6Al–4V titanium alloy substrate with the ZrN and (Zr,Hf)N nitride coatings. In order to improve adhesion to the substrate during deposition of the DLC coating, preliminary etching with chromium ions was carried out, which ensured the formation of a diffusion surface layer saturated with chromium in the substrate, then a Si-DLC layer was deposited, after which a pure DLC layer was deposited. The hardness of the studied coatings was determined, their surface morphology, fracture strength in the scratch test, as well as tribological properties and wear resistance in the pin-on-disk test in contact with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and steel indenters were studied. The structure of the DLC coating was studied using transmission microscopy (TEM). It was found that in the pin-on-disk test in contact with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and AISI 52100 indenters, the DLC coated specimen demonstrated a much lower coefficient of friction and significantly better wear resistance compared to the nitride coated and uncoated specimens.

**Key words:** nitride coatings; DLC; wear resistance; friction coefficient; titanium alloys

**For citation:** Vereschaka A.A., Fedorov S.V., Sotova E.S., Makarevich K.M., Shmakov I.M., Potapov P Yu. Increasing the wear resistance of titanium alloy parts by depositing DLC coatings on their working surfaces. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 36–47. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 48–57.

УДК 621.9

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 48–57.

*Л.Д. Малькова*

МГТУ им. Н.Э. Баумана

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ НА ОСНОВЕ УДЕЛЬНОГО ПАРАМЕТРА

### Аннотация

Введено понятие удельного энергопотребления как отношения энергии, затрачиваемой на обработку заданной поверхности, к площади поверхности резания, формируемой режущим лезвием в процессе обработки. Выделена удаляемая часть поверхности резания. Показано, что при различных способах обработки доля указанной удаляемой части различна. Приведены графики зависимостей этой доли от параметров режима резания. На основе аппроксимации данных экспериментов, обобщенных по пяти способам обработки, получена зависимость доли удаляемой поверхности резания от удельного энергопотребления с коэффициентом корреляции, превышающим 0,99.

**Ключевые слова:** энергопотребление, механическая обработка, удельная сила резания, поверхность резания

**Для цитирования:** Малькова Л.Д. Прогнозирование энергопотребления при механической обработке на основе удельного параметра // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 48–57.

*L.D. Malkova*

Bauman Moscow State Technical University

## FORECASTING OF ENERGY CONSUMPTION DURING MACHINING BASED ON A REDUCED PARAMETER

### Abstract

The concept of specific energy consumption is introduced as the ratio of the energy spent on processing a given surface to the cutting surface area formed by the cutting blade during processing. The removable part of the cutting surface is highlighted. It is shown that the proportion of the specified part to be removed varies with different processing methods. Graphs of the dependences of this fraction on the parameters of the cutting mode are given. Based on the approximation of experimental data generalized by five processing methods, the dependence of the proportion of the removed cutting surface on specific energy consumption with a correlation coefficient exceeding 0.99 was obtained.

**Keywords:** energy consumption, mechanical processing, reduced cutting force, cutting surface

**For citation:** Malkova L.D. Forecasting of energy consumption during machining based on a reduced parameter. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 48–57. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 58–65.

УДК 621.91; 621.565.93/95

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 58–65.

**Я.И. Шуляк**

МГТУ им. Н.Э. Баумана

## **ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ДЕФОРМИРУЮЩИМ РЕЗАНИЕМ НА ПРОЧНОСТЬ ОРЕБРЕННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ, НАГРУЖЕННЫХ ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ**

### **Аннотация**

В статье рассмотрены теплообменные оребренные трубы, изготовленные с использованием метода деформирующего резания. Оребрение на трубах увеличивает эффективную площадь теплообменной поверхности. Метод деформирующего резания позволяет формировать на поверхности трубы оребрение без отделения стружки, что повышает коэффициент использования материала при их изготовлении. В статье приведены формулы для расчета параметров оребрения, включающих высоту и толщину формируемых ребер, в зависимости от параметров обработки, а именно, подачи инструмента для деформирующего резания и глубины резания. На основе приведенных зависимостей разработаны расчетные модели теплообменных труб. Для различных вариантов оребрения проведен расчет напряжено-деформированного состояния методом конечных элементов теплообменных труб из меди, нагруженных внутренним давлением. Сравнение оребренных труб с гладкой неоребрённой трубой осуществлялось по значениям среднего эквивалентного напряжения на внутренней поверхности трубы. В результате работы показано, что при глубине резания меньшей определенного значения прочность теплообменных труб не снижается. При больших глубинах резания повышение эквивалентных напряжений не превышает 14 %.

**Ключевые слова:** деформирующее резание, оребренная труба, теплообмен, конечно-элементный анализ.

**Для цитирования:** Шуляк Я.И. Влияние обработки деформирующим резанием на прочность оребренных теплообменных труб, нагруженных внутренним давлением // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 58–65.

*Ya.I. Shulyak*

Bauman Moscow State Technical University

## **EFFECT OF DEFORMATIONAL CUTTING TREATMENT ON THE STRENGTH OF FINNED HEAT-EXCHANGE TUBES LOADED WITH INTERNAL PRESSURE**

### **Abstract**

The paper studies heat-exchange finned tubes manufactured using the method of deformational cutting. The finning on the tubes increases the effective heat exchange surface area. The method of deformational cutting makes it possible to form finning on the tube surface without chip separation, which increases the material utilisation factor in their manufacture. The article contains formulas for calculation of finning parameters, including height and thickness of formed ribs, depending on processing parameters, namely, tool feed for deforming cutting and depth of cutting. On the basis of the given dependences the calculation models of heat-exchange tubes have been developed. For different variants of finning the calculation of stress-strain state by finite element method of copper heat-exchange tubes loaded with internal pressure has been carried out. Comparison of finned tubes with a smooth unribbed tube was carried out by the values of the average equivalent stress on the inner surface of the tube. As a result of work it is shown that at depth of cutting less than a certain value the strength of heat-exchange tubes does not decrease. At greater cutting depths the increase of equivalent stresses does not exceed 14 %.

**Keywords:** deformational cutting, finned tube, heat transfer, finite element analysis.

**For citation:** Shulyak Ya.I. Effect of deformational cutting treatment on the strength of finned heat-exchange tubes loaded with internal pressure. *Vestnik MSUT "Stankin"*. 2025. No 2 (73). P. 58–65. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 66–79.

УДК 621.923.74

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 66–79.

**В.А. Клачков<sup>1</sup> ✉, М.П. Худяков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»; <sup>2</sup> Институт судостроения и морской арктической техники (Севмашвтуз)

✉ Автор для корреспонденции

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИТИРКИ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ: ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА

### Аннотация

Технологический процесс притирки является одним из самых распространённых методов окончательной механической обработки высокоточных сферических соединений. Для повышения эффективности процесса предложена имитационная модель технологического процесса взаимной сферической притирки, которая обобщает некоторые существующие модели и расширяет их область применения для условий сферической поверхности. Полученная имитационная модель технологического процесса взаимной сферической притирки предназначена для исследования зависимости износа контактных поверхностей компонентов шарового шарнира от стратегии движения подвижного компонента при обработке. В предложенном алгоритме имитационного моделирования расчет распределения контактного давления базируется на модели гидравлического взаимодействия сплошных сред металлической плотности. В качестве рассматриваемого объекта моделирования выступает трёхкомпонентный шаровой шарнир, состоящий из крышки, подпятника и шарового пальца. Крышка и подпятник являются базовыми деталями, которые сближаются в процессе износа сферических поверхностей. Шаровой палец является подвижным кинематическим звеном, которое совершает сферическое движение вокруг центра шарнира. Сформированный программный комплекс позволяет проводить экспериментальные исследования с широким диапазоном планирования геометрических, технологических, динамических и кинематических факторов процесса взаимной сферической притирки в автоматизированном режиме. Первично полученные результаты имитационного моделирования качественно схожи с результатами натурных исследований.

**Ключевые слова:** притирка, взаимная сферическая притирка, имитационное моделирование, алгоритм моделирования, математические модели.

**Для цитирования:** Клачков В.А., Худяков М.П. Исследование технологического процесса притирки шаровых шарниров: подходы к созданию имитационной модели рабочего процесса // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 66–79.

V.A. Klachkov<sup>1</sup> ✉, M.P. Khudyakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSUT “STANKIN”; <sup>2</sup> Institute of Shipbuilding and Marine Arctic Engineering (Sevmashvtuz)

✉ Corresponding author

## INVESTIGATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF BALL JOINT LAPPING: APPROACHES TO CREATING A SIMULATION MODEL OF THE WORKFLOW

### Abstract

The lapping process is one of the most common methods for final machining of high-precision spherical joints. To improve the efficiency of the lapping process, a simulation model of the technological process of mutual spherical lapping is proposed, which generalizes some existing models and expands their scope for spherical surface conditions. The obtained simulation model of the technological process of mutual spherical lapping is intended to study the dependence of the wear of the contact surfaces of the ball joint components on the movement strategy of the moving component during processing. In the proposed simulation model, the calculation of the contact pressure distribution is based on the model of hydraulic interaction of continuous media of metallic density. The modeling object under consideration is a three-component ball joint consisting of a lid, a bearing and a ball pin. A lid and a bearing are basic parts that move closer together as the spherical surfaces wear. A ball pin is a movable kinematic link that performs spherical movement around the center of a bearing. The developed software package allows conducting experimental studies with a wide range of geometric, technological, dynamic and kinematic factors of the process of mutual spherical lapping in an automated mode. The initially obtained results of simulation modeling are qualitatively similar to the results of field studies.

**Keywords:** lapping, mutual spherical lapping, simulation modeling, modeling algorithm, mathematical models.

**For citation:** Klachkov V.A., Khudyakov M.P. Investigation of the technological process of ball joint lapping: approaches to creating a simulation model of the workflow. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 66–79. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 80–89.

УДК 621.7.08

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 80–89.

А.А. Лим<sup>1</sup>✉, А.А. Кутин<sup>2</sup><sup>1</sup> РТУ МИРЭА; <sup>2</sup> ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## ГИПЕРГРАФОВЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ: СИНТЕЗ С НОДОВЫМИ СИСТЕМАМИ И ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ В СРЕДЕ СМЕШАННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

### Аннотация

В данной статье представлен инновационный подход к моделированию процесса сборки изделий в машиностроении с использованием теории гиперграфов и технологии смешанной реальности. Предложена методика структурирования сборочных чертежей на основе гиперграфов с последующим преобразованием в нодовую систему для платформы Unity. Разработана математическая модель, описывающая процесс трансформации гиперграфового представления сборочных единиц в нодовую структуру. Представлены результаты экспериментального исследования, демонстрирующие эффективность предложенного подхода в построении последовательности сборочных операций. Описана программная реализация разработанной модели, включающая алгоритмы преобразования гиперграфа в ноды Unity. Результаты исследования показывают значительное повышение эффективности процесса сборки и снижение вероятности ошибок при использовании разработанной системы.

**Ключевые слова:** гиперграф, нодовая система, смешанная реальность, сборочный чертеж, машиностроение, Unity, процесс сборки.

**Для цитирования:** Лим А.А., Кутин А.А. Гиперграфовый подход к моделированию сборочных процессов: синтез с нодовыми системами и имплементация в среде смешанной реальности // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 80–89.

А.А. Lim<sup>1</sup>✉, А.А. Kutin<sup>2</sup><sup>1</sup> RTU MIREA; <sup>2</sup> MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## HYPERGRAPH APPROACH TO MODELLING ASSEMBLY PROCESSES: SYNTHESIS WITH NODE SYSTEMS AND IMPLEMENTATION IN MIXED REALITY ENVIRONMENT

### Abstract

This article presents an innovative approach to modeling the assembly process in mechanical engineering using hypergraph theory and mixed reality technology. A methodology for structuring assembly drawings based on hypergraphs with subsequent transformation into a node system for the Unity platform is proposed. A mathematical model describing the process of transforming the hypergraph representation of assembly units into a node structure is developed. The results of an experimental study demonstrating the effectiveness of the proposed approach in optimizing the sequence of assembly operations are presented. The software implementation of the developed model, including algorithms for converting a hypergraph into Unity nodes, is described. The results of the study show a significant increase in the efficiency of the assembly process and a reduction in the probability of errors when using the developed system.

**Keywords:** hypergraph, node system, mixed reality, assembly drawing, mechanical engineering, Unity, assembly process.

**For citation:** Lim A.A., Kutin A.A. Hypergraph approach to modelling assembly processes: synthesis with node systems and implementation in mixed reality environment. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 80–89. (In Russian)

Ю. В. Максимов, Д. С. Байкин 

Московский политехнический университет

 Автор для корреспонденции

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ (SLM – SELECTIVE LASER MELTING) В ИЗГОТОВЛЕНИИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

### Аннотация

Данная работа представляет собой анализ технологических возможностей технологии Selective Laser Melting (SLM) – селективного лазерного плавления, в контексте печати сложнопрофильных тонкостенных деталей. Технология селективного лазерного плавления позволяет создавать компоненты с высокой точностью и сложной геометрией, используя лазерное плавление металлического порошка.

В ходе анализа определены оптимальные параметры печати для сплава AlSi10Mg при печати тонкостенных деталей с толщиной стенки менее 0,5 мм: мощность лазера 215–220 Вт и скорость сканирования 1500 мм/с, что обеспечивает шероховатость поверхности 4,5–5,2 мкм. Минимальная достигнутая пористость составила 0,255% при мощности лазера 340 Вт. Увеличение скорости сканирования с 1000 до 1500 мм/с повышает скорость обработки и улучшает стабильность процесса: толщины стенок снижается с  $\pm 69.62$  мкм до  $\pm 41.88$  мкм при сохранении пористости на уровне 0.373–0.404%.

Остаточные напряжения в тонкостенных структурах, полученных методом SLM, достигают предела текучести материала, особенно в направлении построения детали. Кроме того, было установлено, что при увеличении толщины нижней части конусной тонкостенной структуры остаточные напряжения растут, но после достижения толщины 1,5 мм их уровень стабилизируется и дальнейшее увеличение не приводит к существенному изменению напряжений.

Рассматриваются ключевые достоинства данной технологии, такие как снижение веса изделий, уменьшение расхода материала и возможность реализации внутренней структуры, недоступной для традиционных методов производства. Результаты исследования подчеркивают значимость технологии селективного лазерного плавления в современных производственных процессах, где предъявляются высокие требования к качеству и функциональности деталей.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, аддитивное производство, трехмерная печать (3D-печать), селективное лазерное плавление, сложнопрофильные детали, тонкостенные детали.

**Для цитирования:** Максимов Ю. В., Байкин Д. С. Перспективы применения селективного лазерного плавления (SLM – Selective Laser Melting) в изготовлении сложнопрофильных тонкостенных деталей // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 90–98.

*Yu. V. Maksimov, D. S. Baykin* ✉

Moscow Polytechnic University

✉ Corresponding author

## PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF SELECTIVE LASER MELTING (SLM – SELECTIVE LASER MELTING) IN THE MANUFACTURING OF COMPLEX THIN-WALLED COMPONENTS

### Abstract

This study presents an analysis of the technological capabilities of Selective Laser Melting (SLM) in the context of printing complex thin-walled components. SLM technology enables the production of highly precise components with intricate geometries by using laser melting of metal powder.

Through the analysis, optimal printing parameters were determined for the AlSi10Mg alloy when printing thin-walled parts with a wall thickness of less than 0.5 mm: laser power of 215–220 W and a scanning speed of 1500 mm/s, ensuring a surface roughness of 4.5–5.2  $\mu\text{m}$ . The minimum achieved porosity was 0.255% at a laser power of 340 W. Increasing the scanning speed from 1000 to 1500 mm/s enhances processing speed and improves process stability: wall thickness variation decreases from  $\pm 69.62 \mu\text{m}$  to  $\pm 41.88 \mu\text{m}$  while maintaining porosity in the range of 0.373–0.404%.

Residual stresses in thin-walled structures produced by SLM reach the material's yield strength, especially in the build direction. Additionally, it was found that as the lower part thickness of a conical thin-walled structure increases, residual stresses also rise, but after reaching a thickness of 1.5 mm, their level stabilizes, and further increases do not lead to significant changes in stress levels.

The key advantages of this technology are discussed, including weight reduction of components, lower material consumption, and the ability to create internal structures that are impossible to achieve with traditional manufacturing methods. The study results highlight the significance of SLM technology in modern manufacturing processes, where high demands are placed on the quality and functionality of components.

**Keywords:** additive technologies, additive manufacturing, 3D printing, selective laser melting, complex-profile parts, thin-walled parts.

**For citation:** Maksimov Yu. V., Baykin D. S. Prospects for the Application of Selective Laser Melting (SLM – Selective Laser Melting) in the Manufacturing of Complex Thin-Walled Components. *Vestnik MSUT "Stankin"*. 2025. No 2 (73). P. 90–98. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 99–106.

УДК 621.73.073

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 99–106.

**М.В. Шарыкин, Е.Н. Сосенушкин** 

ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

 Автор для корреспонденции

## ВАРИАНТ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ СДВОЕННЫХ ТОНКОПОЛОТНЫХ ПОКОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СТОЙКОСТЬ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

### Аннотация

В статье обсуждаются результаты исследования влияния на стойкость штамповой оснастки технологии штамповки сдвоенных поковок, имеющих тонкие полотна, материалом которых является алюминиевый деформируемый сплав марки АК4-1. Приведен сравнительный анализ основных технологических параметров, полученных компьютерным моделированием процесса горячей объёмной штамповки согласно производственному и предлагаемому вариантам, что позволит осуществить выбор наиболее предпочтительного.

**Ключевые слова:** горячая штамповка, моделирование, штамп, стойкость.

**Для цитирования:** Шарыкин М.В., Сосенушкин Е.Н. Вариант технологии штамповки сдвоенных тонкополотных поковок из алюминиевого сплава и его влияние на стойкость штамповой оснастки // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 99–106.

**M. V. Sharykin, E. N. Sosenushkin** 

MSUT “STANKIN”

 Corresponding author

## A VARIANT OF THE TECHNOLOGY OF STAMPING DOUBLE THIN-BLADE FORGINGS FROM ALUMINUM ALLOY AND ITS INFLUENCE ON THE DURABILITY OF THE STAMPING TOOLING

### Abstract

The article discusses the results of the study of the influence of the stamping technology of double forgings with thin blades, the material of which is aluminum deformable alloy of the ENAW-2618A brand, on the durability of the die tooling. A comparative analysis of the main technological parameters obtained by computer modeling of the hot volume stamping process according to the production and proposed options is given, which will allow choosing the most preferable one.

**Keywords:** hot stamping, modeling, stamp, durability.

**For citation:** Sharykin M. V., Sosenushkin E. N. A variant of the technology of stamping double thin-blade forgings from aluminum alloy and its influence on the durability of the stamping tooling. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 99–106. (In Russian)

Научная статья

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 107–115.

УДК 658.512.6

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 107–115.

**Н.М. Ефромеев** ✉, **Е.Б. Фролов**

ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МНОГОСТАНОЧНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

### Аннотация

В статье рассматривается алгоритм решения задачи составления производственного расписания для многостаночного обслуживания. Достоинством предложенного алгоритма является его полиномиальная вычислительная трудоемкость, что позволяет применять его для оптимизации задач высокой размерности.

Предложена декомпозиция основной задачи МСО на отдельные независимые подзадачи (для одного станка), решения которых используются итерационно для приближения к желаемому эффективному решению. При этом требуется предварительно определить число оптимизационных подзадач, на которые необходимо декомпозировать исходную задачу МСО.

Приводится пример практического применения разработанных алгоритмов с использованием MES системы для расчета производственного расписания для задачи МСО.

**Ключевые слова:** многостаночное обслуживание, МСО, MES, производственное расписание.

**Для цитирования:** Ефромеев Н.М., Фролов Е.Б. Алгоритм решения задачи многостаночного обслуживания // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 107–115.

**N.M. Efromeev** ✉, **E.B. Frolov**

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## ALGORITHM FOR SOLVING THE PROBLEM OF MULTI-MACHINE MAINTENANCE

### Abstract

The article discusses an algorithm for solving the problem of creating a production schedule for multi-site maintenance. The advantage of the proposed algorithm is its polynomial computational complexity, which allows it to be used to optimize high-dimensional problems. The decomposition of the main task of the MSM into separate independent subtasks (for one machine) is proposed, the solutions of which are used iteratively to approach the desired effective solution. In this case, it is necessary to determine in advance the number of optimization subtasks into which the initial MSM task must be decomposed. An example of the practical application of the developed algorithms using the MES system for calculating the production schedule for the MSM task is given.

**Keywords:** multi-site maintenance, MSM, MES, production schedule.

**For citation:** Efromeev N.M., Frolov E.B. Algorithm for solving the problem of multi-machine maintenance. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 107–115. (In Russian)

*Научная статья*

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 116–125.

УДК 621.735.016.2

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 116–125.

**Ф. Юсеф<sup>✉</sup>, С.Е. Сосенушкин**

ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩЕЙ ПРОЦЕСС УНИФИКАЦИИ КАДРОВ ДАННЫХ СТАНДАРТОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

### Аннотация

В данной работе рассматривается возможность применения теории массового обслуживания с целью описания процесса обеспечения интероперабельности и унификации кадров данных стандартов беспроводных сенсорных сетей на канальном уровне. Теория массового обслуживания изучает и моделирует процесс ожидания в очереди и применяется во многих значимых сферах жизни, в том числе телекоммуникациях и сетях. В контексте унификации кадров данных процесс эмуляции обеспечения унификации и интероперабельности кадров данных беспроводных сенсорных сетей может быть представлен как система массового обслуживания, где клиенты – это данные, поступающие на обработку, а обслуживающие устройства – это процессы, выполняющие унификацию данных. Следовательно, предложена следующая модель М/М/1 – PS, которая расшифровывается как мультикласс очередей с совместным использованием процессора с одинаковым приоритетом. Предложенная модель системы массового обслуживания (СМО) соответствует процессу эмуляции обеспечения унификации кадров данных. Модель рассчитана в стационарном режиме и применена для оценки параметра времени унификации при разных значениях коэффициентов загрузки системы и скорости обслуживания. В целях исследования эффективности выбранной модели представлены аналитические расчёты времени ожидания в СМО и времени обработки кадров (полученные эмулятором) в зависимости от интенсивности пакетов, количества узлов, коэффициентов загрузки системы и скорости обслуживания. Результаты исследования предложенной модели показывают, что аналитические расчёты времени ожидания совпадают с полученными результатами эмуляции в значительной степени, и это в свою очередь привело к тому, что предложенная математическая модель оказалась адекватной.

**Ключевые слова:** математическая модель, система массового обслуживания, унификации кадров, беспроводные сенсорные сети, время ожидания.

**Для цитирования:** Юсеф Ф., Сосенушкин С.Е. Исследование адекватности математической модели, описывающей процесс унификации кадров данных стандартов беспроводных сенсорных сетей с применением теории массового обслуживания // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 116–125.

F. Yousef<sup>✉</sup>, S.E. Sosenushkin

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## THE STUDY OF THE ADEQUACY OF A MATHEMATICAL MODEL DESCRIBING THE PROCESS OF UNIFYING DATA FRAMES OF WIRELESS SENSOR NETWORK STANDARDS USING THE QUEUING THEORY

### Abstract

In this paper, the possibility of applying queuing theory is discussed in order to describe the process of ensuring interoperability and the unification of data frames of wireless sensor networks standards at datalink layer. Queuing theory studies and models the queuing process and is applied in many important areas of life, including telecommunications and networks. In the context of data frame unification, the process of emulating the unification and interoperability of wireless sensor network data frames can be represented as a queuing system, where customers are data incoming for processing, and service devices are processes that perform data unification. Therefore, the following M/M/1 – PS model is proposed, which stands for multiclass queues with shared processor usage with the same priority. The proposed model of the queuing system (QS) corresponds to the emulation process of ensuring the data frames unification. The model is calculated in stationary mode and applied to estimate the unification time parameter at different values of system utilization and service rate coefficients. In order to study the effectiveness of the chosen model, analytical calculations of the waiting time in the QS and frame processing time (obtained by the emulator) are presented, depending on the packet intensity, the number of nodes, system utilization and service rate factors. The results of the study of the proposed model show that the analytical calculations of the waiting time coincide to a large extent with the obtained emulation results, and this, in turn, led to the fact that the proposed mathematical model turned out to be adequate.

**Keywords:** mathematical model, queuing system, data unification, wireless sensor networks, waiting time.

**For citation:** Yousef F., Sosenushkin S.E. The study of the adequacy of a mathematical model describing the process of unifying data frames of wireless sensor network standards using the queuing theory. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 116–125. (In Russian)

*Научная статья*

Вестник МГТУ «Станкин». 2025. № 2 (73). С. 126–133.

УДК 621.9.06-112.6

Vestnik MSUT “Stankin”. 2025. No. 2 (73). P. 126–133.

*А.С. Далечин* ✉, *А.Н. Феофанов*

ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

✉ Автор для корреспонденции

## РОЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА КОМПОНОВОК АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ НА СТАДИИ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### Аннотация

Результаты исследования в статье посвящены уточнению роли автоматизированной системы по выбору компоновок агрегатных станков по параметрам обрабатываемой детали в бизнес-процессах предприятия-изготовителя. Предлагаемая автоматизированная система призвана сократить трудоемкость проектирования на стадиях синтеза структуры и создания твердотельной 3D модели агрегатного станка. В статье предлагается к рассмотрению типовая схема процесса проектирования агрегатных станков, описанная в рамках нотации BPMN 2.0. Отмечены ключевые стадии проектирования, такие как формирование технического задания, синтеза структуры и модели агрегатного станка, сверка с используемой математической моделью и утверждение подготовленного варианта станка. В статье даны подробные описания элементов схемы, используемых для формирования представления о структуре процесса проектирования технологического оборудования для крупносерийного и массового производства. Указано место автоматизированной системы компоновок агрегатных станков на стадии эскизного проектирования в процессе проектирования технологического оборудования, отмечено её влияние на сокращение трудоемкости проектирования станков. Рассмотрен этап синтеза структуры агрегатных станков и подготовка 3D модели в части использования базы данных агрегатов станков. Представлено описание множества унифицированных и кинематически не связанных между собой узлов, входящих в состав агрегатных станков, в виде дерева И-ИЛИ. Подготовлены выводы о необходимости использования базы данных унифицированных элементов для уменьшения трудоемкости проектирования станков на начальных стадиях проектирования.

**Ключевые слова:** агрегатные станки, выбор компоновок, бизнес-процесс, автоматизация, автоматизированная система.

**Для цитирования:** Далечин А.С., Феофанов А.Н. Роль автоматизированной системы выбора компоновок агрегатных станков на стадии эскизного проектирования // Вестник МГТУ «Станкин». – 2025. – № 2 (73). – С. 126–133.

*A.S. Dalechin* ✉, *A.N. Feofanov*

MSUT “STANKIN”

✉ Corresponding author

## THE ROLE OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR CHOOSING THE LAYOUTS OF TRANSFER MACHINES AT THE DRAFT DESIGN STAGE

### Abstract

The research results in the article are devoted to clarifying the role of an automated system for preparing machine tool assemblies according to the machining part parameters of in the business processes of a manufacturing company. The proposed automated system is designed to reduce the complexity of design at the stages of structure synthesis and creation of a solid-state 3D model of a transfer machine. The article suggests a typical scheme of the design process of transfer machines, described in the framework of the BPMN 2.0 notation. The key design stages are noted, such as the formation of technical specifications, synthesis of the structure and model of the transfer machine, reconciliation with the mathematical model used and approval of the prepared version of the machine. Detailed descriptions of the main elements used to form a structure concept of the designing process of technological equipment for large-scale and mass production are provided. The place of the automated assembly system of machine tools at the draft design stage in the process of designing technological equipment is indicated, and its impact on reducing the complexity of machine tool design is noted. The stage of the structure synthesis of transfer machines and the 3D model preparation regarding the use of a database of machine units is considered. A description of a set of unified and kinematically unrelated nodes that make up transfer machines is presented in the form of an AND-OR tree. Conclusions have been prepared about the need to use a database of unified elements to reduce the complexity of machine tool design at the initial stages of design.

**Keywords:** transfer machines, choosing of layouts, business process, automation, automated system.

**For citation:** Dalechin A.S., Feofanov A.N. The role of an automated system for choosing the layouts of transfer machines at the draft design stage. *Vestnik MSUT “Stankin”*. 2025. No 2 (73). P. 126–133. (In Russian)