

УДК 621.9.06

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Городько Виталий Викторович,**

Государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного и рудничного электрооборудования», ведущий инженер-конструктор

Электронная почта: vitaliy.automat2010@yandex.com

Российская Федерация, ДНР, г. Донецк

**Городько Ольга Юрьевна,**

Государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного и рудничного электрооборудования», заведующий сектором

Электронная почта: gorodolya1@rambler.ru

Российская Федерация, ДНР, г. Донецк

**Гридин Сергей Васильевич,**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий национальный технический университет», кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики

Электронная почта: gridin\_@mail.ru

Российская Федерация, ДНР, г. Донецк

### Аннотация

В статье рассматриваются передовые технические возможности металлорежущего оборудования, в том числе развитие CNC станков и центров, автоматизация производства с использованием систем CAD/CAM/CAE, нейронных сетей и робототехники, а также систем позиционирования. Обосновывается важность параллельных кинематических платформ для повышения точности и эффективности обработки сложных деталей, а также перспективы интеграции интеллектуальных систем и модулей управления для создания «умных» заводов в рамках концепции Индустрии 4.0. Анализируются современные мировые лидеры по производству станков, проведена классификация оборудования по осям и типам, а также рассмотрены вопросы повышения точности и снижения себестоимости посредством унификации элементов системы управления и предиктивного мониторинга в рамках ИИТ.

**Ключевые слова:** CNC станок, CNC центр, механическая система, электрическая система, интеллектуальная система, система позиционирования инструмента, шпиндель, допуск на обработку детали.

## FEATURES OF ADVANCED TECHNICAL CAPABILITIES OF METAL-CUTTING EQUIPMENT

### **Gorodko Vitaly Viktorovich,**

State Budgetary Institution «Scientific Research, Design and Technological Institute of Explosion-proof and Mining Electrical Equipment», leading design engineer

E-mail: vitaliy.automat2010@yandex.com

Russian Federation, DPR, Donetsk

### **Gorodko Olga Yur'yevna,**

State Budgetary Institution «Scientific Research, Design and Technological Institute of Explosion-proof and Mining Electrical Equipment», head of the sector

E-mail: gorodolya1@rambler.ru

Russian Federation, DPR, Donetsk

### **Gridin Sergey Vasil'yevich,**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Donetsk National Technical University», Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at department «Industrial heat and power engineering»

E-mail: gridin\_@mail.ru

Russian Federation, DPR, Donetsk

---

### ABSTRACT

---

The article discusses the advanced technical capabilities of metal-cutting equipment, including the development of CNC machines and centers, production automation using CAD/CAM/CAE systems, neural networks, and robotics, as well as positioning systems. The article substantiates the importance of parallel kinematic platforms for improving the accuracy and efficiency of processing complex parts, as well as the prospects for integrating intelligent systems and control modules to create smart factories within the framework of the Industry 4.0 concept. The article analyzes the current global leaders in machine tool production, classifies equipment by axis and type, and discusses ways to improve accuracy and reduce costs by unifying control system elements and predictive monitoring within the framework of IIoT.

---

**Keywords:** CNC machine, CNC center, mechanical system, electrical system, intelligent system, tool positioning system, spindle, part processing tolerance.

---

Введение. Как при разработке металлорежущей CNC машины и ее элементов, так и при её покупке для производства определённой номенклатуры продукции необходимо, кроме теоретических основ и технических параметров, знать к какой рыночной нише мирового станочного парка она будет относиться для оптимального соотношения функциональность/качество. Для этого необходимо обладать максимальной информацией в виде постоянно обновляемых сравнительных таблиц передовых технических возможностей металлообрабатывающего оборудования производителей или потенциальных конкурентов. В настоящее время такой систематизированной информации в открытом доступе нет.

Цель исследования: Систематизировать и классифицировать основные функциональные возможности мирового парка металлорежущих CNC машин.

Материалы и методы исследования: электронные ресурсы.

Результаты исследования. Повсеместное внедрение современных CNC металлорежущих станков и центров в качестве средств труда позволяет снизить затраты с одновременным увеличением эффективной масштабируемости готовой продукции, а именно увеличением:

- точности;
- производительности;
- универсальности;
- безопасности;
- повторяемости;
- сложности.

В 1990-х годах мощный цивилизационный скачок в автоматизации металлообрабатывающего оборудования и машиностроения в целом был осуществлен путем внедрения в этапы проектирования/производства «бесшовных технологий»:

- в программной части – синтезом систем CAD/CAM/CAE, программных инструментов проектирования, производства и анализа, началом применения нейронных сетей (ANN) в системах управления электроприводами [1];
- в силовой аппаратной части – переходом электроприводов на IGBT, IGCT;
- в цифровой аппаратной части – переходом от систем цифрового программного управления (NC) к компьютерным системам управления (CNC).

В настоящее время взаимодействие робототехники в качестве роботов-загрузчиков для извлечения, установки, складирования, изменения положения заготовки, совместно с оборудованием металлообработки требует, наряду с CAD/CAM программами, наличия системы для автономного программирования роботов (OLP). Также робот может заменять 6-ти, 7-ми осевой CNC обрабатывающий центр в неprecизионной обработке мягких материалов – пластика, древесины, смолы, из-за недостаточно прочной конструкции [2], [3], [4], [5]. 3D-моделирование в CAD программах позволило выполнять проекты на 50–80% быстрее, чем при работе в 2D [6].

Металлорежущие интеллектуальные CNC центры уже являются элементами будущих автономных «умных» заводов, согласно эволюции машиностроения, в парадигме концепции Индустрии 4.0, которая была сформулирована в 2016 году Клаусом Швабом.

Вид современного CNC вертикального обрабатывающего центра представлен на рисунке 1.

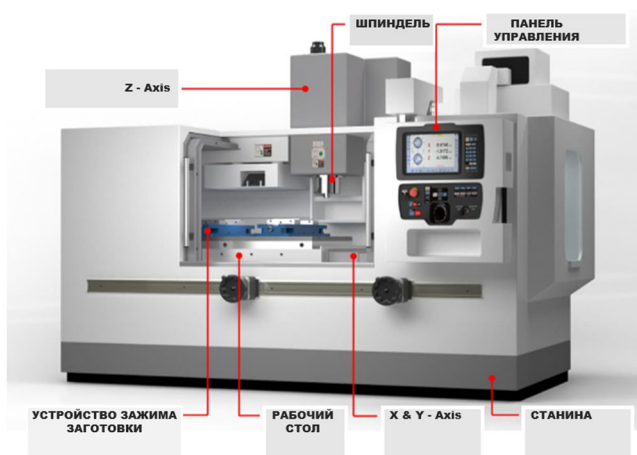


Рисунок 1 – Современный CNC обрабатывающий центр  
 CNC машины включают в себя, взаимодействующие между собой, механическую, электрическую, интеллектуальную системы, которые представлены на рисунке 2 [7].

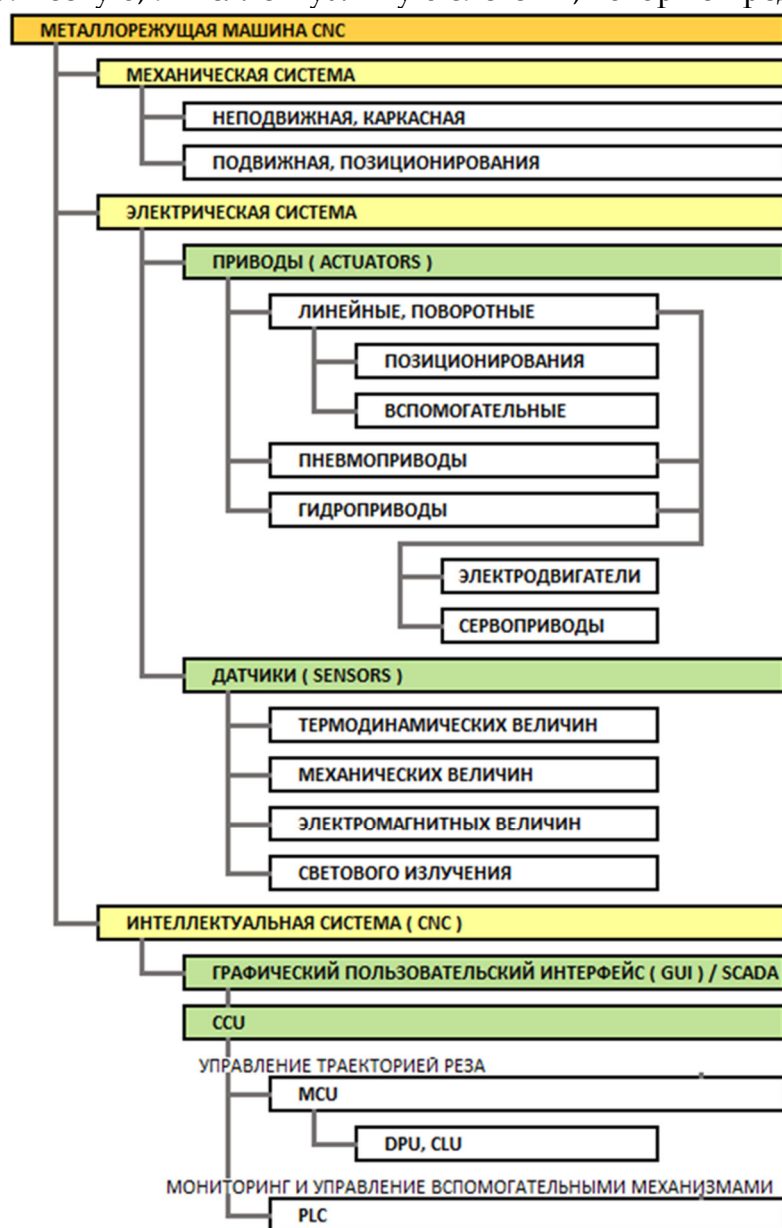


Рисунок 2 – Структура машины CNC

В таблице 1 представлены ведущие мировые производители станков [8].

Таблица 1 – Ведущие мировые производители станков

Страна / регион	Ведущие компании-производители
Япония	DMG MORI, Mazak, Okuma, Makino, Brother
Германия / Европа	Trumpf, Hermle, Chiron, Heller, GF Machining
США	Haas, Hardinge, Hurco, Cincinnati Machine
Южная Корея	DN Solutions, Hyundai WIA, Samsung Machine
Тайвань	FFG, Tongtai, Goodway
Швейцария	GF Machining, Starrag, Studer, Kellenberger

Детали сложных изделий машиностроения производятся на металлообрабатывающем оборудовании. Металлообрабатывающие машины подразделяются на:

- металлорежущие, которые удаляют материал с заготовки;
- металлоформовочные, которые изменяют форму заготовки без удаления значительного количества материала;
- аддитивные, которые наращивают деталь по технологии 3D печати, методом литья, методами сварки, в том числе сварки трением (FSW).

Операции, которые могут выполнять металлорежущие машины, приведены на рисунке 3.

Металлорежущие CNC машины делятся на:

- станки (CNC MACHINES);
- центры (CNC CENTERS).

CNC станок – это машина для одного типа операции резания, с ручной сменой заготовки и инструмента, для одновременной работы в 2 осях или в 2,5 осях.

CNC центр – это машина для нескольких типов операций резания, одновременно работающая в 3 осях и выше, с устройством автоматической смены инструмента (АТС).

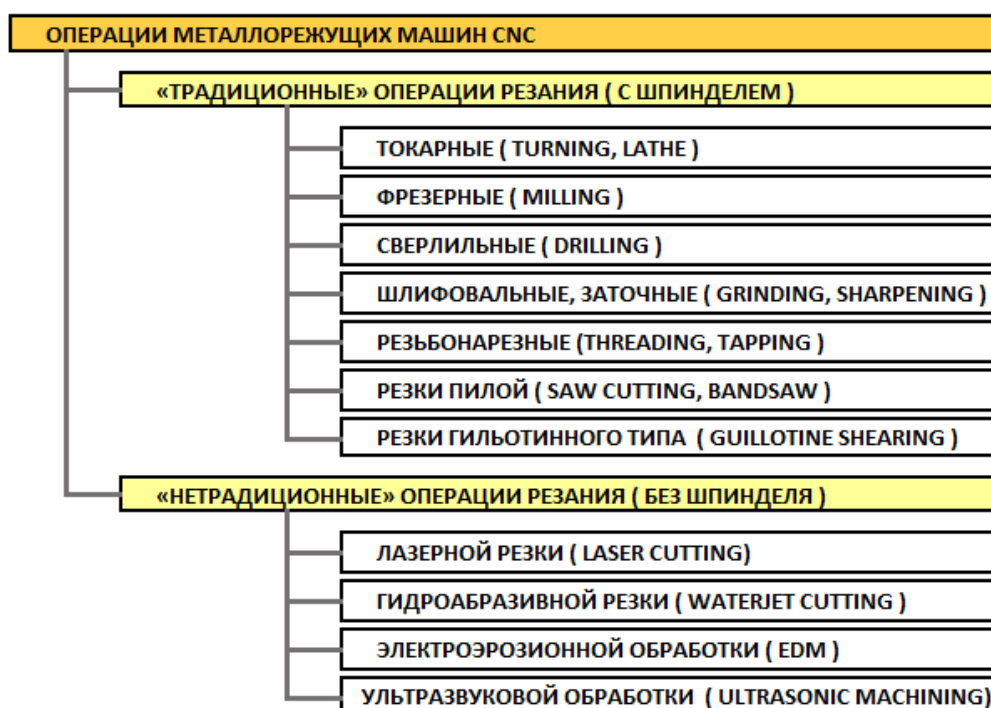


Рисунок 3 – Виды операций металлорежущих машин CNC

Анализ продукции компании Haas Automation (США) показал, что использование 5-тиосевого CNC центра вместо 3х-осевого снижает время цикла обработки детали на 26,6% [9].

CNC машины используют прямоугольную систему позиционирования инструмента (TCS), заготовки (WCS), станка (MCS), с метрической или дюймовой системой данных осей. Согласно ISO 841:2001, существует два типа осей – линейные и вращения. Оси движения машин представлены на рисунке 4.

Классификация по осям металлорежущих CNC станков, обрабатывающих и токарных CNC центров и роботов представлена в таблице 2.

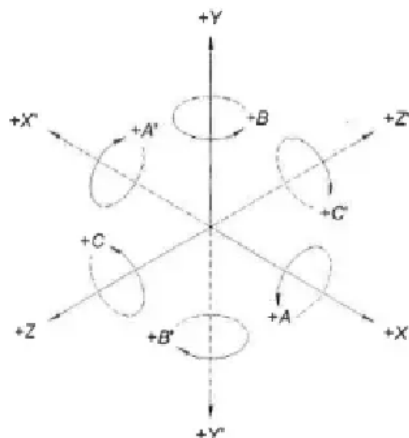


Рисунок 4 – Оси движения машин.

Таблица 2 – Классификация металлорежущих CNC машин и роботов по осям

Вид машин	Обозначение осей	Наименование осей	Количество осей	Тип результирующей поверхности
Станки	Axis	XZ	2	2D
		XY, Z	2,5	2,5D
Центры	Axis	XYZ	3	3D
		XYZ, A	3+1 (Indexed)	
	Multi-Axis	XYZ A	4 (Continius)	3D freeform surfaces
		XYZ, BC	3+2 (Indexed)	
		XYZ, BA		
		XYZ, AC		
		XYZ BC	5 (Continius)	
XYZ BA				
XYZ AC				
Центры и роботы	Multi-Axis, DOF	XYZ ABC	6 (Continius)	
		XYZ ABC E	7 (Continius)	
Роботы	DOF	XYZ ABC +...	>7	

Одним из путей повышения точности производства сложных деталей, с многоэтапной механической обработкой, является снижение количества установок детали с соответствующей наладкой. Решением является совмещение нескольких операций, главными из которых являются токарная обработка и фрезерование, в одном CNC центре.

В зависимости от типа основной операции реза центры делятся на:

- обрабатывающие, фрезерно-токарные (CNC MACHINING CENTERS);
- токарные, токарно-фрезерные (CNC TURNING, MULTITASKING CENTERS).

В зависимости от ориентации шпинделей, машины CNC делятся на:

- горизонтальные;
- вертикальные;
- комбинированные.

Классификация CNC машин по количеству и ориентации шпинделей представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Классификация CNC машин по количеству и ориентации шпинделей

Соответствующая классификация металлорежущих CNC машин с учетом ориентации шпинделей, представлена на рисунке 6.

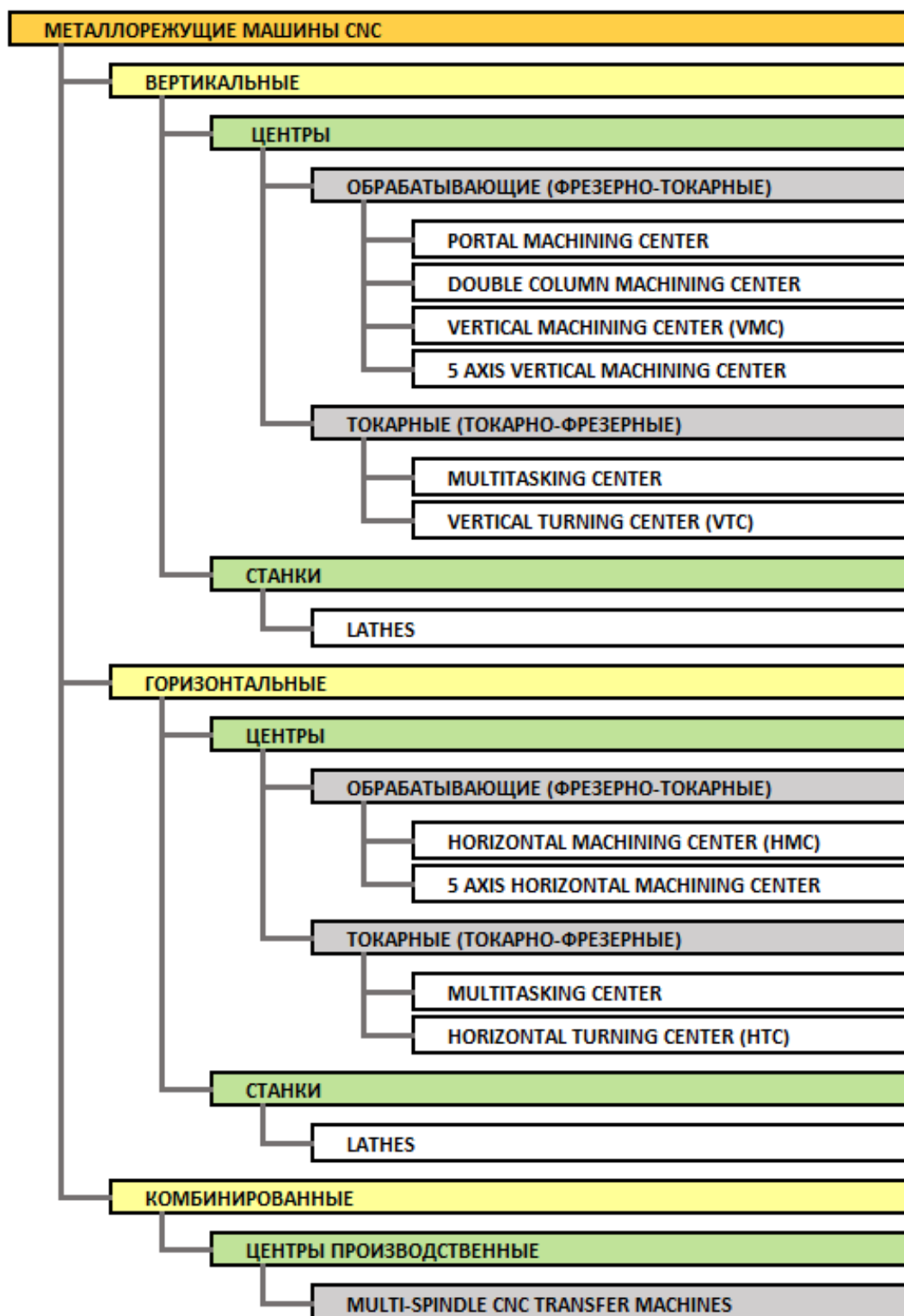
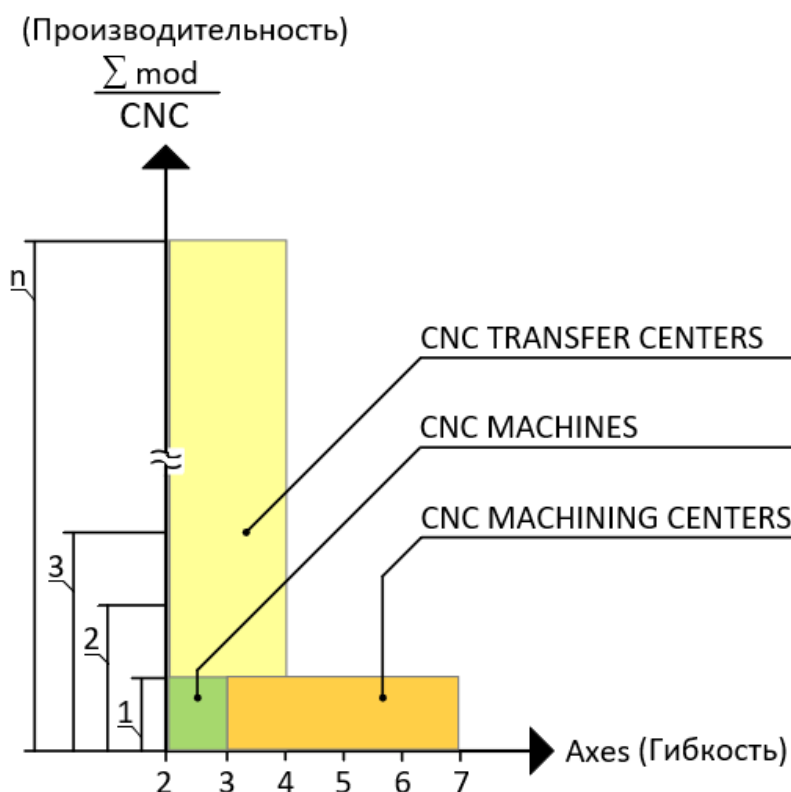


Рисунок 6 – Классификация металлорежущих машин CNC с учетом ориентации шпинделей

CNC машины различных модификаций могут работать как в качестве самостоятельных единиц, так и в качестве модулей, с 1÷4 осями в каждом, в многопозиционном, многоосевом, многошпиндельном производственном центре Multi-spindle CNC transfer machine, который позволяет многократно уменьшить себестоимость изготовления деталей при крупносерийном производстве. [10].

График зависимости производительности CNC машин от количества осей представлен на рисунке 7.



где mod = 1,2,3, ... , n-1, n - количество модулей в одной CNC машине

Рисунок 7 – Зависимость производительности CNC машин от количества осей

Особый интерес вызывает электромеханическая реализация принципа параллельной кинематики (РКМ) как в качестве привода подач CNC станков, так и в приводах самих шпинделей машин, т.н. триподов и гексаподов, в виде подвидов платформы Стюарта, позволяющих создавать 6-тиосевые системы позиционирования (X, Y, Z, тангаж, крен, рысканье), расположенных параллельно между верхней и нижней платформами. Данные многоосевые прецизионные системы позиционирования, наряду с небольшой рабочей зоной – амплитудой и радиусом движения параллельных рабочих рычагов, обладают множеством преимуществ по сравнению с традиционными последовательными кинематическими платформами, включая меньшую инерцию и накопленную ошибку позиционирования, улучшенную динамику, меньшие габариты и повышенную жёсткость, наряду с большой грузоподъёмностью.

Данные технические решения также реализуемы в области робототехники и имеют перспективы применения в качестве высокоточных компактных приводов сверхмощных передатчиков электромагнитных излучений, в том числе оптического диапазона, большой массы, таких как лазер NSF ZEUS национального научного фонда США [11].

В настоящий момент в ГБУ «НИИВЭ» прорабатываются технические вопросы создания элементов электрической системы металлорежущей машины CNC в виде унифицированного блока управления двигателем постоянного тока на базе IGBT модуля с замкнутой системой управления, а также блока точного позиционирования, позволяющих получать детали с жесткими допусками обработки <0,013 мм, что позволит использовать их в аэрокосмической и медицинской отраслях. Классификации допусков по точности обработки деталей в зависимости от области применения представлены в таблице 3 [12].

Таблица 3 – Допуски по точности обработки деталей в зависимости от области применения

Классификация	Диапазон	Области применения	Отраслевые стандарты
---------------	----------	--------------------	----------------------

Общего назначения	От $\pm 0,5$ мм до $\pm 0,13$ мм (от $\pm 0,02''$ до $\pm 0,005''$ )	Конструктивные элементы, корпуса	ISO 2768, ASME Y14.5
Точность	От $\pm 0,13$ мм до $\pm 0,05$ мм (от $\pm 0,005''$ до $\pm 0,002''$ )	Механические узлы, шестерни	DIN 7168, ISO 286
Высокая точность	От $\pm 0,05$ мм до $\pm 0,013$ мм (от $\pm 0,002''$ до $\pm 0,0005''$ )	Оптические компоненты, датчики	VDI/VDE 2617
Ультраточность	$< \pm 0,013$ мм ( $< \pm 0,0005''$ )	Полупроводниковое оборудование, исследовательские приборы	Стандарты ASME B89

Выводы. Проведенная классификация основных функциональных возможностей мирового парка металлорежущих CNC машин показала возможность разработки и применения унифицированных элементов электрической системы регулирования данного оборудования, создания исходных, базовых драйверов регулирования двигателей и сервомоторов на базе MOSFET и IGBT модулей, с возможностью их дальнейшей модернизации и развития их модификаций, а также разработки универсальных устройств сопряжения энкодеров точного позиционирования с системой CNC. Данные элементы должны будут иметь максимальную возможность предиктивного мониторинга в соответствии с концепцией IIoT.

Это даст экономический эффект в виде:

- снижения стоимости CNC машин отечественного производства за счет увеличения локализации производства, с дальнейшим полным замкнутым циклом изготовления;
- уменьшения времени простоя за счет предиктивного мониторинга и унификации оборудования.

#### Список литературы:

1. A Brief History of Power Electronics and Drives [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://www.ijert.org/research/a-brief-history-of-power-electronics-and-drives-IJERTV3IS042404.pdf> (дата обращения 25.09.2025).
2. Industrial Robot Axes - Robots Done Right [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://robotsoneright.com/Articles/industrial-robot-axes.html?srsIid=AfmBOooOXnHgEf1Eshc0tVIX2oonzRpV3UMDKWMsY2Euug5qMsqb28i> (дата обращения 25.09.2025).
3. Integrated Robots | Flexible SCARA Robots - DENSO Robotics [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://www.densorobotics.com/products/integrated/> (дата обращения 26.09.2025).
4. 7 axis cnc machining - Milling&Turning&CNC Lathes - Sunrise Metal [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://www.sunrise-metal.com/7-axis-cnc-machining/> (дата обращения 26.09.2025).

5. Okuma Robot Loader Series | CNC | Automation | Okuma [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://www.okuma.com/products/okuma-robot-loader-series> (дата обращения 26.09.2025).
6. IJEAIS211104.pdf [Электронный ресурс] / [Сайт] <http://ijeais.org/wp-content/uploads/2021/11/IJEAIS211104.pdf> (дата обращения 26.09.2025).
7. CNC Systems - 4.1.1 General [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://reference.opcfoundation.org/CNC/v100/docs/4.1.1> (дата обращения 26.09.2025).
8. Top Machine Tool Manufacturers 2025 | Global Market & Trends [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://autobitslabs.com/top-machine-tool-manufacturers/> (дата обращения 26.09.2025).
9. Understanding the Axes in CNC Machines: A Comprehensive Guide [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://www.scan2cad.com/blog/cnc/cnc-machine-axis/> (дата обращения 06.10.2025).
10. Rotary transfer machine - Force - Hydromat - CNC / 6-position / 8-position [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://www.directindustry.com/prod/hydromat/product-26463-2695454.html> (дата обращения 06.10.2025).
11. The US has a new most powerful laser [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://zeus.engin.umich.edu/stories/the-us-has-a-new-most-powerful-laser> (дата обращения 06.10.2025).
12. What is Considered a Tight Tolerance in Machining? Engineering Standards Explained [Электронный ресурс] / [Сайт] <https://www.modusadvanced.com/resources/blog/what-is-considered-a-tight-tolerance-in-machining-engineering-standards-explained#:~:text=Tight%20tolerance%20machining%20typically%20begins,fixturing%2C%20and%20quality%20control%20systems.> (дата обращения 06.10.2025).

### References:

1. A Brief History of Power Electronics and Drives [Electronic resource] / [Website] <https://www.ijert.org/research/a-brief-history-of-power-electronics-and-drives-IJERTV3IS042404.pdf> (date of request 25.09.2025).
2. Industrial Robot Axes - Robots Done Right [Electronic resource] / [Website] <https://robotsoneright.com/Articles/industrial-robot-axes.html?srsId=AfmBOooOXnHgEf1Eshc0tVIX2oonzRpV3UMDKWMSY2Euug5qMsqb28i> (date of request 25.09.2025).
3. Integrated Robots | Flexible SCARA Robots - DENSO Robotics [Electronic resource] / [Website] <https://www.densorobotics.com/products/integrated/> (date of request 26.09.2025).
4. 7 axis cnc machining - Milling&Turning&CNC Lathes - Sunrise Metal [Electronic resource] / [Website] <https://www.sunrise-metal.com/7-axis-cnc-machining/> (date of request 26.09.2025).

5. Okuma Robot Loader Series | CNC | Automation | Okuma [Electronic resource] / [Website] <https://www.okuma.com/products/okuma-robot-loader-series> (date of request 26.09.2025).
6. IJEAIS211104.pdf [Electronic resource] / [Website] <http://ijeais.org/wp-content/uploads/2021/11/IJEAIS211104.pdf> (date of request 26.09.2025).
7. CNC Systems - 4.1.1 General [Electronic resource] / [Website] <https://reference.opcfoundation.org/CNC/v100/docs/4.1.1> (date of request 26.09.2025).
8. Top Machine Tool Manufacturers 2025 | Global Market & Trends [Electronic resource] / [Website] <https://autobitslabs.com/top-machine-tool-manufacturers/> (date of request 26.09.2025).
9. Understanding the Axes in CNC Machines: A Comprehensive Guide [Electronic resource] / [Website] <https://www.scan2cad.com/blog/cnc/cnc-machine-axis/> (date of request 06.10.2025).
10. Rotary transfer machine - Force - Hydromat - CNC / 6-position / 8-position [Electronic resource] / [Website] <https://www.directindustry.com/prod/hydromat/product-26463-2695454.html> (date of request 06.10.2025).
11. The US has a new most powerful laser [Electronic resource] / [Website] <https://zeus.engin.umich.edu/stories/the-us-has-a-new-most-powerful-laser> (date of request 06.10.2025).
12. What is Considered a Tight Tolerance in Machining? Engineering Standards Explained [Electronic resource] / [Website] <https://www.modusadvanced.com/resources/blog/what-is-considered-a-tight-tolerance-in-machining-engineering-standards-explained#:~:text=Tight%20tolerance%20machining%20typically%20begins,fixturing%2C%20and%20quality%20control%20systems.> (date of request 06.10.2025).