

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОТОР-ШПИНДЕЛЕЙ В МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ

Н.Ю. Кропотин

elessar.vtx@gmail.com

В.А. Плетнев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

### Аннотация

Проведена оценка применения мотор-шпинделей в металлорежущем оборудовании. Рассмотрены принципы работы, основные характеристики и особенности применения мотор-шпинделей в приводах станков

### Ключевые слова

Металлорежущие станки, мотор-шпиндель, система водяного охлаждения мотор-шпинделя

Поступила в редакцию 30.03.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Приводы современных технологических машин (металлорежущих и прокатных станков, кузнечно-прессового оборудования, литейных машин и др.) представляют собой сложные электронно-механические устройства для передачи движения от электродвигателя к рабочим органам станка.

Все чаще в главных приводах металлорежущих станков применяют мотор-шпиндели, что обусловлено их соответствием всем технологическим требованиям: точности числа оборотов (1–2 % от номинального числа оборотов), значения биения шпинделя (менее 1 мкм) и степени жесткости шпинделя. Учитывая, что шпиндель является основной частью металлорежущего станка и существенно влияет на показатели точности и производительности, рассмотрим более подробно использование мотор-шпинделей в таком оборудовании [1, 2].

Отметим, что мотор-шпиндель представляет собой шпиндельный узел металлорежущего станка, в который встроен электродвигатель, а вал двигателя является шпинделем станка. Объемное изображение современного мотор-шпинделя в разрезе представлено на рис. 1, а устройство мотор-шпинделя — на рис. 2.

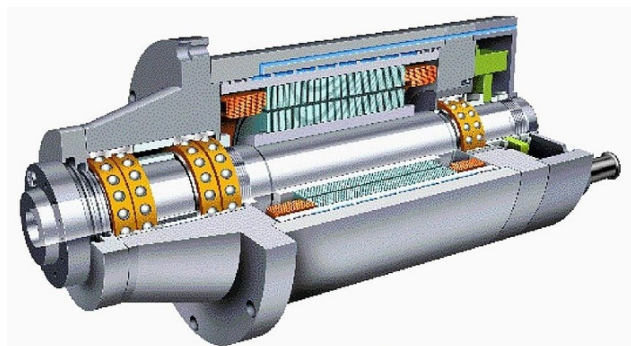


Рис. 1. Объемное изображение современного мотор-шпинделя в разрезе

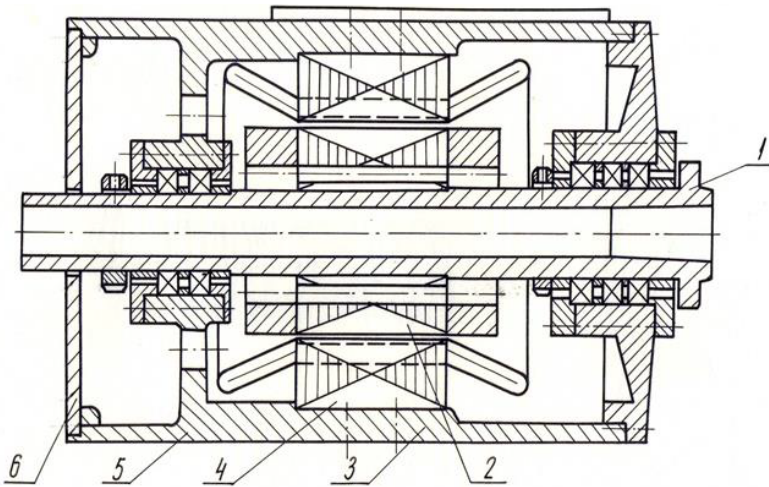
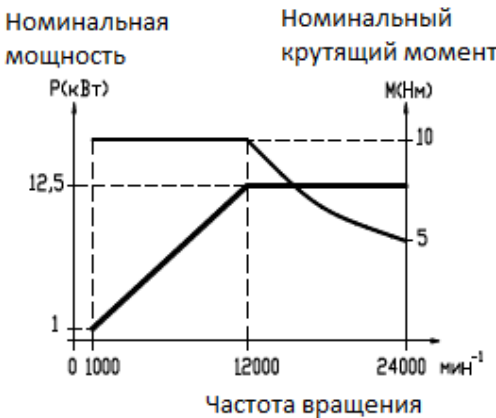


Рис. 2. Устройство мотор-шпинделя:

1 — шпиндель; 2 — ротор; 3 — корпус статора; 4 — статор; 5 — корпус; 6 — задняя стенка

Широкое распространение мотор-шпиндели получили в прецизионных многоцелевых станках (фрезерно-расточных станках с ЧПУ, шлифовальных, токарных станках и др.) [3–6]. На практике используют электродвигатели двух типов: асинхронный и синхронный. Они отличаются показателями мощности и частоты вращения.



ММ-140-24/12,5

— — график мощности;  
— — график момента.

Рис. 3. Мощность и крутящий момент мотор-шпинделя серии ММ-140 с асинхронным двигателем

Преимуществами мотор-шпинделя, по сравнению с традиционной конструкцией шпиндельных узлов, являются небольшие габариты и вес, достигаемые путем специфической компоновки двигателя и шпиндельного узла. Конструкция мотор-шпинделя позволяет проводить бесступенчатое регулирование частоты вращения и уменьшить размеры и вес шпиндельного узла благодаря отсутствию коробки передач и некоторых других механизмов, а также сделать работу шпинделя практически бесшумной. Однако такое устройство является конструктивно сложным и дорогостоящим.

На рис. 3 в виде графиков изображены мощность и крутящий момент мотор-шпинделя серии ММ-140 с асинхронным электродвигателем.

Основными узлами мотор-шпинделей являются высокоскоростные прецизионные подшипники, обеспечивающие высокую (до 80 000 об/мин в синхронном электродвигателе и до 24 000 об/мин — в асинхронном) частоту вращения и динамическую грузоподъемность (до 20 000 Н при номинальном диаметре вала  $d = 50$  мм). При этом стоит учитывать, что они очень чувствительны к перегрузкам, вследствие воздействия которых может наступить преждевременный износ или произойти разрушение шпиндельных опор. Благодаря новым технологиям и применению современных материалов (например, керамики) для шариков подшипников шпиндели могут достигать высокой частоты вращения. При этом опоры повышают виброустойчивость шпинделя, что часто сказывается на результатах работы станка. Соблюдая все требования, предъявляемые к нагрузке, температурному и скоростному режимам (ограничение частоты вращения шпинделя), такие опоры позволяют доводить выработку подшипников до 40 000 ч.

Одна из основных проблем при эксплуатации двигателя мотор-шпинделя — это проблема векторного управления обмотками электродвигателей шпинделя, решаемая в системах ЧПУ посредством программирования систем векторного управления (рис. 4). Другой проблемой является необходимость принудительного охлаждения и постоянного смазывания подшипниковых узлов. Охлаждение необходимо, потому что точность работы шпинделя зависит от его температуры и температуры опор, на которые воздействует теплота от подшипников и теплота, выделяемая электродвигателем в процессе трения, резания. Охлаждение осуществляется путем кондиционирования или водяного охлаждения водой или тосолом.

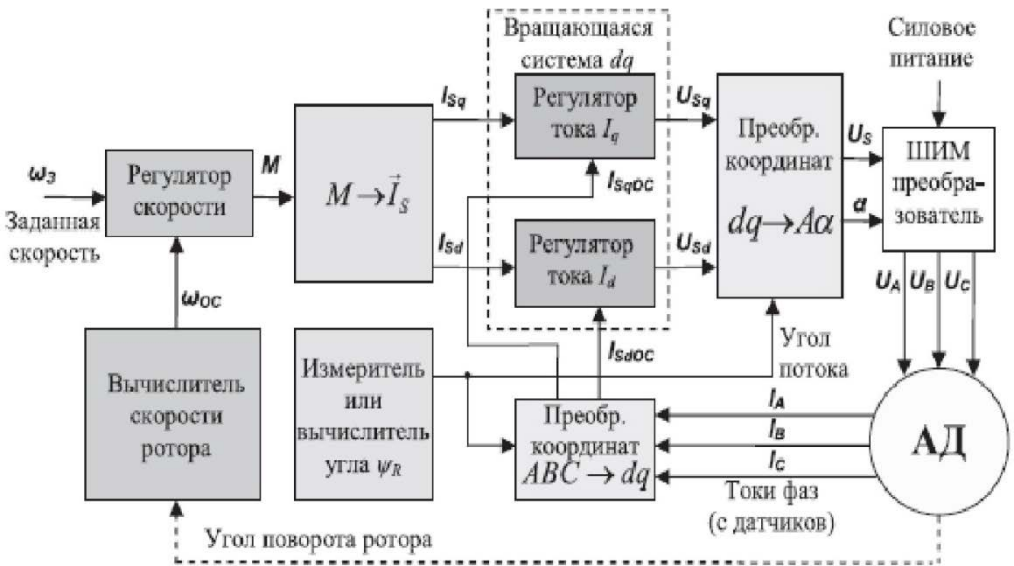


Рис. 4. Упрощенная схема системы векторного управления, применяемая в системах ЧПУ:

АД — асинхронный двигатель;  $I$  — ток фаз;  $U$  — напряжение;  $q$  — заряд;  
 ШИМ — широтно-импульсная модуляция

Отметим также проблему механического закрепления инструмента или детали мотор-шпинделя с базированием по конусу HSK, обеспечивающим необходимое осевое центрирование и базирование по плоскости, которое позволяет уменьшить зависимость погрешности обработки от погрешности настройки инструмента. Для снижения значения биения и вибраций при высокоскоростной обработке необходимо использовать точный, но дорогостоящий инструмент, что, конечно, влияет на конечную стоимость технологии [7].

Полученные результаты позволяют сделать вывод о рациональности применения мотор-шпинделей в современных технологических машинах и возможности расширения применения данного типа приводов.

## Литература

1. *Чернянский П.М.*, ред. Проектирование автоматизированных станков и комплексов. Т. 1. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 336 с.
2. *Чернянский П.М.*, ред. Проектирование автоматизированных станков и комплексов. Т. 2. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 303 с.
3. *Ягопольский А.Г.* Обеспечение технологической надежности токарных станков мониторингом параметров перемещения суппортных узлов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2010. № 2(79). С. 91–105.
4. *Ягопольский А.Г., Комкова Т.Ю.* Особенности применения современных электроприводов в оборудовании прокатных комплексов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 1–6. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=20309>
5. *Ягопольский А.Г., Кропотин Н.Ю.* Мехатронный комплекс диагностических испытаний и прогнозирования надежности токарных станков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 3(672). С. 49–55. DOI: 10.18698/0536-1044-2016-3-49-55
6. *Королев Э.Г., Юденков Н.П., Арапов А.Н.* Мотор — шпиндели для станков с ЧПУ // Станки и инструмент. 1986. № 2. С. 8–9.
7. *Кошкин А.С., Сырицкий А.Б.* Измерительно-вычислительные технологии эксплуатации металлорежущего оборудования и инструмента // Мир измерений. 2014. № 12. С. 3–9.

**Кропотин Николай Юрьевич** — магистрант кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Плетнев Виталий Андреевич** — студент кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

## SPECIFICS OF USING SPINDLE MOTORS IN MACHINING EQUIPMENT

N.Yu. Kropotin

elessar.vtx@gmail.com

V.A. Pletnev

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

*We assess using spindle motors in machining equipment. We discuss principles of operation, primary characteristics and specifics of installing spindle motors in machine tool drives*

### Keywords

*Machine tools, spindle motor, spindle motor water cooling system*

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

---

### References

- [1] Chernyanskiy P.M., ed. *Proektirovanie avtomatizirovannykh stankov i kompleksov*. T. 1 [Designing intelligent machines and automated complexes. Vol. 1]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014. 336 p. (in Russ.)
- [2] Chernyanskiy P.M., ed. *Proektirovanie avtomatizirovannykh stankov i kompleksov*. T. 1 [Designing intelligent machines and automated complexes. Vol. 2]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014. 303 p. (in Russ.)
- [3] Yagopol'skiy A.G. Provision of technological reliability of turning lathes by monitoring of parameters of trajectories of support-group movements. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mechan. Eng.], 2010, no. 2(79), pp. 91–105 (in Russ.).
- [4] Yagopol'skiy A.G., Komkova T.Yu. Features of application of modern electrical drives in rolling mills equipment. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 2, pp. 1–6.  
URL: <https://science-education.ru/article/view?id=20309> (in Russ.).
- [5] Yagopol'skiy A.G., Kropotin N.Yu. Mechatronic complex of diagnostic tests and reliability forecasting of lathes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2016, no. 3(672), pp. 49–55 (in Russ.). DOI: 10.18698/0536-1044-2016-3-49-55
- [6] Korolev E.G., Yudenkov N.P., Arapov A.N. ChPU motor-driven spindles for CNC machines. *Stanki i instrument*, 1986, no. 2, pp. 8–9. (in Russ.).
- [7] Komshin A.S., Syritskiy A.B. measuring and computing exploitation technologies for metal-cutting equipment and tools. *Mir izmereniy*, 2014, no. 12, pp. 3–9. (in Russ.).

**Kropotin N.Yu.** — student, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Pletnev V.A.** — student, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.