

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ ШАГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ: АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Бысов С.А., Малышев Е.Н.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия*

Ключевые слова: шаговый электродвигатель, автоматизация производства, сборочные операции, технологичность конструкции, производственные издержки, гибкость производства, производительность труда.

Аннотация. В статье рассматриваются результаты комплексного исследования проблем автоматизации производства шаговых электродвигателей. Проведен детальный анализ технологических особенностей сборочных операций и их пригодности к автоматизации. Выявлены ключевые ограничения существующих технологий и оборудования. Исследованы конструктивные особенности отдельных узлов и их соответствие требованиям автоматизированной сборки. Сформулированы рекомендации по поэтапному внедрению автоматизации с учетом необходимости минимизации простоев производства.

AUTOMATION OF STEPPER MOTOR ASSEMBLY: ANALYSIS OF DESIGN FEATURES AND TECHNOLOGICAL LIMITATIONS

Bysov S.A., Malyshev E.N.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: stepper motor, automation of production, assembly operations, adaptability of construction, production costs, flexibility of production, labor productivity.

Abstract. The article discusses the results of a comprehensive study of the problems of automation of the production of stepper motors. A detailed analysis of the technological features of assembly operations and their suitability for automation has been carried out. The key limitations of existing technologies and equipment have been identified. The design features of individual components and their compliance with the requirements of automated assembly are investigated. Recommendations are formulated for the phased implementation of automation, taking into account the need to minimize production downtime.

В современных условиях производства ключевым приоритетом предприятий является оптимизация производственных издержек при сохранении высокого качества продукции и заданных объёмов производства. Поскольку механическая обработка деталей в значительной степени рационализирована, особое внимание уделяется совершенствованию процессов сборки изделий.

При производстве шаговых электродвигателей (ШД) до 80-85% трудозатрат приходится на сборочные операции [1]. Внедрение автоматизации позволяет достичь существенного роста эффективности, а именно увеличение производительности на 70-80% по сравнению с механизированной сборкой, рост эффективности в 4-10 раз относительно ручного труда.

Автоматизированная система сборки ШД должна обеспечивать [2]: гибкость по номенклатуре изделий при сохранении конструктивной базы, соответствие заданной производительности, поддержание необходимого качества продукции, высокую надёжность работы, экономическую эффективность внедрения.

На рисунке 1 показана типовая конструкция шагового электродвигателя, элементы которого могут иметь разные размеры в зависимости от требуемых характеристик.

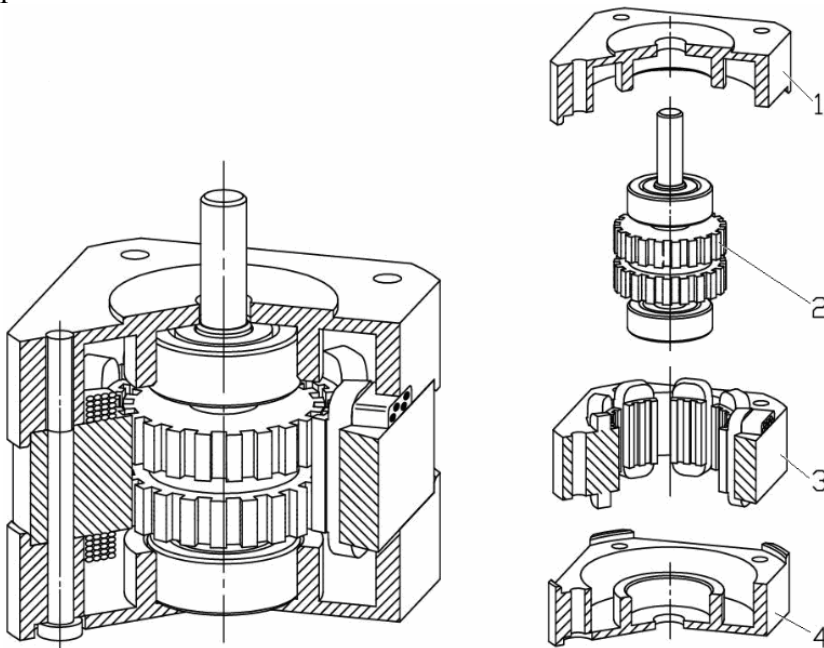


Рис. 1. Шаговый электродвигатель: 1 – крышка верхняя, 2 – ротор, 3 – статор, 4 – крышка нижняя

В процессе сборки можно использовать специализированное оборудование, однако следует учитывать, что каждый из элементов конструкции ШД имеет свои особенности и требует особого подхода при автоматизации процесса сборки.

При автоматизации производства ШД необходимо учитывать следующие технологические особенности [3]: точность позиционирования деталей до 0,01 мм, контроль качества на всех этапах сборки, автоматизация коммутации обмоток, управление гибкими элементами (проводами), синхронизация работы всех узлов.

Основными факторами, затрудняющими автоматизацию, являются: наличие гибких элементов с неопределённой формой связей, сложность автоматизации коммутационных операций, высокие требования к точности сборки, необходимость обеспечения электробезопасности, сложность диагностики качества сборки.

Детальный анализ готовности деталей и узлов ШД к автоматизированной сборке представлен в таблице 1.

Табл. 1. Анализ готовности деталей и узлов шагового электродвигателя к автоматизированной сборке

Детали и узлы	Технологичность конструкции деталей и узлов	Наличие автоматизированного сборочного оборудования	Гибкость оборудования
1. Сборка сердечников ротора			
Листы ротора	Технологична	Есть	Нет
Заклепки	Не технологична		
2. Сборка сердечников ротора с валом			
Сердечники ротора	Технологична	Есть	Да
Магнит	Технологична		
Вал ротора	Технологична		
3. Сборка ротора			
Ротор	Технологична	Есть	Да
Подшипники	Технологична		
4. Сборка статора			
Листы статора	Технологична	Есть	Нет
Корпус статора	Технологична		
5. Установка изоляторов			
Статор	Технологична	Нет	
Изоляторы	Не технологична		
6. Укладка обмоток			
Статор	Не технологична	Есть	Да
Провода обмоток	Не технологична		
7. Распайка проводов			
Провода обмоток	Не технологична	Нет	
Провода выводные	Не технологична		
8. Сборка ШД			
Статор	Технологична	Есть	Да
Ротор	Технологична		
Крышки	Технологична		

По результатам проведённого исследования сформулированы следующие ключевые выводы.

1. В процессе анализа установлено, что определённые сборочные операции, такие как распайка проводов и установка изоляторов, не подлежат автоматизации из-за их технологической сложности. При этом операция укладки обмоток допускает частичную автоматизацию с определёнными ограничениями.

2. Выявлено, что существенная часть конструктивных элементов и узлов не соответствует необходимым параметрам технологичности для автоматизированной сборки. Это требует проведения комплексной конструкторской доработки данных элементов.

3. Проведённая оценка существующего автоматизированного сборочного оборудования показала, что большинство прототипов не обладает требуемым уровнем гибкости. Следовательно, возникает необходимость разработки нового специализированного оборудования для проектируемой автоматизированной линии.

4. Рекомендуется реализовывать процесс разработки и внедрения автоматизированного оборудования поэтапно, начиная с операций, не требующих изменения базовой конструкции соединяемых деталей и узлов шаговых электродвигателей.

Список литературы

1. Емельянов А.В., Шилин А.Н. Шаговые двигатели: учебное пособие. – Волгоград: РПК «Политехник», 2005. – 48 с.
2. Малышев Е.Н., Бысов С.А. Определение эффективности автоматизированной системы сборки шаговых электродвигателей в серийном производстве // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. – №5. – С. 14-18.
3. Качин С.И., Чернышев А.Ю., Качин О.С. Автоматизированный электропривод: учебно-методическое пособие. – Томск: Томский политехнический университет, 2010. – 224 с.

References

1. Yemelyanov A.V., Shilin A.N. Stepper motors: a textbook. – Volgograd: PKK Polytechnic, 2005. – 48 p.
2. Malyshev E.N., Bysov S.A. Determination of the effectiveness of an automated system for assembling stepper motors in mass production // Assembly in mechanical engineering, instrumentation. 2009, no. 5, pp. 14-18.
3. Kachin S.I., Chernyshev A.Y., Kachin O.S. Automated electric drive: an educational and methodical manual. – Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2010. – 224 p.

Бысов Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии»	Bysov Sergey Alexandrovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of «Engineering technology»
Малышев Евгений Николаевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Машиностроительные технологии»	Malyshev Evgeny Nikolaevich – candidate of technical sciences, head of the Department of «Engineering technology»
bysov.s@bmstu.ru	

Received 19.10.2025