

УДК 004

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ И ИХ РАЦИ- ОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР ДЛЯ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИ- СТЕМ

Васильева Е.А., студент гр. ЦСИби-222, IV курс
Научный руководитель: Чичерин И.В., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Введение

Современное машиностроение переживает этап глубокой цифровой трансформации, обусловленной как глобальными технологическими трендами, так и специфическими вызовами, которые стоят перед отечественной промышленностью. В условиях ужесточения международной конкуренции, роста требований к качеству продукции и необходимости импортозамещения всё большее значение приобретают **гибкие производственные системы (ГПС)**, в которых ключевую роль играют **многооперационные станки с ЧПУ**. Такие комплексы позволяют выполнять полный цикл обработки детали — от черновой токарной операции до финишной фрезерной и шлифовальной — минуя переустановку заготовки, что обеспечивает высокую точность, сокращение времени цикла и снижение себестоимости продукции.

Актуальность темы данной работы обусловлена необходимостью системного анализа технологических и конструктивных характеристик многооперационных станков, а также разработки обоснованных критериев их выбора для интеграции в ГПС. Особое внимание уделяется условиям российского машиностроения, где внедрение отечественных и адаптированных решений становится стратегической задачей. Целью работы является комплексное исследование возможностей многооперационных станков, их роли в цифровом производстве и формирование рекомендаций по рациональному выбору оборудования с учетом производственных, экономических и инфраструктурных факторов.

Объектом исследования выступают **многооперационные станки с ЧПУ**, а предметом — их конструктивные особенности, технологические возможности и критерии выбора для ГПС. Методологическую основу составляют анализ научно-технической литературы, сравнительное исследование технических характеристик станков, а также синтез требований, предъявляемых к оборудованию в условиях российской промышленности.

1. Актуальность темы в современных условиях России

На сегодняшний день машиностроительная отрасль России находится на перепутье. С одной стороны, сохраняется зависимость от импортного оборудования: по данным Минпромторга РФ, до 2022 года доля станков западного производства в обрабатывающей промышленности превышала 70%. С другой — санкционное давление и ограничение поставок высокотехнологичного оборудования обострили проблему технологической независимости. В этих условиях развитие собственной станкостроительной базы становится не просто экономической необходимостью, а стратегическим приоритетом.

Особую значимость приобретают многооперационные станки, способные заменить несколько специализированных. Они позволяют сократить производственные площади, уменьшить количество обслуживающего персонала и повысить рентабельность мелкосерийного и серийного производства. В таких отраслях, как авиастроение, оборонная промышленность, приборостроение и производство медицинской техники, где требуются детали сложной формы из труднообрабатываемых материалов (титановые сплавы, жаропрочные стали, композиты), такие станки становятся ключевым элементом цифровой трансформации.

Реализация национального проекта «Производительность труда» и развитие промышленного интернета вещей (IIoT) стимулируют внедрение ГПС, в которых многооперационные станки играют центральную роль. По оценкам аналитиков, к 2030 году в более чем 40% крупных предприятий в России планируется модернизация производства с помощью введения гибких автоматизированных линий. Это делает тему выбора и внедрения многооперационных станков не просто актуальной, а стратегически важной для обеспечения технологической независимости страны.

2. Конструктивные особенности многооперационных станков

Многооперационные станки, известные также как многоцелевые обрабатывающие центры (МЦОЦ), представляют собой сложные технические системы, сочетающие в себе функции токарной и фрезерной обработки. В отличие от традиционных станков, на которых каждая операция выполняется на отдельной установке, МЦОЦ могут реализовать полный цикл обработки в одной рабочей зоне. Достигается это за счёт комплексной конструкции, ключевые элементы которой описаны ниже.

2.1. Комбинированная кинематика

Основной особенностью МЦОЦ является комбинирование функций токарной и фрезерной обработки. Заготовка устанавливается в патрон с ЧПУ, который может вращаться с программным управлением (функция С-оси). Одновременно в станке предусмотрен фрезерный шпиндель, перемещающийся по

осям X, Y, Z. Для обработки сложных поверхностей (например, лопаток турбин, корпусов насосов) используется поворотная головка с осями B (наклон) и Y (поперечное смещение), что обеспечивает доступ инструмента под любым углом.

Такая кинематика позволяет выполнять операции, которые ранее требовали нескольких станков: токарное точение наружных и внутренних диаметров, фрезерование плоскостей, пазов, фасонных поверхностей, зенкование, сверление, нарезание резьбы, шлифование посадочных мест, полирование и финишная обработка.

2.2. Системы автоматизации

Для интеграции в ГПС станки оснащаются следующими системами:

- Автоматическая смена инструмента (АСИ) — с ёмкостью от 30 до 120 позиций, делает возможным использование разнообразного инструмента, исключая участие оператора.
- Система автоматической смены заготовок (АСЗ) — интегрированная с накопителями и роботами, обеспечивает режим работы без участия человека.
- Роботизированный манипулятор — для подачи и выемки деталей, особенно при работе с крупногабаритными и тяжелыми заготовками.

2.3. Повышенная жёсткость и стабильность

Обеспечение высокой точности при длительной работе достигается за счет использования:

- Станины из гранитных композитов или высокопрочного чугуна, обладающие низким коэффициентом теплового расширения.
- Гидростатические направляющие — снижают трение и вибрации.
- Системы термокомпенсации — корректируют геометрические погрешности, возникающие при нагреве шпинделя и других узлов.

Одним из передовых решений является кинематическая схема с параллельными осями или миллинг-тёрн (milling-turning), применяемая в станках DMG MORI, Okuma, EMAG. В таких станках заготовка вращается в патроне, а фрезерный шпиндель может наклоняться на угол до 120° (ось B) и поворачиваться вокруг вертикальной оси (ось C), что обеспечивает обработку деталей с пространственной геометрией.

3. Технологические возможности многооперационных станков

Технологические преимущества МЦОЦ обусловлены их способностью выполнять полный цикл обработки за одну установку заготовки, что позволяет достичь показателей, перечисленных ниже.

3.1. Высокая точность и повторяемость

Отсутствие переустановки заготовки исключает накопление погрешностей. Современные станки способны обеспечить точность обработки до 5–10 мкм, что соответствует требованиям к деталям авиационных двигателей и медицинских имплантов.

3.2. Сокращение времени цикла

По данным исследований, использование МЦОЦ позволяет сократить время обработки на 30–50% по сравнению с классическими схемами. Например, при производстве детали «корпус редуктора» потребуется: токарный станок для обработки наружного диаметра, фрезерный — для выборки пазов, сверлильный — для отверстий, шлифовальный — для посадочных поверхностей. Использование многооперационного станка позволяет все эти операции выполнять последовательно с автоматической сменой инструмента, без снятия заготовки, что исключает накопление погрешностей и сокращает время обработки с 4 часов до 1,5–2 часов. Вместе со временем на транспортировку и контроль, общее сокращение составляет более 50%.

3.3. Снижение брака и контрольных операций

Поскольку все операции выполняются в одной системе координат, сокращается количество измерений и подналадок. Это особенно важно при обработке дорогостоящих материалов, где каждая забракованная единица выпускаемой продукции ведет к значительным потерям.

3.4. Обработка сложных деталей

МЦОЦ способны обрабатывать детали из: титановых сплавов (BT6, BT9, BT22), жаропрочных сталей (ЭИ698, ЭП742), композитов (углепластик, стеклопластик), высокопрочных алюминиевых сплавов (B95, D16).

3.5. Адаптивное управление

Современные станки оснащаются системами адаптивного управления, в которых параметры резания (подача, скорость) корректируются в реальном времени на основе данных с датчиков нагрузки, вибрации и температуры. Это позволяет избежать поломки инструмента, оптимизировать режимы резания, продлить срок службы шпинделя.

4. Рациональный выбор многооперационного станка для ГПС

Выбор станка для интеграции в ГПС должен основываться на комплексной оценке нескольких критериев:

Тип обрабатываемых деталей — габариты, материал, сложность геометрии. Для мелких деталей из алюминия подойдут станки с высокой скоростью, для крупногабаритных стальных — с повышенной мощностью и жесткостью;

Количество и тип осей — минимально необходимы 5 осей (X, Y, Z, B, C), но для авиадеталей могут потребоваться 6–7 осей и дополнительные поворотные столы;

Скорость и точность — определяются в соответствии с требованиями к продукции. Для медицинских имплантов важна точность, для деталей энергетики — производительность;

Совместимость с системой управления ГПС — станок должен поддерживать протоколы MTConnect, OPC UA или PROFINET для интеграции в цифровое производство;

Надёжность и сервисная поддержка — особенно важно для российских условий, где доступ к запчастям и специалистам может быть ограничен;

Стоимость жизненного цикла (ТСО) — включает не только цену станка, но и энергопотребление, износ инструмента, простои, стоимость обслуживания.

5. Перспективы развития и отечественные разработки

В условиях России рациональным выбором становятся станки отечественных производителей, таких как «СтанкоМаш» (Санкт-Петербург), «Красный пресс» (Москва), «Новочеркасский электрозавод», а также проекты, реализуемые совместно с китайскими и турецкими компаниями. Например, станки серии MTX от DMG MORI, производимые в России по лицензии, постепенно внедряются на предприятиях «Ростеха» и «Объединенной авиастроительной корпорации».

Будущее многооперационных станков связано с искусственным интеллектом, предиктивной диагностикой и облачными платформами. Уже сегодня существуют системы, которые анализируют данные с датчиков и прогнозируют износ шпинделя или инструмента за несколько дней до отказа. Внедрение цифровых двойников позволяет моделировать процесс обработки и оптимизировать траектории движения инструмента до запуска реального станка.

В России активно развивается отечественное ПО для ЧПУ, такое как «Нейрон» и «Станкосoft», что снижает зависимость от импортных систем

управления. В перспективе — создание полностью автономных ГПС, где многооперационные станки будут взаимодействовать с роботами-манипуляторами, системами визуального контроля и центрами принятия решений на основе ИИ.

6. Заключение

Многооперационные станки с ЧПУ являются ядром современных гибких производственных систем, обеспечивая высокую производительность, точность и гибкость. В условиях необходимости формирования технологической независимости России их развитие и внедрение приобретают особую важность. Рациональный выбор оборудования, основанный на анализе технологических требований, экономических показателей и возможностей интеграции в цифровую экосистему, позволяет предприятиям выйти на новый уровень конкурентоспособности. Будущее российского машиностроения — за умными, автономными и многофункциональными станками, способными решать самые сложные задачи в условиях отечественного производства.

Список литературы:

1. Кузнецов, В. Д. Современные тенденции развития станкостроения в России / В. Д. Кузнецов, А. С. Петров // Вестник машиностроения. — 2023. — № 5. — С. 12–18.
2. Минпромторг РФ. Стратегия развития станкостроительной промышленности до 2030 года. — М., 2022. — 64 с.
3. Иванов, А. Н. Гибкие производственные системы: учебное пособие / А. Н. Иванов. — М.: Машиностроение, 2021. — 320 с.
4. Технический каталог DMG MORI MTX. — Версия 2024. — URL: <https://en.dmgmori.com/> (дата обращения: 30.03.2026).
5. Национальный проект «Производительность труда». Официальный портал. — URL: <https://национальныепроекты.рф/projects/proizvoditelnost-truda/> (дата обращения: 30.03.2026).
6. Романов, П. Л. Цифровизация промышленности: вызовы и возможности для России / П. Л. Романов // Инновации и инвестиции. — 2023. — № 8. — С. 45–51.
7. ОАО «Ростех». Годовой отчёт за 2025 год. — М., 2026. — 102 с.
8. Сидоров, Е. В. Многооперационные станки: принципы работы и применение / Е. В. Сидоров // Оборудование и технологии. — 2022. — № 11. — С. 23–29.
9. Широков, В. А. Искусственный интеллект в управлении станками с ЧПУ / В. А. Широков // Автоматизация в промышленности. — 2024. — № 3. — С. 34–40.

--