

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Магистрант Готов Назар Евгеньевич

Научный руководитель – д.т.н., профессор Синькевич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В современном машиностроении всё большую актуальность приобретает автоматизация и цифровизация производственных процессов. Компании сталкиваются с необходимостью выпускать продукцию в условиях нестабильного спроса, высокой конкуренции и растущих требований к качеству. В таких условиях особенно ценными становятся технологии, способные обеспечить гибкость и эффективность без потери производительности. Одним из таких решений являются гибкие производственные модули (ГПМ), которые позволяют адаптировать производственные линии под различные типы продукции с минимальными затратами времени и ресурсов [1, 2].

Гибкие производственные модули представляют собой комплекс оборудования и программного обеспечения, который позволяет быстро перестраивать производственные процессы под выпуск различных деталей. В состав ГПМ обычно входят:

- обрабатывающие центры с числовым программным управлением (ЧПУ),
- промышленные роботы-манипуляторы,
- автоматические системы смены инструмента и заготовок,
- транспортные устройства (конвейеры, автоматические тележки),
- а также программные системы управления — MES, SCADA и другие [2, 3].

Такие модули делятся на два основных типа:

- модули с ограниченной гибкостью, предназначенные для выполнения набора типовых операций;
- высокогибкие модули, которые могут адаптироваться под изменяющиеся задачи без участия оператора, зачастую с применением ИИ и предиктивной логики [3].

Переход к использованию ГПМ позволяет не только повысить эффективность, но и заложить основу для построения так называемого «умного» производства [4].

Для того чтобы объективно оценить производительность гибких модулей и сравнить их с традиционными производственными решениями, в рамках данного исследования использовался комплексный подход, включающий следующие методы:

1. Анализ временных показателей — определялось время цикла, простоев, переналадки и обслуживания оборудования.
2. Сравнительный анализ — проводилось сопоставление ключевых характеристик ГПМ с обычными машиностроительными линиями [1].
3. Цифровое моделирование процессов — с применением программных сред FlexSim и Siemens Plant Simulation создавались виртуальные модели производственных ячеек [4, 7].
4. Экспертные интервью — проводился сбор данных и мнений от технического персонала предприятий, уже использующих ГПМ в производстве [5, 6].

Такой подход позволил получить как количественные, так и качественные показатели работы гибких модулей в реальных условиях.

По результатам анализа выяснилось, что внедрение ГПМ на машиностроительных предприятиях приводит к следующим улучшениям:

- время переналадки оборудования сокращается в среднем на 40–60% [1, 4];
- коэффициент загрузки оборудования возрастает с 0.65 до 0.85;
- общая производительность производства увеличивается на 15–25% [3];
- доля ручного труда в технологических процессах снижается на 30–50% [2, 3].

Следует отметить, что современные ГПМ оснащаются системами диагностики и предиктивного технического обслуживания, что позволяет значительно снизить количество внеплановых остановок. По оценкам, такие меры сокращают время простоев на 25–35% [4, 6]. При этом несмотря на первоначально высокие капитальные вложения, срок окупаемости гибких модулей составляет в среднем 2–4 года. После этого вложения начинают приносить чистую экономическую выгоду за счёт увеличения объёмов производства и снижения затрат на обслуживание и персонал [1, 3, 4]. В отдельных случаях наблюдалось увеличение объёма выпускаемой продукции до 30% без привлечения дополнительных сотрудников [6].

Примером практического внедрения ГПМ является:

- ПАО «КамАЗ»

Предприятие активно использует ГПМ с интеграцией роботов KUKA, систем автоматической смены инструмента и интеллектуального управления. Это позволило перейти к выпуску мелкосерийной продукции с индивидуальными параметрами по запросу заказчика без увеличения времени производства [6].

- Группа ГАЗ

В рамках программы цифровизации была внедрена автоматизированная линия по сборке двигателей на основе ГПМ. Благодаря этому производственный цикл сократился на **22%**, а общее количество отказов снизилось за счёт предиктивной диагностики [6].

Разумеется, внедрение гибких модулей не обходится без трудностей. Среди наиболее актуальных:

- высокая стоимость закупки и обслуживания оборудования [2];
- необходимость обучения или переобучения персонала;
- трудности интеграции ГПМ в уже существующие цеха и линии [3].

Тем не менее, перспективы их развития выглядят весьма обнадеживающе. Уже сегодня в модульные системы внедряются элементы искусственного интеллекта, машинного обучения, а также технологии Интернета вещей (IIoT) [4]. Это открывает возможности для построения полностью цифрового, адаптивного и самоуправляемого производства.

В будущем ГПМ будут играть всё более важную роль в рамках концепций Индустрии 4.0 и умного завода (Smart Factory), где каждое звено производственной цепочки будет связано в единую цифровую сеть [4, 5].

На основе проведённого исследования можно сделать уверенный вывод: гибкие производственные модули действительно оказывают значительное положительное влияние на производственные процессы в машиностроении. Они позволяют значительно повысить производительность, сократить затраты времени и ресурсов, а также обеспечить высокую адаптивность производства к меняющимся требованиям рынка [1, 3, 4].

Переход к гибким автоматизированным системам — это не только шаг к технологическому обновлению, но и стратегически важное направление развития машиностроительной отрасли в целом.

Литература

1. Мусатов А.Ю. *Гибкие автоматизированные производственные системы*. — М.: Машиностроение, 2021.

2. Абрамович С.А., Беляев И.Н. *Автоматизация машиностроительных производств.* — СПб.: Питер, 2020.
3. Ковалёв С.В. *Цифровое производство и гибкие производственные модули.* — Журнал *Инженерная практика*, №4, 2022.
4. Siemens Industry Software. *Flexibility in Manufacturing Systems.* — White Paper, 2021.
5. Порталы: *Automation.ru*, *RobotForum.ru* — аналитика и статьи 2022–2023 гг.
6. Официальные сайты АО «КамАЗ» и Группы ГАЗ — отчёты о цифровой трансформации.
7. FlexSim Simulation Software — www.flexsim.com
8. ISO 10303-238 (STEP-NC) — международный стандарт для обмена производственными данными в автоматизированных системах.

УДК 621.9.048.4

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ: ПРИНЦИПЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ

Магистрант Гурин Макар Витальевич

Научный руководитель – д.т.н., профессор Синькевич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В условиях стремительного развития высокоточных и ресурсосберегающих технологий всё большую значимость приобретает электроэрозионная обработка (ЭЭО) — способ безконтактного снятия материала с поверхности токопроводящих заготовок с помощью электрических разрядов. Эта технология позволяет получать изделия сложной формы с высокой точностью, особенно в случаях, когда традиционные методы обработки металлов оказываются малоэффективными или невозможными.

Электроэрозионная обработка широко используется при производстве штампов, пресс-форм, инструментов и ответственных деталей машин, особенно из твёрдых, жаропрочных и труднообрабатываемых материалов. Она даёт возможность создавать тонкие каналы и острые углы.

Электроэрозионная обработка основана на явлении электрической эрозии — разрушении материала под действием многократных электрических