

УДК 62.5+004.896

Гибкая производственная система Denford в МГТУ им. Н.Э. Баумана — экспериментальная площадка проектирования компьютерно-интегрированных производств

Котов Андрей Константинович

kotovak@student.bmstu.ru

Лагута Виктор Степанович

laguta@bmstu.ru

SPIN-код: 7064-2640

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлено описание гибкой производственной системы (ГПС) “Denford”, используемой в МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве экспериментальной площадки и полигона для исследований концепций компьютерно-интегрированных производств. Описаны инженерные особенности комплекса, включая структуру оборудования, робототехнический модуль, транспортно-складскую и систему обеспечения контроля качества. Особое внимание уделено переходу от локальных систем управления к гибридным архитектурам, поддерживающим современные цифровые технологии и промышленную интеграцию. Проанализированы возможности применения экспериментальной площадки для апробации новых решений, а также внедрения интеллектуальных систем управления на базе методов искусственного интеллекта. Обсуждаются перспективы развития и направления совершенствования экспериментальных площадок и полигонов для цифровой трансформации производства.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, гибкая производственная система, экспериментальная площадка, edge — fog — cloud computing, цифровая трансформация

Flexible manufacturing system Denford at BMSTU — an experimental platform for computer-integrated manufacturing design

Kotov Andrey Konstantinovich

kotovak@student.bmstu.ru

Laguta Viktor Stepanovich

laguta@bmstu.ru

SPIN-code: 7064-2640

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The article provides a description of the “Denford” flexible manufacturing system (FMS) utilized at the Bauman Moscow State Technical University as a testbed and proving ground for research into computer-integrated manufacturing concepts. The engineering features of the complex are described, including its equipment structure, robotic module, transport and storage system, and quality assurance system. Particular emphasis is placed on the transition from local control systems to hybrid architectures that support modern digital technologies and industrial integration. The study analyzes the potential applications of the testbed for validating novel solutions and implementing intelligent control systems based on artificial intelligence methods. The prospects for the development and enhancement of such experimental testbeds and proving grounds for the digital transformation of manufacturing are discussed.

Keywords: *Industry 4.0, flexible manufacturing system, experimental platform, testbed, edge — fog — cloud computing, digital transformation*

Введение. Современное производство переживает четвертую промышленную революцию, характеризующуюся интеграцией физических процессов с цифровыми технологиями и переходом к концепции «Индустрия 4.0», предполагающей создание цифровых производств с высоким уровнем автоматизации [1]. В этом контексте актуально создание экспериментальных площадок для исследования концепций и апробации проектных решений компьютерно-интегрированного производства.

МГТУ им. Н.Э. Баумана обладает уникальной экспериментальной базой в виде ГПС компании Denford на кафедре РК9 «Компьютерные системы автоматизации производства» [2]. Система представляет собой учебно-производственный комплекс для изучения принципов функционирования компьютерно-интегрированных производств в условиях, приближенных к промышленным.

Целью работы является исследование архитектуры, технических характеристик и возможностей ГПС Denford как экспериментальной площадки для проектирования компьютерно-интегрированных производств и возможности использования в качестве полигона для моделирования производственных процессов и систем управления.

Материалы и методы. ГПС Denford представляет собой комплексную автоматизированную систему, в состав которой входят обрабатывающие модули, транспортно-складская система и система контроля качества [3]. В состав обрабатывающих модулей входят:

- токарный станок Denford Meteor с рабочей областью X/Z — 120×150 мм, частотой вращения шпинделя до 3500 об/мин, мощностью двигателя 0,75 кВт. Система управления базируется на контроллере ЧПУ Denford с поддержкой ISO G-кодов и интерфейсов RS-232, USB;

- фрезерный станок Denford Triac VMC с рабочей областью X/Y/Z — 280×150×200 мм, частотой вращения до 6000 об/мин, мощностью 1,1 кВт. Контроллер ЧПУ поддерживает интерфейсы RS-232 и Ethernet, магазин инструментов на 6–8 позиций;

- робототехнический комплекс включает промышленный робот с 5 степенями свободы, рабочей зоной 410 мм, грузоподъемностью до 2 кг, точностью позиционирования ±0,02 мм [7].

Система управления с языком программирования поддерживает интерфейсы RS-232, RS-422 и Ethernet.

Транспортно-складская система включает:

- ленточный конвейер длиной 6 м и автоматизированный склад с вместимостью до 48 позиций для заготовок размером до 200×150×50 мм. Конвейер обеспечивает транспортировку со скоростью 0,2 м/с с точностью позиционирования ±1 мм;

- транспортную тележку для перемещения заготовок и готовых изделий. Навигация происходит по магнитной полосе.

Система контроля качества включает измерительное оборудование для автоматической проверки геометрических параметров деталей с возможностью статистического контроля протекающих процессов.

Современные тенденции развития промышленности диктуют необходимость цифровой трансформации производственных систем [4]. Традиционные локальные системы управления демонстрируют ограничения в условиях требований к гибкости и интеллектуализации процессов. Информационная модернизация ГПС открывает возможности для повышения эффективности системы. Внедрение облачных технологий обеспечивает удаленный доступ, что важно при масштабировании систем. Использование аналитических платформ позволяет реализовать предиктивную аналитику и мониторинг в реальном времени. Гибридная архитектура, сочетающая локальные ресурсы с облачными сервисами, обеспечивает баланс между производительностью и безопасностью [6]. Edge-computing решения сохраняют критически важные функции управления локально, обеспечивая расширенную аналитику через облачные платформы [6].

Результаты. В связи с необходимостью модернизации ГПС Denford был реализован комплекс инновационных решений для создания экспериментальной площадки нового поколения. Традиционная система имела ограничения: отсутствие удаленного доступа, устаревшее ПО и жесткую структуру управления. Важным достижением является переход от традиционной централизованной системы управления к распределенной облачной архитектуре.

Разработана облачная система управления производством, основанная на интеграции локальных контроллеров и облачной платформы SAP HANA Cloud [7]. Архитектура использует одноплатные компьютеры, обеспечивающие локальное управление оборудованием и связь с облаком через WebSocket. Программное обеспечение контроллеров реализует автоматический запуск, анализ команд с учетом состояния оборудования и управление через RS-232 и Ethernet. Облачная платформа выполняет функции современной SCADA-системы: мониторинг процессов в реальном времени, сбор и анализ данных, предиктивную аналитику. Система интегрируется с ERP, MES и CAD/CAM приложениями, формируя единое цифровое пространство.

Под руководством проф. Г.Б. Евгенева разработана интеллектуальная система управления ГПС, основанная на методах искусственного интеллекта [8]. Ядром является семантическая база знаний для промышленного интернета вещей. Система формирует технологические маршруты на основе маршрутных карт с информацией о заготовках, операциях, оборудовании и инструментах. Учитываются временные нормативы, загрузка станков и наличие ресурсов для оптимизации производственных циклов.

В рамках исследования возможности использования ГПС Denford в качестве полигона реального производства изделий ракетно-космической техники была предложена многоуровневая система управления на основе концепции edge — fog — cloud computing [9]. Эксперименты показали высокую эффективность интеграции трех уровней управления, позволяющую достичь оптимального соотношения между быстродействием и качеством решений.

Обсуждение полученных результатов. Созданная облачная система управления на базе SAP HANA Cloud Platform продемонстрировала техническую возможность реализации концепции распределенного управления промышленными системами [3]. Ключевые преимущества облачной архитектуры включают снижение капитальных затрат на инфраструктуру, повышение гибкости и масштабируемости системы, обеспечение удаленного доступа к производственным данным.

Экспериментальные данные показывают, что время отклика системы варьируется в зависимости от архитектуры: локальное управление обеспечивает минимальные задержки (0,02–0,04 с), в то время как облачное управление, несмотря на увеличение времени отклика до 0,3–0,7 с, предоставляет расширенные возможности для применения методов машинного обучения и предиктивной аналитики.

Система демонстрирует возможности интеграции технологий промышленного интернета вещей, больших данных и облачных вычислений в единое решение для управления производством.

Несмотря на достигнутые результаты, существуют определенные ограничения и направления для дальнейшего развития. Основными вызовами являются: необходимость значительных инвестиций в разработку и внедрение интеллектуальных систем, сложность интеграции с существующими производственными системами, вопросы безопасности и сохранности информации при обмене.

Заключение. Проведенное исследование подтверждает возможность и перспективность использования ГПС Denford как экспериментальной площадки для проектирования компьютерно-интегрированных производств нового поколения. Система успешно эволюционировала от традиционной производственно-образовательной установки до современной платформы для изучения технологий Индустрии 4.0 и исследования различных режимов управления.

Созданная облачная система управления продемонстрировала жизнеспособность концепции распределенного управления промышленными системами и открыла возможности для создания гибких, масштабируемых производственных систем. Разработанные технологии могут найти применение в реальном промышленном производстве после тестирования и отработки соответствующих решений на полигоне.

Список источников

- [1] Андреев В.В., Бутырина Ю.А., Бутырин В.В. Индустрия 4.0 — революция, требующая технологий и национальных стратегий промышленного развития. *Russian Journal of Management*, 2022, т. 10, № 5, с. 45–61.
- [2] Жаргалова А.Д., Шильников П.С. *Рабочая программа практики. Кафедра РК9 «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Н. Э. Баумана*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023, 38 с.

- [3] Овсянников М.В., Подкопаев В.С., Буханов В.А. Облачная система управления производством в рамках жизненного цикла продукции на основе Интернета вещей. *Экономика и промышленное производство*, 2025, № 2 (110), с. 88–94.
- [4] Лавренко Е.В. Цифровая трансформация промышленности: российский и зарубежный опыт. *Современный анализ науки и образования*, 2022, № 1, с. 46–51.
<https://doi.org/10.24412/2225-8264-2022-1-46-51>
- [5] Тимонин В.А. Принципы и стратегии разработки унифицированной гибридной облачной архитектуры. *Научный электронный журнал «Современные вопросы науки и образования»*, 2024, № 2, с. 43–52.
- [6] *ENTSO-E. Cloud and Edge Computing*. URL: <https://www.entsoe.eu/technopedia/techsheets/cloud-and-edge-computing> (accessed 24.08.2025).
- [7] *SAP S/4HANA Cloud for Manufacturing*. URL: <https://axxis-consulting.com/sap-s-4hana-cloud-for-manufacturing/> (accessed 24.08.2025).
- [8] Евгеньев Г.Б. Интеллектуальная система управления ГПС. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2021, № 1–1 (103), с. 67–74.
<https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.009>
- [9] Kumar R., Agrawal N. Analysis of multi-dimensional Industrial IoT (IIoT) data in Edge — Fog — Cloud based architectural frameworks: A survey on current state and research challenges. *Array*, 2023, vol. 18, art. no. 100224. <https://doi.org/10.1016/j.array.2023.100224>