

УДК 621

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Бородин Д.А., студент гр. МСс-241, I курс, Панюков Д.В., студент гр. МСс-241, I курс

Научный руководитель: Баштанов В.Г., старший преподаватель
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

В условиях жесткой конкуренции и постоянно растущих требований к качеству и эффективности промышленного производства, роль технологического оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) в современной промышленности становится все более значимой. Станки с ЧПУ являются основой для автоматизации производственных процессов, что позволяет значительно повысить производительность, точность и качество выпускаемой продукции. В настоящее время системы ЧПУ и технологии их применения активно развиваются, интегрируя в себя такие инновационные решения, как аддитивные технологии (3D-печать), искусственный интеллект, сенсорные системы и другие передовые разработки.

Понимание перспектив развития систем ЧПУ позволяет предприятиям принимать обоснованные решения о модернизации производства, внедрении новых технологий и подготовке квалифицированных кадров. Данная статья посвящена анализу современных направлений развития систем ЧПУ и их потенциального влияния на будущее промышленности.

Система ЧПУ управляет движением рабочих органов и вспомогательными системами станка с помощью заранее заданной программы, сохраненной в памяти управляющей ЭВМ (контроллера) в цифровом виде. Станки с ЧПУ играют ключевую роль в современной промышленности, обеспечивая высокую точность, снижение уровня брака и автоматизацию процессов обработки материалов.



Рис. 1 Токарный 2х-координатный станок с ЧПУ



Рис. 2 Фрезерный 3х-координатный станок с ЧПУ

Первым направлением развития систем автоматизированного производства является интеграция в промышленность аддитивных технологий (3D-печать). Современная промышленность находится на пороге новой эры, где традиционные методы обработки сочетаются с передовыми технологиями 3D-печати, создавая симбиотическую систему, способную повысить эффективность и расширить возможности производства. Интеграция аддитивных технологий (3D-печати) в процессы, связанные с применением станков с ЧПУ, открывает широкие возможности для оптимизации производства, создания сложных деталей и повышения общей эффективности.



Рис. 3 Общая схема аддитивного производства.

В середине 2000-х годов зародилась концепция, известная как гибридное аддитивное производство (ГАП). Первоначально она была опробована в сварочном производстве, где целью было расширение возможностей лазерной сварки путем добавления электродуги. Однако, в дальнейшем идея эволюционировала: лазер стали использовать в качестве вспомогательного источника энергии в системах PA-DED (Plasma Arc – Directed Energy Deposition) и GMA-DED (Gas Metal Arc – Directed Energy Deposition). Такой подход позволяет улучшить качество сварки.



Рис. 4 Технологическое оборудование для аддитивных технологий (3D-принтер).

Применительно к обработке резанием концепция ГАП предполагает применение аддитивных технологий для расширения возможностей станков с ЧПУ. Оборудование для 3D-печати также управляет системами ЧПУ и легко интегрируется в общую цифровую среду разработки на предприятии.

Современные станки с ЧПУ, особенно многокоординатные (4 и более координат), в сочетании с передовым программным обеспечением CAD/CAM/CAE, открывают возможности для изготовления деталей со сложной геометрией и индивидуальными характеристиками. То, что ранее было невозможным или требовало огромных затрат времени и ресурсов, теперь становится реальностью. Интеграция с аддитивными технологиями расширяет эти возможности еще больше. Можно сначала создать заготовку сложной

формы с помощью 3D-печати с припуском под обработку, а затем довести ее до нужной точности размеров и качества поверхности на ЧПУ станке. Это позволяет создавать детали с оптимальными характеристиками, объединяя преимущества обеих технологий [1,3,5,17,18].

Так же 3D-печать предоставляет уникальные возможности для изготовления оснастки для ЧПУ станков. Это позволяет значительно сократить время разработки, снизить затраты на производство и оптимизировать производственные процессы в целом. Традиционное изготовление оснастки требует времени и значительных затрат, особенно для сложных деталей. 3D-печать позволяет изготавливать оснастку непосредственно на предприятии, быстро и с меньшими затратами, что особенно эффективно в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Вторым направлением развития систем ЧПУ является интеграция искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в технологии механической обработки. Этот симбиоз открывает новые горизонты для автоматизации, оптимизации и адаптации производственных процессов, выводя их на принципиально новый уровень. Современные контроллеры систем ЧПУ представляют собой мощные ЭВМ, которые кроме отработки управляющих программ обработки могут выполнять множество других программ – мониторинг датчиков, внутренние системы CAD/CAM, адаптивные системы ИИ, обмен данными с цифровой средой предприятия и т.п.

Одним из видов в рамках направления ИИ/МО является автоматическая оптимизация параметров обработки (скорости резания, подачи, глубины резания) в реальном времени. Этот подход опирается на данные, получаемые с датчиков, установленных непосредственно на станке или инструменте. Анализируя эти данные, ИИ станка или более высокого уровня способен динамически корректировать параметры обработки, обеспечивая максимальную эффективность, улучшая качество поверхности, продлевая срок службы инструмента и, как следствие, повышая экономичность производства. Дальнейшее развитие этой технологии приведет к её широкому распространению и трансформирует подходы к управлению станками с ЧПУ.

При этом система ИИ/МО открывают новые возможности для адаптивного управления траекториями при движении инструмента в реальном времени, позволяя решать задачи, ранее недоступные для традиционных систем ЧПУ. Например, можно прогнозировать размерный износ инструмента и давать для него динамическую коррекцию траекторий.

Алгоритмы ИИ/МО в режиме реального времени анализируют данные с датчиков, установленных на станке и инструменте, для выявления изменений в условиях обработки. Например, система может обнаруживать участки с повышенной твердостью материала, требующие снижения величины подачи, или предсказывать возникновение резонансов автоколебаний, вызванных износом инструмента, и корректировать траекторию для их предотвращения.

На основе этого анализа, ИИ автоматически корректирует траекторию инструмента в реальном времени, обеспечивая:

- Повышение точности обработки сложных поверхностей.
- Улучшение качества поверхности (снижение шероховатости и дефектов).
- Продление срока службы дорогостоящего инструмента (за счет снижения нагрузок и вибраций).
- Оптимизацию производительности (путем автоматической адаптации параметров обработки к текущим условиям) [2,4,12].

Также возможно применение ИИ или специальных программ высокого уровня для прогнозирования поломок станков с ЧПУ и организации превентивного обслуживания, что позволяет значительно снизить процент брака, особенно в крупносерийном и массовом производстве.

Алгоритмы машинного обучения анализируют данные, поступающие с датчиков, выявляя признаки износа, перегрева или неправильной работы компонентов. На основе этого анализа, ИИ генерирует прогнозы о вероятности поломок и рекомендует оптимальные сроки проведения технического обслуживания. Такой подход минимизирует время простоя, сокращает затраты на ремонт и обеспечивает бесперебойную работу оборудования.

Третьим направлением развития ЧПУ является применение облачных технологий. С помощью сетей для передачи данных станки с ЧПУ, рабочие ПЭВМ инженеров, промышленные роботы и вспомогательные системы могут быть связаны в единую цифровую среду, для хранения и общего доступа к информации. Основой облака является специальная ЭВМ (сервер), имеющая соответствующее программное обеспечение. В цифровой среде могут работать специальные программы, имеющие доступ к данным, поступающим со станков – ИИ высокого уровня, системы мониторинга, автоматического рабочее место оператора для поточного производства и др.

Рассмотрим сенсорные системы и мониторинг оборудования в цифровой среде. Современное производство стремится к максимальной эффективности, точности и надежности станков. Ключевую роль в этом играет развитие сенсорных технологий и мониторинга процессов обработки, которые предоставляют ценную информацию для оптимизации и контроля. Интеграция различных датчиков в станки и оборудование позволяет собирать данные о множестве критически важных параметров. Температура, вибрация, сила резания, давление, акустическая эмиссия и геометрические размеры заготовки – все эти данные передаются в системы аналитики.

Собранные данные обрабатываются с использованием передовых статистических методов, алгоритмов МО и других инструментов. Это позволяет получить глубокое понимание производственных операций, выявлять скрытые закономерности и оптимизировать процессы в реальном времени. Искусственный интеллект и машинное обучение в этой сфере демонстрируют огромный потенциал. Алгоритмы МО анализируют огромные объемы данных о материалах, технологиях, конструкциях и программах ЧПУ, чтобы автоматически генерировать и оптимизировать геометрию деталей, а также разраба-

тывать эффективные программы, учитывающие множество факторов, таких как прочность, вес, стоимость и технологические ограничения.

Также развитие сенсорных технологий и мониторинга процессов обработки открывает широкие возможности для дистанционного мониторинга состояния оборудования и процессов обработки. Датчики, подключенные к сети, позволяют специалистам в режиме реального времени с одного рабочего места отслеживать ключевые параметры работы станков, производственных линий и другого оборудования, находясь в любой точке мира [13,14,16].

Четвертым направлением развития станков с ЧПУ является усложнение их конструкции, внедрение дополнительных рабочих органов с увеличением числа контролируемых системой ЧПУ координат. В современном производстве, где сложность и точность становятся все более востребованными, ключевую роль играют многокоординатные станки и технологии обработки сложных поверхностей. Эти передовые системы открывают новые горизонты для создания деталей с замысловатой геометрией, что раньше было невозможно или требовало огромных затрат времени и ресурсов.

Увеличение количества координат (4 и более) существенно расширяет возможности обработки сложных деталей. Многокоординатные станки позволяют выполнять сложные операции обработки за один установку заготовки, сокращая время производства, повышают точность и обеспечивают возможность создания деталей со сложной формой поверхностей, которые невозможно изготовить на традиционных станках. Это особенно важно для аэрокосмической, автомобильной, медицинской и энергетической промышленности.

Развитие многокоординатных станков неразрывно связано с разработкой новых алгоритмов и методов обработки. Эти алгоритмы позволяют эффективно использовать возможности многоосевых станков для создания деталей с криволинейными поверхностями, сложными геометрическими формами и высокими требованиями к точности и качеству поверхности [9,10]. Также развиваются программные комплексы CAD/CAM для подготовки управляющих программ для систем ЧПУ многокоординатных станков.

Развитие технологий ЧПУ в будущем производстве продолжает оказывать революционное влияние на производственную сферу, и это влияние будет только расти. От повышения производительности и качества продукции до обеспечения гибкости и адаптивности, ЧПУ является ключевым фактором, формирующим производство в эпоху цифровой трансформации.

Исторически, ЧПУ значительно сократило время обработки по сравнению с ручным методом управления. Однако, будущее обещает еще большую оптимизацию. Развитие идет по пути создания более быстрых станков, применения алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) для оптимизации траекторий движения инструмента и автоматической смены инструмента, что существенно сократит время простоя.

Снижение затрат на материалы и энергию также является важным аспектом. Более точная обработка, обеспечиваемая ЧПУ, снижает отходы мате-

риалов. В перспективе, моделирование и оптимизация использования материалов, применение энергоэффективного оборудования и рециркуляция охлаждающих жидкостей будут играть ключевую роль в дальнейшем снижении затрат и повышении экологичности производства.

Автоматизация процессов – еще один основа для повышения производительности обработки. В будущем, полная автоматизация производственных линий с использованием роботов-манипуляторов, автоматическая загрузка и выгрузка деталей, а также автоматический контроль качества станут нормой.

Системы ЧПУ уже сейчас обеспечивает высокую точность и повторяемость операций, но будущее обещает еще более впечатляющие результаты. Развитие улучшенных датчиков и систем обратной связи, создание самокорректирующихся станков и применение ИИ/МО для оптимизации траекторий инструмента и компенсации отклонений выведут качество на принципиально новый уровень.

В динамичном мире современного производства гибкость и адаптивность являются критически важными. ЧПУ станки позволяют быстрее переналивать оборудование по сравнению с традиционными методами. В перспективе, автоматическая переналадка с использованием роботов и применение виртуальной реальности для моделирования и оптимизации процессов переналадки еще больше сократят время простоя. ЧПУ также позволяет экономически эффективно производить небольшие партии изделий с индивидуальными характеристиками. Будущее видится в возможности массовой кастомизации продукции с использованием цифровых моделей и аддитивных технологий, что позволит удовлетворять индивидуальные потребности потребителей.

Технологии числового программного управления давно вышли за рамки простой автоматизированной обработки. Сегодня это – краеугольный камень современного производства, определяющий его эффективность, гибкость и способность к инновациям. Однако, как и любая революционная технология, развитие ЧПУ сопряжено с рядом вызовов, требующих осмысленных решений для реализации всего потенциала.

Самые передовые станки ЧПУ и автоматизированные системы бесполезны без квалифицированного персонала. Современное производство испытывает острый дефицит специалистов, обладающих знаниями в программировании систем ЧПУ, мехатронике, автоматизации, информационных технологиях и материаловедении. Этот «кадровый голод» способен сдерживать внедрение инноваций и снижать общую эффективность.

Решение данной проблемы заключается в необходимости развития всеобъемлющей стратегии, включающей разработку практико-ориентированных образовательных программ, налаживание партнерских связей между учебными заведениями и предприятиями для стажировок, повышение квалификации действующих специалистов и создание системы непрерывного обучения. Ключевым является понимание, что инвестиции в кадры – это инвестиции в будущее.

Современные станки с ЧПУ, особенно обрабатывающие комплексы и интегрированные системы, требуют значительных капиталовложений. Высокая стоимость оборудования может стать серьезным препятствием, особенно для малых и средних предприятий (МСП). Решение данной проблемы заключается в необходимо создание государственных программ поддержки и льготного кредитования, развитие рынка поддержанного, но модернизированного оборудования, лизинг и аренда с возможностью выкупа. Рассмотрение возможности кластерного сотрудничества и совместного использования оборудования также может стать эффективным выходом.

Современный рынок требует от производителей высокой скорости реакции и гибкости. Быстрая перестройка производства, освоение новых продуктов и материалов, удовлетворение индивидуальных потребностей клиентов – все это становится необходимым условием конкурентоспособности. Одно из решений данной проблемы – внедрение гибких производственных систем (ГПС) и модульных производственных линий, развитие компетенций в быстром прототипировании и аддитивных технологиях, использование облачных технологий. [6,7,11,15].

В заключение, все рассмотренные выше направления развития автоматизированного производства (интеграция 3D-печати, ИИ, МО, сенсорные системы, облачная цифровая среда, многокоординатные станки с ЧПУ) в странах-флагманах промышленного производства объединяют в единую стратегию «Индустрия 4.0».

Список литературы:

1. А. А. Джуган, А. В. Овчинников, В. Е. Ольшанецкий АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ (обзор) // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2014. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivnye-tehnologii-i-vozmozhnosti-ih-primeneniya-v-sovremennyh-usloviyah-obzor> (дата обращения: 17.03.2025).
2. Акинцева Александра Викторовна, Переверзев Павел Петрович ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЛЯ НЕСТАБИЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПАРТИИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2022. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-iskusstvennogo-intellekta-v-zadachah-optimizatsii-rezhimov-rezaniya-i-prognozirovaniya-tochnosti-obrabotki-dlya> (дата обращения: 19.03.2025).
3. Балыкин А. В., Олейник М. А., Злобин Е. П., Скуратов Д. Л. ОБЗОР ГИБРИДНОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2022. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-gibridnogo-additivnogo-proizvodstva-metallicheskikh-detaley> (дата обращения: 17.03.2025).

4. Бевзенко С. А. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ // Инновации и инвестиции. 2023. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-iskusstvennogo-intellekta-i-mashinnogo-obucheniya-v-razrabetke-programmnogo-obespecheniya> (дата обращения: 19.03.2025).
5. Буркова Т. А., Перельгина А. А. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D ПЕЧАТИ В МАШИНОСТРОЕНИИ // Мировая наука. 2018. №11 (20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-3d-pechatи-v-mashinostroenii> (дата обращения: 19.03.2025).
6. В В. Савицкий Пути повышения эффективности использования станков с ЧПУ в обрабатывающем производстве // Материалы и технологии. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-povysheniya-effektivnosti-ispolzovaniya-stankov-s-chpu-v-obrabatyvayuschem-proizvodstve> (дата обращения: 26.03.2025).
7. Дмитриева С. В. УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ: ОПТИМИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ // Инновации и инвестиции. 2023. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-proizvodstvennymi-protsessami-v-promyshlennom-komplekse-optimizatsiya-avtomatizatsiya-i-povyshenie-effektivnosti> (дата обращения: 26.03.2025).
8. Кабалдин Ю. Г., Шатагин Д. А., Аносов М. С., Кузьмишина А. М. Интеллектуальное управление технологическими системами в условиях цифрового производства // Известия вузов. Машиностроение. 2020. №1 (718). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnoe-upravlenie-tehnologicheskimi-sistemami-v-usloviyah-tsifrovogo-proizvodstva> (дата обращения: 25.03.2025).
9. Лукина С. В., Иванников С. Н., Крутякова М. В., Манаенков И. В. Технологический синтез мехатронных станочных систем для многоосевой обработки // Известия МГТУ. 2013. №1 (15). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskiy-sintez-mehatronnyh-stanochnyh-sistem-dlya-mnogoosevoy-obrabotki> (дата обращения: 26.03.2025).
10. Лукина С. В., Иванников С. Н., Манаенков И. В. Повышение эффективности многокоординатной обработки путем оптимизации компоновки многоосевой станочной системы // Известия МГТУ. 2014. №2 (20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-mnogokoordinatnoy-obrabotki-putem-optimizatsii-komponovki-mnogoosevoy-stanochnoy-sistemy> (дата обращения: 26.03.2025).
11. Лукина С. В., Манаенков И. В. Повышение эффективности многокоординатного фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ // Известия МГТУ. 2012. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-mnogokoordinatnogo-frezerovaniya-prostranstvenno-slozhnyh-poverhnostey-na-stankah-s-chpu> (дата обращения: 26.03.2025).

12. Мальцев Д. Б., Барабанова Е. А. Использование нейронных сетей для повышения эффективности управления станками с числовым программным управлением // Научный результат. Информационные технологии. 2016. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-neyronnyh-setey-dlya-povysheniya-effektivnosti-upravleniya-stankami-s-chislovym-programmnym-upravleniem> (дата обращения: 19.03.2025).
13. Менлиева А., Халлыева Л., Халлыева М. РАЗВИТИЕ СЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ // Вестник науки. 2024. №11 (80). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-sensornyh-tehnologiy-dlya-monitoringa-i-upravleniya-v-promyshlennosti> (дата обращения: 22.03.2025).
14. Пирлиев К., Чарыев М., Бегназаров Б. ПРИМЕНЕНИЕ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ // Вестник науки. 2024. №11 (80). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-sensornyh-sistem-v-avtomatizirovannyh-proizvodstvennyh-protsessah> (дата обращения: 22.03.2025).
15. Сидорчик Елена Владимировна Повышение производительности работы станков с числовым программным управлением и точности обработки деталей // Вестник евразийской науки. 2013. №4 (17). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-proizvoditelnosti-raboty-stankov-s-chislovym-programmnym-upravleniem-i-tochnosti-obrabortki-detaley> (дата обращения: 26.03.2025).
16. Сурков Олег Станиславович, Кондратьев Александр Игоревич, Федоров Дмитрий Геннадьевич, Якунишин Константин Владимирович Современные возможности штатных мониторинговых систем станков с ЧПУ // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. №4-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-vozmozhnosti-shtatnyh-monitoringovyh-sistem-stankov-s-chpu> (дата обращения: 22.03.2025).
17. Узбеков Руслан Шавкяевич, Челноков Виталий Вячеславович, Аверина Юлия Михайловна ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ CAD/CAM/CAE В АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ 3D–ПЕЧАТИ // Наука, техника и образование. 2023. №4 (92). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-sistem-cad-cam-cae-v-additivnoy-tehnologii-3d-pechatи> (дата обращения: 17.03.2025).
18. Хлыстов Е. О., Исаев А. В. ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ // Вестник науки. 2024. №6 (75). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-additivnyh-tehnologiy-v-instrumentalnom-proizvodstve-1> (дата обращения: 17.03.2025).