

DOI 10.37539/2949-1991.2026.38.3.016
УДК 681.5

Михайлов Рафаэль Владимирович, студент,
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический
институт (государственный технологический университет)»
Mikhailov Rafael Vladimirovich, student,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher
Education «North Caucasus Mining and Metallurgical Institute
(State Technological University)»

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ
AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESSES
USING MICROCONTROLLERS**

Аннотация. Статья посвящена применению микроконтроллеров (Arduino, STM32, ESP32) для автоматизации производственных процессов. Анализируются их преимущества перед промышленными контроллерами: доступная цена, встроенная периферия, простота разработки. Рассмотрены примеры систем управления температурой (с PID-регулированием) и скоростью двигателей, а также удалённого мониторинга через беспроводные каналы. Описаны меры по повышению помехозащищённости и надёжности. Показана экономическая эффективность: затраты в 6-8 раз ниже по сравнению с решениями на базе ПЛК.

Abstract. The article is devoted to the application of microcontrollers (Arduino, STM32, ESP32) for automation of production processes. Its advantages over industrial controllers are analyzed: affordable price, built-in periphery, ease of development. Examples of temperature control systems (with PID control) and motor speed control, as well as remote monitoring via wireless channels, are considered. Measures to increase noise immunity and reliability are described. Economic efficiency is shown: costs are 6-8 times lower compared to PLC-based solutions

Ключевые слова: Автоматизация, производственные процессы, микроконтроллер, система управления, АСУ ТП, технологический процесс.

Keywords: Automation, production processes, microcontroller, control system, ACS TP, technological process.

Современное производство сталкивается с необходимостью повышения эффективности, снижения влияния человеческого фактора и быстрого реагирования на отклонения параметров. Автоматизированные системы управления технологическими процессами успешно решают эти задачи, однако классические промышленные программируемые логические контроллеры (ПЛК) часто оказываются слишком дорогими и избыточными для небольших предприятий, лабораторий и экспериментальных установок. Промышленные контроллеры требуют специализированных сред программирования, имеют закрытую архитектуру, а их стоимость даже для простых задач начинается от 15-20 тысяч рублей. В этих условиях микроконтроллеры становятся привлекательной альтернативой.

Они отличаются низкой ценой (от нескольких сотен рублей за плату), богатым набором встроенных модулей: аналого-цифровые преобразователи, широтно-импульсные модуляторы (ШИМ), последовательные интерфейсы UART, I2C, SPI, многофункциональные таймеры. Важным преимуществом является возможность программирования на языках высокого уровня (C, C++, MicroPython) и широкая поддержка беспроводной связи.



Популярные платформы, такие как Arduino, STM32 и ESP32, уже давно используются не только в образовательных целях, но и в реальных производственных задачах. Семейство Arduino на базе 8-битных микроконтроллеров AVR отличается предельной простотой разработки и огромным сообществом, что позволяет быстро создавать работающие прототипы систем управления. Более производительные 32-битные контроллеры STM32 являются индустриальным стандартом для задач, требующих высокой точности измерений и сложной обработки сигналов в реальном времени. Особого внимания заслуживает платформа ESP32, которая благодаря встроенным модулям Wi-Fi и Bluetooth стала идеальным решением для построения распределённых систем мониторинга в концепции Интернета вещей. Их применение позволяет создавать системы автоматического регулирования температуры, давления, уровня жидкости, скорости конвейеров, дозирования компонентов и мониторинга состояния оборудования. Важным преимуществом является быстрая разработка прототипов и низкая стоимость доработки под конкретные нужды производства.

При реализации системы управления температурой в сушильной или нагревательной установке микроконтроллер считывает показания датчика (например, цифрового DS18B20 с интерфейсом 1-Wire или аналоговой термопары через усилитель MAX6675), обрабатывает сигнал по выбранному закону регулирования и управляет исполнительным устройством – электромеханическим реле, симистором или твердотельным реле. Для повышения точности часто применяется алгоритм PID-регулирования (пропорционально-интегрально-дифференциального), который обеспечивает минимальное отклонение от заданного значения даже при изменении внешних условий. Пропорциональная составляющая реагирует на текущую ошибку, интегральная устраняет статическую ошибку, накапливая её во времени, а дифференциальная демпфирует резкие изменения, предотвращая перерегулирование. Настройка коэффициентов PID может выполняться методом Циглера–Николса или эмпирически. При использовании твёрдотельного реле в качестве исполнительного устройства, управляемого логическим уровнем с выхода микроконтроллера, такие системы демонстрируют стабильность поддержания температуры в пределах $\pm 1-2$ °C в диапазоне от 20 до 200 °C, что вполне достаточно для многих технологических операций.

Аналогичный подход применяется для регулирования скорости электродвигателей в конвейерных линиях или насосных установках. Микроконтроллер генерирует сигнал ШИМ, который через драйвер (например, на базе транзисторного моста L298N или BTS7960) управляет мощностью двигателя, а обратная связь по скорости или положению поступает от энкодера, тахогенератора или ультразвукового датчика расстояния. Инкрементальный энкодер выдает импульсы, пропорциональные углу поворота вала; подсчитывая их за единицу времени, микроконтроллер вычисляет текущую скорость и, при необходимости, корректирует скважность ШИМ с помощью PID-регулятора. Это позволяет поддерживать постоянную производительность линии независимо от нагрузки и автоматически останавливать механизм при возникновении аварийных ситуаций, таких как заклинивание или обрыв.

Дополнительные возможности открывает интеграция беспроводных модулей. Микроконтроллеры с Wi-Fi (например, на базе ESP32) отправляют данные в облачный сервис, Telegram-бот или мобильное приложение, что даёт возможность оператору удалённо наблюдать за процессом и вносить корректировки без присутствия на объекте. Для обмена данными в таких системах часто используется протокол MQTT - лёгкий и надёжный протокол для среды Интернета вещей, работающий поверх TCP/IP. Данные публикуются в MQTT-брокере, откуда их могут получать подписанные клиенты: SCADA-системы, базы данных, веб-интерфейсы или специализированные IoT-платформы типа ThingsBoard. Такая функциональность особенно полезна на удалённых или труднодоступных производствах, где оперативный выезд персонала затруднён. Более того, накопление исторических данных о



работе оборудования (ток двигателя, вибрация, температура узлов) позволяет реализовать элементы предиктивного обслуживания - выявляя тренды, можно прогнозировать выход из строя подшипников или других элементов и планировать их замену до возникновения аварии.

Несмотря на очевидные плюсы, при использовании микроконтроллеров в промышленных условиях необходимо учитывать ряд особенностей. Производственная среда характеризуется наличием электромагнитных помех, колебаний питающего напряжения, пыли и влаги. Поэтому входы и выходы следует защищать от помех и перенапряжений. Для входных цепей применяется гальваническая развязка (оптроны, изолированные интерфейсы RS-485), защитные элементы – варисторы и супрессоры для ограничения импульсных перенапряжений, стабилитроны для ограничения входного напряжения, а также RC-фильтры для подавления высокочастотных помех. Выходные цепи, управляющие индуктивной нагрузкой (обмотки реле, контакторов, двигателей), необходимо защищать от обратных ЭДС с помощью демпфирующих диодов для постоянного тока или снабберных RC-цепочек для переменного тока. Корпус устройства должен обеспечивать защиту от пыли и влаги по требуемому классу IP - например, IP54 для установки в цехах или IP65 для условий повышенной влажности. Для критически важных процессов рекомендуется дублирование каналов связи и питания, а также аппаратный сторожевой таймер (watchdog), который перезагрузит микроконтроллер в случае программного зависания. При правильной реализации этих мер надёжность системы приближается к уровню промышленных контроллеров начального и среднего уровня, но при существенно меньших затратах.

Экономическая эффективность применения микроконтроллеров является их главным козырем. Для оценки рассмотрим систему автоматического регулирования температуры в сушильном шкафу. Решение на базе микроконтроллера включает плату ESP32 (600 руб.), цифровой датчик DS18B20 в герметичном исполнении (200 руб.), твердотельное реле SSR-25DA с радиатором (500 руб.), промышленный блок питания 5В/2А (400 руб.) и корпус IP54 с клеммниками (500 руб.). Итого затраты составляют около 2200 рублей. Аналогичное решение на базе минимального промышленного ПЛК (например, ОВЕН ПЛК100) обойдётся минимум в 9500 рублей, к которому потребуется модуль вывода (около 3500 руб.), датчик с унифицированным выходом 4-20 мА (2500 руб.), блок питания 24В (1500 руб.) и корпус (1000 руб.). Суммарные затраты превысят 18 000 рублей. Таким образом, даже без учёта стоимости лицензионного программного обеспечения, выигрыш в капитальных затратах составляет 6-8 раз, а функциональность, благодаря встроенным беспроводным интерфейсам, может быть даже шире.

Проведённый анализ показывает, что микроконтроллеры представляют собой эффективное и доступное средство автоматизации производственных процессов. Их внедрение позволяет малым и средним предприятиям повысить производительность и качество продукции без значительных капитальных вложений. При этом важно понимать границы применимости: для ответственных систем, связанных с риском для жизни или требующих обязательной сертификации, традиционные ПЛК остаются безальтернативными. Однако для широкого круга технологических задач микроконтроллерные решения являются оптимальным выбором. Дальнейшее развитие направления связано с переходом к концепции «Индустрия 4.0», где микроконтроллеры интегрируются в единую сеть с датчиками, облачными платформами и системами искусственного интеллекта для предиктивного обслуживания и оптимизации процессов в реальном времени, а также с постепенным переходом на отечественную элементную базу (например, микроконтроллеры Миландр или Элвис) в рамках политики импортозамещения.

Список литературы:

1. Гальперин М. В. Автоматика и автоматизация производственных процессов : учебник. Москва : ИНФРА-М, 2024. 484 с.



2. Закожурников С. С. Автоматизированные системы управления. Микроконтроллеры : учебное пособие. Москва : МИРЭА, 2023. 112 с.
3. Редькин П. П. Микроконтроллеры ARM и Arduino: введение в проектирование. Москва : ДМК Пресс, 2023. 450 с.
4. Денисенко В. В. PID-регуляторы: теория и реализация на микроконтроллерах. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Горячая линия – Телеком, 2024. 368 с.
5. Белов А. В. Микроконтроллеры Atmel AVR и Arduino: программирование и создание устройств. Санкт-Петербург : Наука и техника, 2023. 352 с.

