

CYBERSECURITY OF INDUSTRIAL AUTOMATED CONTROL SYSTEMS IN THE DIGITALIZATION OF PRODUCTION (INDUSTRY 4.0): THREATS, VULNERABILITIES, AND RISK ASSESSMENT METHODOLOGIES

A.G. Butorina

Abstract. *This article analyzes the information security issues of industrial automated control systems in the context of industrial digitalization and the implementation of the Industry 4.0 concept. Key threats and vulnerabilities arising from the integration of information and operational technologies are considered. Special attention is paid to risk assessment methodologies and the IEC 62443 standard as a basis for building secure automation architectures. The need for an integrated approach to ensuring cybersecurity of industrial systems is substantiated.*

Keywords: *industrial automation systems, information security, Industry 4.0, cybersecurity, IT/OT convergence, risk assessment, IEC 62443, industrial Internet of Things.*

Об авторе:

БУТОРИНА Анна Георгиевна – магистр, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург. E-mail: Butorina.Anna@urfu.me

About the author:

BUTORINA Anna Georgievna – Master's Student, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg. E-mail: Butorina.Anna@urfu.me

УДК 004

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ В БЫТОВОЙ ТЕХНИКЕ

А.М. Минбаев

© Минбаев А.М., 2026

Аннотация. *В статье проведен комплексный анализ применения микроконтроллеров в бытовом сегменте. Рассмотрена эволюция архитектур микроконтроллеров от простейших 8-битных ядер до современных 32-битных систем на кристалле с интегрированными беспроводными интерфейсами. Детально систематизированы ключевые места их использования: крупная и мелкая бытовая техника (стиральные машины, холодильники, кухонные приборы), система домашней*

автоматизации («умный дом») и мультимедийные устройства. Сделан вывод о том, что микроконтроллеры являются технологическим фундаментом современной интеллектуальной бытовой среды, а их дальнейшее развитие направлено на создание полностью связанных, адаптивных и автономных экосистем домашних устройств.

Ключевые слова: микроконтроллер, бытовая техника, «умный дом», Internet of Things (IoT), встраиваемые системы, периферийные устройства, ARM Cortex, энергоэффективность, домашняя автоматизация, сенсоры, актуаторы.

Микроконтроллер (МК) – это однокристальный компьютер, содержащий на одном чипе процессорное ядро, память (программную и данных) и периферийные устройства [1]. Его ключевые особенности – низкая стоимость, малое энергопотребление, компактные размеры и высокая степень интеграции. Эти характеристики предопределили массовое проникновение МК практически во все сферы человеческой деятельности, включая самый обширный и чувствительный к цене сегмент – бытовой [2].

Бытовая техника перестала быть просто электромеханическим устройством. Сегодня это, как правило, «умные» системы, способные к автономной работе, адаптации, взаимодействию с пользователем и другими устройствами. Данная статья ставит целью систематизировать и проанализировать области, способы и тенденции применения микроконтроллеров в бытовом сегменте, а также оценить их влияние на повседневную жизнь и развитие технологий.

1. Эволюция и архитектурные особенности бытовых микроконтроллеров.

Первое массовое применение МК в быту началось с простейших 4- и 8-битных архитектур (например, Intel 8048, Motorola MC6805) в таких устройствах, как стиральные машины и телевизоры, где они заменяли логические схемы на реле и таймерах [3].

Современный бытовой МК – это чаще всего 8-битное (реже 16- или 32-битное) ядро с широкой тактовой частотой. Его ключевые компоненты:

центральный процессор (ЦПУ): популярные архитектуры (AVR (Atmel, ныне Microchip), PIC (Microchip), 8051, ARM Cortex-M (особенно M0 и M3)). ARM-архитектуры становятся стандартом для более сложных устройств;

память: флеш-память программ (от 1 КБ до 512 КБ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) (от 32 байт до 64 КБ) и часто EEPROM для хранения пользовательских данных;

периферия: внешние устройства, которые подключаются к системному блоку и расширяют его возможности. Именно богатство периферии определяет выбор МК для бытовой задачи:

1) цифровые порты ввода/вывода (GPIO): управление кнопками, светодиодами, реле, симисторами;

2) аналого-цифровые преобразователи (АЦП): обработка сигналов с датчиков температуры, влажности, освещенности, газа, тока;

3) ШИМ-контроллеры (PWM): плавное управление скоростью моторов (вентиляторов, кухонных комбайнов), яркостью светодиодной подсветки;

4) таймеры/счетчики: измерение временных интервалов, генерация временных задержек, подсчет импульсов (например, от энкодера);

5) интерфейсы связи: взаимодействие между двумя или более устройствами при обмене информацией. UART/USART (обмен с компьютером или другим МК), I²C и SPI (подключение датчиков, экранов, карт памяти), а в современных устройствах – USB, Ethernet, Wi-Fi и Bluetooth-стеки (часто в виде отдельного чипа или встроенного модуля).

Развитие идет по пути увеличения вычислительной мощности при сохранении низкой цены, снижения энергопотребления (режимы сна, энергосбережения) и роста уровня интеграции (системы на кристалле – SoC).

2. Ключевые области применения в бытовой технике (таблица).

Сравнение типов МК
для различных классов бытовой техники

Критерий / класс устройства	Простая мелкая техника (электро- чайник, триммер)	Сложная встраиваемая техника (сти- ральная машина, кофемашина)	Устройства «умного дома» и IoT (датчик, умная розетка)
1	2	3	4
Типичное ядро МК	8-битное (PIC, AVR, 8051)	16- или 32-битное (ARM Cortex-M0, M3)	32-битное с RF-модулем (ESP32, ARM Cortex-M4)
Объем памяти (Флеш / ОЗУ)	1–8 Кб / 64–256 байт	64–256 Кб / 8–32 Кб	4–16 Мб (внешняя) / 512+ Кб
Основная функция МК	Дискретное управление (Вкл/Выкл) по таймеру или датчику	Управление комплексным циклом, обработка данных с датчиков, интерактивный интерфейс	Сбор данных, сетевое взаимодействие, выполнение сценариев

1	2	3	4
Пример периферии	GPIO, таймер, WDT	АЦП (10–12 бит), ШИМ, LCD1-контроллер, USB	Цифровые интерфейсы (I ² C, SPI), крипто-графический сопроцессор, радиомодуль

2.1. Крупная бытовая техника.

Стиральные и посудомоечные машины: МК управляет всем циклом; опрашивает датчики температуры, уровня воды, мутности; управляет клапанами подачи воды, ТЭНом (трубчатый электронагревателем), двигателем барабана (регулируя скорость и направление), насосом слива; реализует десятки программ, диагностику неисправностей, отложенный старт.

Холодильники и климатическая техника: МК поддерживает заданную температуру, управляет компрессором (с плавным пуском), вентиляторами, заслонками. В современных моделях сочетаются управление через Wi-Fi, анализ режимов использования, сигнализация о закрытой/открытой двери.

Кухонные плиты и духовые шкафы: МК контролирует температуру с точностью до градуса, следит за таймерами, включает различные режимы нагрева (гриль, конвекция, комбинированные), защищает от перегрева, производит блокировку от детей.

2.2. Мелкая бытовая техника.

Здесь требования к цене и размеру МК наиболее жесткие.

Кухонные приборы: блендеры, мультиварки, кофемашины, электро-чайники. Микроконтроллер обеспечивает поддержание температуры, автоматическое отключение, предустановленные режимы (например, «йогурт» в мультиварке при 40 °C).

Персональные приборы: электробритвы, эпиляторы, электрические зубные щетки. Микроконтроллеры часто отвечают за управление вибрационным мотором, таймеры, индикацию заряда.

Системы климат-контроля: умные термостаты, увлажнители и очистители воздуха. Микроконтроллер обрабатывает информацию с датчиков, поддерживает заданный микроклимат, может обучаться и адаптироваться.

2.3. Система «умный дом» (Home Automation).

Это наиболее динамично развивающаяся область, где МК выступает «мозгом» конечных устройств (актуаторов и сенсоров).

Управление освещением: димеры, датчики движения/освещенности, RGB-ленты. Микроконтроллер плавно регулирует яркость и цвет по расписанию или сценариям.

Безопасность: датчики открытия дверей/окон, протечки воды, дыма, угарного газа. Микроконтроллер формирует сигнал тревоги и отправляет уведомление.

Энергоменеджмент: «умные» розетки. Микроконтроллер отслеживает потребление и позволяет дистанционно включать/выключать приборы.

2.4. Развлечения и мультимедиа.

Пульты дистанционного управления: МК декодирует нажатия кнопок и генерирует ИК- или RF-сигналы.

Игровые консоли и гаджеты: МК обрабатывает ввод с джойстиков, кнопок, гироскопов.

Аудиотехника: МК управляет эквалайзерами, декодерами, Bluetooth-соединениями в колонках и наушниках.

3. Технико-экономические аспекты применения.

Выбор конкретного МК для бытового устройства – это всегда компромисс:

1) стоимость: в массовом производстве разница в цене в десятки центов на одно устройство имеет решающее значение. Поэтому для простых задач используются самые дешевые 8-битные МК;

2) надежность и безопасность: программа в МК должна быть отказоустойчивой. Особенно это важно в устройствах, работающих с высокими температурами, водой и напряжением. Используются watchdog-таймеры, защита от скачков напряжения;

3) энергоэффективность: для аккумуляторных устройств (пультов, беспроводных датчиков) критически важны режимы глубокого сна, когда МК потребляет микроамперы;

4) простота разработки и сроки выхода на рынок: наличие доступных средств разработки (компиляторов, отладчиков, готовых библиотек) и технической документации ускоряет процесс.

4. Современные тенденции и будущее развитие.

Интеграция беспроводных интерфейсов: МК с поддержкой Wi-Fi, Bluetooth (BLE), Zigbee или Thread становятся стандартом. Это позволяет создавать распределенные сети устройств, управляемые со смартфона или голосовыми помощниками.

Развитие экосистем: устройства перестают быть изолированными. МК обеспечивает их взаимодействие в рамках экосистем (Apple HomeKit, Google Home, «Яндекс Алиса», Mi Home).

Рост вычислительных возможностей и появление IoT-микроконтроллеров: современные МК (например, на ядрах ESP32 или RISC-V) обладают достаточной мощностью для локальной обработки данных с

датчиков (edge computing), запуска простых алгоритмов машинного обучения (TinyML) для распознавания образов, звуков, аномалий.

Повышение безопасности: с ростом применения растут и риски. В МК начинают внедрять аппаратные средства шифрования, безопасную загрузку и обновление прошивки.

Функциональная конвергенция: один мощный МК может управлять целым комплексом функций (например, в «умной» колонке он отвечает за обработку аудио и голосовых команд, работу с Wi-Fi, управление светом).

Применение МК в бытовом сегменте совершило революцию, превратив пассивные инструменты в активные «разумные» помощники. Везде МК обеспечивают гибкость, энергоэффективность, удобство и новые функциональные возможности – от простейших автоматов до узлов распределенных интеллектуальных систем «умного дома» [4].

Дальнейшее развитие будет идти по пути еще большей интеграции, интеллектуализации и подключения к сетям. Микроконтроллеры станут еще менее заметными, но их роль как фундаментальной технологической основы бытового комфорта и эффективности будет только возрастать. Изучение архитектуры, программирования и применения МК является одним из ключевых направлений подготовки современных инженеров в области электроники, кибернетики и информационных технологий.

Библиографический список

1. Магда Ю.С. Современные микроконтроллеры. Архитектура, программирование. М.: ДМК Пресс, 2018. 225 с.
2. Рюмик С.М. 1000 и одна микроконтроллерная схема. М.: ДМК Пресс, 2011. 398 с.
3. Микроконтроллеры PIC. Практика применения в бытовой технике. URL: <https://www.electronicblog.ru/mikrokontrollery-pic-v-bytovoy-tekhnike/> (дата обращения: 09.01.2026).
4. The 2023 Embedded Markets Study. URL: <https://embeddedcomputing.com/application/industrial/industrial-automation/the-2023-embedded-markets-study> (дата обращения: 09.01.2026).

MICROCONTROLLERS IN HOUSEHOLD APPLIANCES

A.M. Minbaev

Abstract. *The article provides a comprehensive analysis of the application of microcontrollers in the consumer segment. It examines the evolution of microcontroller architectures, from simple 8-bit cores to modern 32-bit systems-on-a-chip with integrated wireless interfaces. The key areas of their use have been systematized in detail: large and small household appliances (washing machines, refrigerators, and kitchen appliances), home*

automation systems (smart homes), and multimedia devices. It is concluded that microcontrollers are the technological foundation of the modern intelligent household environment, and their further development is aimed at creating fully connected, adaptive, and autonomous ecosystems of home devices.

Keywords: microcontroller, household appliances, smart home, Internet of Things (IoT), embedded systems, peripheral devices, ARM Cortex, energy efficiency, home automation, sensors, actuators.

Об авторе:

МИНБАЕВ Айдар Марселевич – студент бакалавриата, КНИТУ-КАИ «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева», Казань. E-mail: ajdarminbaev2@gmail.ru

About the author:

MINBAEV Aidar Marselevich – Undergraduate Student, KNRTU-KAI "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev", Kazan. E-mail: ajdarminbaev2@gmail.ru

УДК 004

ОБЗОР ПРОМЫШЛЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В РОССИИ

А.М. Минбаев

© Минбаев А.М., 2026

Аннотация. В статье представлен обзор современных отечественных и доступных зарубежных микроконтроллеров, ориентированных на применение в промышленных системах в условиях импортозамещения. Рассмотрены архитектурные особенности, технические характеристики и периферийные возможности микроконтроллеров, производимых в России и дружественных странах. Особое внимание уделено вопросам совместимости, экосистемы разработки, наличия документации и готовности к серийному применению в различных отраслях промышленности – от автоматизации технологических процессов до энергетики и транспортных систем. Сделан вывод о текущем состоянии рынка, ключевых игроках и перспективных направлениях развития отечественной компонентной базы в сегменте промышленных микроконтроллеров.

Ключевые слова: микроконтроллер, промышленная автоматизация, импортозамещение, отечественная электронная компонентная база,