УДК 004.382/51-37

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Кондратьева О.В.

к.т.н., доцент кафедры системное программирование

ФГБОУ ВО Московский Технологический Университет Связи и Информатики,

Россия, г. Москва

Полищук Ю.В.

д.т.н., доцент кафедры системное программирование

ФГБОУ ВО Московский Технологический Университет Связи и Информатики,

Россия, г. Москва.

Аннотация

Статья посвящена сенсорным модулям в вычислительной технике в контексте развития цифровой инфраструктуры, Интернета вещей, интеллектуальных платформ, акцент делается на температурных, давлении, оптических, инерциальных, магнитных и других датчиках, интегрируемых в вычислительные устройства, серверное оборудование, центры обработки данных, робототехнические комплексы, промышленные IoT-сети. Актуальность исследования обусловлена ростом плотности вычислений, требованиями к надежности, энергосбережению, автономному мониторингу, импортозамещением сенсорной элементной базы. Цель исследования состоит в анализе теоретических основ работы датчиков в вычислительных средах, рассмотрении современных технологических решений при создании сенсорных модулей, обобщении практики применения в вычислительных комплексах, цифровых платформах, а также в выделении перспективных направлений развития. Методология основана на аналитическом обзоре публикаций 2022–2025 гг., материалов производителей сенсорной техники, нормативных и отраслевых источников, сравнительном анализе мировых и

российских решений. Показано, как интеллектуализация сенсорных модулей, внедрение MEMS и оптоэлектронных технологий, встроенных вычислительных ядер, энергоэффективных интерфейсов связи формирует новую конфигурацию вычислительных сред, где сенсорный уровень обеспечивает непрерывный мониторинг, предиктивную аналитику, адаптацию режимов работы оборудования. Сформулированы выводы о перспективах внедрения интеллектуальных датчиков, развитии отечественного производства сенсорной техники, расширении применения сенсорных модулей в высокопроизводительных, облачных, периферийных вычислениях.
Ключевые слова: сенсорные модули, вычислительная техника, MEMS, датчики, Интернет вещей, центры обработки данных, искусственный интеллект, импортозамещение, интеллектуальные датчики

APPLICATION OF SENSORS IN COMPUTING

Kondratieva O.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of System Programming,

Moscow Technological University of Communications and Informatics,

Moscow, Russia

Polishchuk Yu.V.

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of System Programming,

Moscow Technological University of Communications and Informatics,

Moscow, Russia.

Abstract

The article is devoted to sensor modules in computing engineering in the context of the development of digital infrastructure, the Internet of Things, intelligent platforms, the emphasis is on temperature, pressure, optical, inertial, magnetic and other sensors integrated into computing devices, server equipment, data centers,

robotic complexes, industrial IoT-networks. The relevance of the study is due to the growth of computing density, requirements for reliability, energy saving, autonomous monitoring, import substitution of the sensor element base. The purpose of the study is to analyze the theoretical foundations of sensor operation in computational environments, review modern technological solutions for creating sensor modules, summarize the practice of using sensors in computational systems and digital platforms, and identify promising areas for development. The methodology is based on an analytical review of publications from 2022 to 2025, as well as materials from sensor technology manufacturers.
Keywords: sensor modules, computer engineering, MEMS, sensors, Internet of Things, data centers, artificial intelligence, import substitution, smart sensors

Функционирование сенсоров в вычислительных средах определяется структурой чувствительного элемента, параметрами преобразователя и характеристиками интерфейса передачи данных, а также алгоритмами фильтрации, калибровки и цифровой нормализации сигнала. Физическая величина воздействует на чувствительный элемент, запускает изменение электрических свойств материала, после чего аналоговый сигнал проходит этапы усиления, линейризации, фильтрации, аналого-цифрового преобразования, затем поступает в микроконтроллер или вычислительный узел для дальнейшей обработки [2].

Фундаментом сенсорной техники служит чувствительный элемент, создаваемый на основе материалов с выраженной зависимостью электрических параметров от внешнего воздействия. В термодатчиках используется температурный коэффициент сопротивления металлов или полупроводников, в пьезорезистивных сенсорах применяется эффект изменения сопротивления при деформации мембраны, в емкостных конструкциях используется изменение расстояния между электродами под действием давления или вибрации [6]. MEMS-технологии позволяют

формировать микро-механические структуры на кремниевой подложке, создавая подвижные элементы размером в доли микрометра, обеспечивающие высокую чувствительность при низком энергопотреблении. Функционирование движущихся структур требует точного контроля геометрии, поскольку отклонение толщины мембраны даже на единицы нанометров влияет на чувствительность и собственную частоту колебаний. Для оптических сенсоров задействуются фотодиоды, матрицы, лазерные источники излучения и приемники отраженного сигнала, работающие в условиях высокой динамики освещенности [11]. В магнитных датчиках используются эффекты Холла, гигантского и туннельного магнитосопротивления, обеспечивающие регистрирование слабых изменений магнитной индукции с разрешением вплоть до нанотесла [9].

Вычислительная среда предъявляет повышенные требования к скорости реакции, линейности выходного сигнала, устойчивости к электромагнитным помехам и стабильности характеристик при долговременной эксплуатации. Сенсоры работают в составе аппаратных платформ, где цифровая обработка играет центральную роль, поэтому аналоговый сигнал после чувствительного элемента обычно проходит через специализированный сигнальный тракт, включающий программируемые усилители, фильтры низких частот, компенсаторы дрейфа нуля и температурных нестабильностей. Аналого-цифровой преобразователь задает квантование сигнала, определяя реальное разрешение сенсора [4]. В современных датчиках используется разрядность АЦП от 12 до 24 бит. Часть сенсорных модулей содержит встроенный DSP-ядро, которое выполняет фильтрацию Калмана, регистрацию пиковых значений, компенсацию перекрестных осей и преобразование сигнала в физические единицы до передачи в процессор [1].

Таблица 1 – Сенсорные модули для вычислительных устройств

Производитель	Модель	Тип	Технические характеристики
Bosch Sensortec	BME280	Цифровой датчик давления,	Диапазон температур -40…+85 °C, влажность 0–100 % RH, давление 300–1100 hPa, питание

		температуры и влажности	1,71–3,6 В, интерфейсы I²C и SPI, энергопотребление несколько мкА при частоте опроса 1 Гц
Sensirion	SHT40-AD1B-R2	Цифровой датчик влажности и температуры	Диапазон влажности 0–100 % RH, температур -40…+125 °C, погрешность ±1,8 % RH и ±0,2 °C, питание 1,08–3,6 В, интерфейс I²C, низкое энергопотребление
Amphenol Advanced Sensors (Telaire)	T9602	Комбинированный датчик влажности и температуры	Герметичный корпус IP67, полностью откалиброван и температурно компенсирован, питание 3,3 В, цифровой выход
ОВЕН (Россия)	ДТС405М.RS	Канальный термометр сопротивления с интерфейсом RS-485	Диапазон -60…+500 °C, поддержка RTD Pt100/500/1000, степень защиты IP54/65, интерфейс RS-485, питание 24 В
ОВЕН (Россия)	ДТПХxx5M.RS (серия ДТПL, ДТПК, ДТПN)	Термопары с цифровым интерфейсом RS-485	Диапазоны -40…+600 °C до -40…+1250 °C, погрешность ±1 %, питание 24 В, интерфейс Modbus RTU, гальваническая развязка 500 В, защита IP54/65
Shenzhen Fire Power Control Technology	IMU6-1 MEMS Inertial Measurement Unit	MEMS инерциальный модуль (гироскоп и акселерометр)	Диапазон угловой скорости ±400 °/с, ускорения до 30 g, нестабильность нуля 0,5 °/ч, питание 5 В, интерфейс RS422, полоса 200 Гц

Интеллектуальные сенсоры используют встроенные модели для прогнозирования дрейфа, выявления аномалий, коррекции нелинейных характеристик и распознавания событий. В инерциальных датчиках применяется сенсорный фьюжн, объединяющий данные акселерометров, гироскопов и магнитометров в единый ориентирующий вектор. В температурных сенсорах используются матричные корректирующие коэффициенты, позволяющие минимизировать влияние собственных тепловых шумов и паразитных сопротивлений. В оптических сенсорах используются алгоритмы быстрого преобразования Фурье и корреляционной обработки отраженных сигналов, обеспечивающие высокое пространственное разрешение при минимальных задержках [5,12].

Вычислительные системы используют датчики как первичное звено формирования цифровой картины происходящих процессов. Сенсорный модуль должен не только измерять величину, но и сохранять ее достоверность, обеспечивать минимальные задержки, устойчивость к внешним воздействиям и способность к самоадаптации. В результате датчики превращаются в интеллектуальные устройства, формирующие основу любой высокотехнологичной вычислительной архитектуры, от мобильных систем до центров обработки данных.

Для снижения дрейфа используются аморфные кремниевые пленки, компенсирующие напряжения, а для повышения добротности применяются вакуумные полости со сниженным давлением. Современные акселерометры и гироскопы включают интегрированные ASIC-контроллеры с автоматической подстройкой смещения и цифровой петлей стабилизации, уменьшающей шум до единиц микрог [3, 13]. Оптические сенсорные модули используют лазерные диоды, фазированные оптические решетки, кремниевую фотонику и высокочувствительные приемники, позволяющие выполнять пространственное сканирование без механических узлов. Твердотельные лидарные модули с метаповерхностями меняют фазу падающего излучения, обеспечивая перенаправление луча с высокой угловой точностью и низким энергопотреблением. Тензорезистивные и емкостные сенсоры давления используют податливые мембраны толщиной меньше 10 микрометров, сформированные на подложках из керамики или кремния, причем чувствительный элемент соединяется с измерительным мостом, стабилизированным по температуре [7].

Перспективы развития сенсорных технологий связаны с дальнейшей миниатюризацией, внедрением наноматериалов и метаматериалов, ростом чувствительности и расширением динамического диапазона, развитием твердотельной фотоники и квантовых методов измерения [10]. Интеллект переносится ближе к источнику данных, датчики получают встроенные модели машинного обучения, способные выполнять локальную

классификацию событий, обнаружение аномалий, самодиагностику, самокалибровку, вычислительные комплексы освобождаются от части рутинных операций, сосредотачиваются на более высоких уровнях анализа.

Библиографический показатель

1. 20-year-old Bosch Sensortec eyes AI inside MEMS sensors. EDN Network. URL: https://www.edn.com/20-year-old-bosch-sensortec-eyes-ai-inside-mems-sensors (дата обращения: 20.11.2025).
2. Актуальные проблемы импортозамещения КИПиА. Вакууммаш, 2024. URL: https://vakuummash.ru/aktualnye-problemy-importozameshheniya-kipia-datchiki-davleniya-dlya-pnevmaticheskih-i-gidravlicheskih-sistem-mnogozonnye-datchiki-temperatury-ot-gk-vakuummash/ (дата обращения: 20.11.2025).
3. Гироскопы и акселерометры FIREPOWER. Elec.ru, 2024. URL: https://www.elec.ru/news/2024/09/23/giroskopy-i-akselerometry-firepower.html (дата обращения: 20.11.2025).
4. Динамический и многофакторный мониторинг целостности объектов в реальном времени. CTA.ru, 2023. URL: https://www.cta.ru/articles/soel/2023/2023-7/169732/ (дата обращения: 20.11.2025).
5. Оборудование ОВЕН пополнило реестр Минпромторга России. Elec.ru, 2025. URL: https://www.elec.ru/news/2025/11/19/oborudovanie-oven-popolnilo-reestr-minpromtorga-ro.html (дата обращения: 20.11.2025).
6. Уроки импортозамещения от MT Microsystems: МЭМС-компоненты для навигации и связи. CTA.ru, 2022. URL: https://www.cta.ru/articles/soel/2022/2022-6/166123/ (дата обращения: 20.11.2025).
7. Baek S., Han J., Lee S. et al. Edge intelligence through in-sensor and near-sensor computing for the AIoT // npj Unconventional Computing. 2025. Article No. 40. URL: https://www.nature.com/articles/s44335-025-00040-6 (дата обращения: 20.11.2025).

8. Environmental Sensors in Data Center Monitoring. Amphenol Sensors. URL: https://amphenol-sensors.com/environmental-sensors-in-data-center-monitoring (дата обращения: 20.11.2025).

9. Mahmmod B. et al. A Comprehensive Review of Sensor Technologies in IoT // Computers. MDPI, 2025. Vol. 14, No. 8. Article 342. URL: https://www.mdpi.com/2073-431X/14/8/342 (дата обращения: 20.11.2025).

10. The Future of Sensor Technology: AI and Miniaturization. MEMSF. Раздел: AI inside sensors. URL: https://www.memsf.com/chanpinredian/The-future-of-sensor-technology-emerging-trends-and-innovations#:~:text=As%20one%20of%20the%20three,prospects%20and%20unlimited%20innovation%20potential (дата обращения: 20.11.2025).

11. The Future of Sensor Technology: Emerging Trends and Innovations. MEMSF. Раздел: общие технологические тренды. URL: https://www.memsf.com/chanpinredian/The-future-of-sensor-technology-emerging-trends-and-innovations (дата обращения: 20.11.2025).

12.Говоров, П. М. Тестирование показателей и параметров программных продуктов при оценке качества программного обеспечения : методические указания / П. М. Говоров, Ю. В. Полищук. – Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2024. – 20 с. – ISBN 978-5-7264-3592-3. – EDN CXGCWM.

13.Кольцов, В. Б. Процессы и аппараты защиты окружающей среды : Учебник и практикум / В. Б. Кольцов, О. В. Кольцова. – 1-е изд.. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство ЮРАЙТ", 2014. – 588 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-9916-3548-6. – EDN TYPCHH.1

Оригинальность 77%