

**Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**МРНТИ 681.3:004.87  
УДК 004.87:006.354[DOI: 10.4411/s00432-019-321](https://doi.org/10.4411/s00432-019-321)

Ю.С. Клопов

*Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау  
(E-mail: [yu.klopov@tttu.edu.kz](mailto:yu.klopov@tttu.edu.kz))***EDGE AI: новые возможности для реальной обработки данных и принятия решений в системах интернета вещей**

Современные технологии Интернета вещей (IoT) продолжают стремительно развиваться, интегрируясь в различные сферы жизни и промышленности. Одним из ключевых направлений, способствующих этому развитию, является внедрение искусственного интеллекта на периферии сетей (Edge AI). Edge AI - это искусственный интеллект, работающий на устройствах, которые находятся ближе к источнику данных. Простыми словами это значит, что данные, полученные устройствами - камерами, датчиками или смартфонами - обрабатываются непосредственно там, где они собираются, без отправки в облако.

Edge AI сочетает возможности искусственного интеллекта с вычислительными ресурсами, расположенными ближе к источникам данных, что позволяет обрабатывать информацию в реальном времени без необходимости передачи больших объемов данных в облако.

Исследование данной темы включает анализ преимуществ и вызовов, связанных с интеграцией Edge AI в IoT-системы. Рассматриваются аспекты повышения эффективности обработки данных, снижения задержек, обеспечения безопасности и приватности информации. Кроме того, изучаются практические применения Edge AI в различных отраслях, таких как промышленная автоматизация, умные города, здравоохранение и транспорт. Важным элементом исследования является оценка влияния Edge AI на архитектуру сетей, энергопотребление устройств и масштабируемость решений.

Целью данной работы является выявление ключевых технологий и методов, используемых в Edge AI, а также разработка рекомендаций по их эффективному внедрению в IoT-системы. Особое внимание уделяется анализу примеров успешных внедрений и оценке их влияния на производительность и надежность систем. В результате исследования будут предложены стратегии для оптимизации процессов обработки данных и принятия решений, что позволит повысить общую эффективность и адаптивность современных IoT-решений.

*Ключевые слова:* Edge AI, Интернет вещей, реальная обработка данных, искусственный интеллект, периферийные вычисления, безопасность данных, умные города, промышленная автоматизация, низкая задержка, энергоэффективность, масштабируемость, приватность информации.

*Введение*

В условиях стремительного развития технологий и цифровизации ключевым драйвером инноваций становится Интернет вещей (IoT), который активно внедряется в различные сферы жизни, от повседневного быта до сложных промышленных процессов. IoT предполагает подключение миллионов устройств и датчиков к интернету для сбора, передачи и анализа данных. Однако традиционные подходы, связанные с обработкой информации в облаке, сталкиваются с рядом ограничений, таких как высокая задержка, перегрузка сетей, большие затраты на передачу данных и необходимость обеспечения безопасности.

На фоне этих вызовов особую роль начинают играть периферийные вычисления и искусственный интеллект (Edge AI), которые позволяют обрабатывать данные непосредственно на устройствах или в

### Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»

непосредственной близости от источников данных. Edge AI существенно снижает задержки, повышает скорость принятия решений и увеличивает надежность систем за счет локальной обработки данных. Такой подход позволяет снизить зависимость от централизованных облачных сервисов, улучшая производительность и защищенность IoT-систем.

Появление Edge AI открывает новые перспективы для промышленной автоматизации, умных городов, здравоохранения и транспорта, где необходима мгновенная реакция на события. Например, автономные автомобили требуют мгновенной обработки данных для принятия решений в реальном времени, а в медицине Edge AI может поддерживать удаленный мониторинг состояния пациентов и экстренное реагирование на изменения их здоровья.

Внедрение Edge AI также имеет значительные преимущества с точки зрения безопасности и приватности данных. Поскольку большая часть информации обрабатывается на периферии сети, это снижает риски утечки данных и минимизирует необходимость передачи конфиденциальной информации в облако. Тем не менее, перед технологиями Edge AI стоят и определенные вызовы, такие как обеспечение энергоэффективности устройств, сложность архитектурных решений и масштабируемость систем.

В рамках данного исследования рассматриваются ключевые аспекты разработки и внедрения Edge AI в IoT-системах. Особое внимание уделяется анализу существующих технологий, преимуществам и вызовам, а также практическим примерам успешного применения Edge AI. В конечном итоге работа направлена на разработку рекомендаций по оптимизации использования Edge AI для повышения эффективности и адаптивности IoT-решений в различных отраслях.

В последние годы методы внедрения искусственного интеллекта меняются по всему миру. По мере того как пользователи проводят все больше времени на своих устройствах, компании все больше осознают необходимость переноса на устройства необходимых вычислений для обслуживания большего числа клиентов. Это причина того, что рынок периферийных вычислений продолжит ускоряться в следующие несколько лет и к 2025 году достигнет \$1,12 трлн. По данным Gartner, 91% сегодняшних данных обрабатывается в централизованных центрах обработки данных. Но к 2024 году около 74% всех данных потребуют анализа и на граничных устройствах.

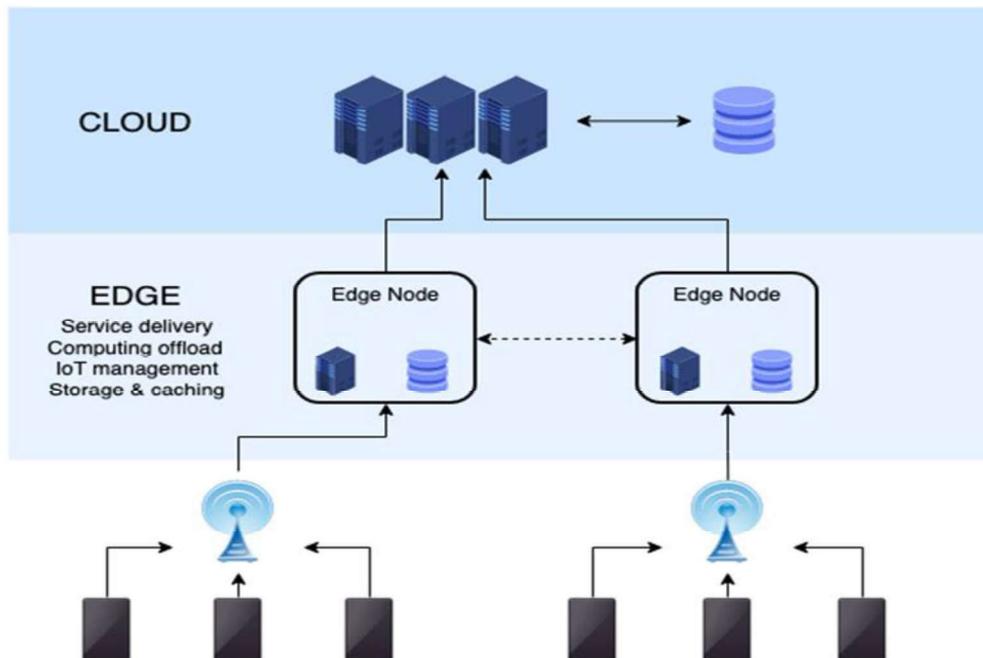


Рисунок 1. Инфраструктура граничных вычислений

## **Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»**

Edge Computing, или граничные вычисления – это парадигма распределенных вычислений, которая приближает вычисления и хранение данных к месту нахождения устройства. Они возникли из сетей доставки контента, и компании используют виртуализацию для расширения собственных возможностей. На рисунке 1 представлена инфраструктура граничных вычислений.

В последние годы мы наблюдаем значительные изменения в подходах к использованию искусственного интеллекта по всему миру. С увеличением времени, которое пользователи проводят на своих устройствах, компании осознают необходимость переноса вычислительных мощностей непосредственно на устройства для повышения качества обслуживания. Это обуславливает быстрое развитие рынка периферийных вычислений (Edge Computing), который продолжит расти ускоренными темпами в ближайшие годы. Согласно прогнозам, к 2023 году объем рынка периферийных вычислений достигнет \$1,12 трлн.

Периферийные вычисления представляют собой технологическую парадигму, при которой обработка данных и вычисления происходят в непосредственной близости от устройства, что позволяет сократить задержки, снизить нагрузку на центральные серверы и улучшить качество работы приложений в реальном времени. По данным аналитиков Gartner, на данный момент около 91% данных обрабатывается в централизованных центрах обработки данных, но ожидается, что к 2022 году около 74% данных будут анализироваться непосредственно на граничных устройствах.

Edge Computing возникли на основе сетей доставки контента (CDN) и продолжают развиваться благодаря использованию технологий виртуализации, которые позволяют компаниям расширять свои вычислительные возможности. Такая модель вычислений открывает новые горизонты для бизнеса, включая сокращение задержек при передаче данных и повышение эффективности использования сети, что делает её важным элементом будущих цифровых систем.

### *Выводы*

Edge AI представляет собой одно из наиболее перспективных направлений в развитии систем Интернета вещей (IoT), открывая новые возможности для обработки данных и принятия решений непосредственно на периферии сетей. Технологии Edge AI позволяют эффективно решать задачи, связанные с высокой задержкой, перегрузкой сетей и необходимостью передачи больших объемов данных в облачные системы. Это делает возможным более быстрые и точные реакции на события в реальном времени, что особенно важно для критически важных областей, таких как здравоохранение, промышленная автоматизация, умные города и транспорт.

Применение Edge AI в IoT также способствует повышению уровня безопасности и конфиденциальности, поскольку данные обрабатываются локально, что снижает риски их утечки. В то же время эта технология сталкивается с рядом вызовов, включая энергоэффективность устройств, масштабируемость и сложность архитектурных решений. Однако продолжающиеся разработки и исследования в области Edge AI показывают, что эти трудности могут быть преодолены с помощью новых технологий и инноваций.

В результате использования Edge AI системы IoT становятся более адаптивными, автономными и эффективными. Это направление будет играть ключевую роль в развитии цифровых технологий и создании интеллектуальных систем, способных решать задачи будущего в реальном времени. Edge AI несомненно станет важным фактором технологической трансформации и продолжит способствовать развитию более интеллектуальных и устойчивых решений для различных отраслей.

Edge AI представляет собой революционное направление, которое меняет саму природу обработки данных в системах Интернета вещей (IoT). За счет переноса вычислительных мощностей ближе к источникам данных, Edge AI позволяет существенно сократить задержки, улучшить скорость принятия решений и повысить эффективность работы IoT-устройств в режиме реального времени. Внедрение этой технологии особенно важно для таких отраслей, как автономные системы транспорта, здравоохранение, промышленная автоматизация и умные города, где минимизация задержек и надежность являются ключевыми факторами успеха.

Несмотря на преимущества, Edge AI сталкивается с определенными вызовами, включая проблемы энергоэффективности, сложности в масштабировании систем и обеспечение безопасности данных на периферии. Однако динамика развития этой технологии и растущий интерес со стороны бизнеса и научного сообщества позволяют прогнозировать успешное решение этих проблем в ближайшем будущем.

### **Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»**

Переход к Edge AI открывает путь к созданию по-настоящему интеллектуальных и автономных систем, которые могут обрабатывать данные там, где они генерируются, обеспечивая мгновенный отклик на происходящие события. Это не только повышает производительность и снижает нагрузку на сети, но и делает IoT-решения более безопасными и конфиденциальными. Edge AI закладывает основу для создания будущих технологий, способных адаптироваться к быстро меняющимся условиям и требованиям, что станет важным шагом в развитии глобальной цифровой инфраструктуры.

#### Список литературы

1. Горбунов, И. А. (2021). Периферийные вычисления и их роль в развитии Интернета вещей. Москва: Научное издательство.
2. Смирнов, В. П., & Кузнецов, А. В. (2020). Искусственный интеллект на периферии: Введение в Edge AI и его применение в системах IoT. Санкт-Петербург: Издательство Питер.
3. Петров, С. Н. (2022). Технологии Edge AI для умных городов: архитектура, алгоритмы и решения. Казань: Казанский федеральный университет.
4. Brown, T. & Smith, J. (2021). Edge AI in the IoT Ecosystem: Challenges and Opportunities. New York: TechWorld Press.
5. Gartner Research (2019). The Edge AI Revolution: How Artificial Intelligence is Moving to the Network Edge. Retrieved from Gartner.com.
6. Johnson, L. (2020). Next-Generation Computing: The Rise of Edge AI and Its Impact on Industry. London: Future Technologies Press.
7. Zhang, M., & Li, H. (2021). AI at the Edge: Real-time Processing in IoT Systems. Beijing: China Science Press.

Ю.С. Клопов

#### **EDGE AI: Интернеттегі заттар жүйелерінде нақты деректерді өңдеу және шешім қабылдаудың жаңа мүмкіндіктері**

Қазіргі заманғы интернет заттары (IoT) технологиялары өмір мен өнеркәсіптің әртүрлі салаларына интеграцияланып, қарқынды дамуды жалғастыруда. Бұл дамуға ықпал ететін негізгі бағыттардың бірі-желінің шетінде жасанды интеллектті енгізу (edge AI). Edge AI-бұл деректер көзіне жақын құрылғыларда жұмыс істейтін жасанды интеллект. Қарапайым сөзбен айтқанда, бұл құрылғылар - камералар, сенсорлар немесе смартфондар алған деректер бұлтқа жіберілмей, жиналған жерде тікелей өңделетінін білдіреді.

Edge AI жасанды интеллект мүмкіндіктерін деректер көздеріне жақын есептеу ресурстарымен біріктіреді, бұл нақты уақыттағы ақпаратты бұлтқа үлкен көлемдегі деректерді жібермей өңдеуге мүмкіндік береді.

Осы тақырыпты зерттеу Edge AI-ді IoT жүйелеріне біріктіруге байланысты артықшылықтар мен қоңырауларды талдауды қамтиды. Деректерді өңдеу тиімділігін арттыру, кідірістерді азайту, ақпараттың қауіпсіздігі мен құпиялылығын қамтамасыз ету аспектілері қарастырылады. Сонымен қатар, Edge AI-дің өнеркәсіптік автоматтандыру, ақылды қалалар, Денсаулық сақтау және көлік сияқты әртүрлі салалардағы практикалық қосымшалары зерттелуде. Зерттеудің маңызды элементі edge AI-дің желілік архитектураға, құрылғылардың қуат тұтынуына және шешімдердің масштабталуына әсерін бағалау болып табылады.

Бұл жұмыстың мақсаты Edge AI-де қолданылатын негізгі технологиялар мен әдістерді анықтау, сондай-ақ оларды IoT жүйелеріне тиімді енгізу бойынша ұсыныстар әзірлеу болып табылады. Табысты іске асырудың мысалдарын талдауға және олардың жүйелердің өнімділігі мен сенімділігіне әсерін бағалауға ерекше назар аударылады. Зерттеу нәтижесінде деректерді өңдеу және шешім қабылдау процестерін оңтайландыру стратегиялары ұсынылады, бұл қазіргі заманғы IoT шешімдерінің жалпы тиімділігі мен бейімделуін жақсартады.

## Раздел 2. «Информационно-коммуникационные технологии»

*Түйін сөздер:* EDGE AI, Заттар интернеті, нақты деректерді өңдеу, жасанды интеллект, перифериялық есептеу, деректер қауіпсіздігі, ақылды қалалар, өнеркәсіптік автоматтандыру, төмен кідіріс, энергия тиімділігі, масштабталу, ақпараттың құпиялылығы.

Y.S. Klopov

### **EDGE AI: new opportunities for real data processing and decision-making in Internet of Things systems**

Modern Internet of Things (IoT) technologies continue to develop rapidly, integrating into various spheres of life and industry. One of the key areas contributing to this development is the introduction of artificial intelligence on the periphery of networks (Edge AI). Edge AI is an artificial intelligence running on devices that are closer to the data source. In simple words, this means that data received by devices - cameras, sensors, or smartphones - is processed directly where it is collected, without being sent to the cloud.

Edge AI combines the capabilities of artificial intelligence with computing resources located closer to data sources, which allows you to process information in real time without having to transfer large amounts of data to the cloud.

The research on this topic includes an analysis of the advantages and challenges associated with the integration of Edge AI into IoT systems. The aspects of improving the efficiency of data processing, reducing delays, ensuring the security and privacy of information are considered. In addition, practical applications of Edge AI in various industries such as industrial automation, smart cities, healthcare and transportation are being studied. An important element of the study is to assess the impact of Edge AI on network architecture, device power consumption and scalability of solutions.

The purpose of this work is to identify the key technologies and methods used in Edge AI, as well as to develop recommendations for their effective implementation in IoT systems. Special attention is paid to analyzing examples of successful implementations and assessing their impact on system performance and reliability. As a result of the research, strategies will be proposed to optimize data processing and decision-making processes, which will increase the overall efficiency and adaptability of modern IoT solutions.

*Keywords:* Edge AI, Internet of Things, real data processing, artificial intelligence, peripheral computing, data security, smart cities, industrial automation, low latency, energy efficiency, scalability, information privacy.

#### References

1. Gorbunov, I. A. (2021). Peripheral computing and its role in the development of the Internet of Things. Moscow: Scientific Publishing House.
2. Smirnov, V. P., & Kuznetsov, A.V. (2020). Artificial Intelligence on the Periphery: An Introduction to Edge AI and its application in IoT Systems. St. Petersburg: Peter Publishing House.
3. Petrov, S. N. (2022). Edge AI technologies for smart cities: architecture, algorithms and solutions. Kazan: Kazan Federal University.
4. Brown, T. & Smith, J. (2021). Edge AI in the IoT Ecosystem: Challenges and Opportunities. New York: TechWorld Press.
5. Gartner Research (2019). The Edge AI Revolution: How Artificial Intelligence is Moving to the Network Edge. Retrieved from Gartner.com.
6. Johnson, L. (2020). Next-Generation Computing: The Rise of Edge AI and Its Impact on Industry. London: Future Technologies Press.
7. Zhang, M., & Li, H. (2021). AI at the Edge: Real-time Processing in IoT Systems. Beijing: China Science Press.