

# РЕАЛИЗАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ПРОТОКОЛА QUIC НА УСТРОЙСТВАХ IOT

**Баженов Артем Эдуардович**

Ассистент, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара  
a.bazhenov@psuti.ru

## IMPLEMENTATION AND IMPLEMENTATION OF THE QUIC PROTOCOL ON IOT DEVICES

**A. Bazhenov**

*Summary.* With the growing spread of the Internet of Things (IoT), there is a need for more efficient network protocols. This study is devoted to the analysis of the QUIC protocol as a promising replacement for traditional TCP and UDP for IoT devices. QUIC, developed by Google as an experimental solution, promises to reduce delays, increase security and improve data management compared to existing protocols. This is especially true for resource-limited IoT devices that require reliable and fast data transfer. The study evaluates the key advantages of QUIC in terms of performance, security and efficiency of network interactions for IoT. It is concluded that QUIC has a significant potential for optimizing IoT communications due to its ability to overcome the limitations of traditional protocols. Practical recommendations on the implementation and configuration of QUIC for IoT devices are also offered.

*Keywords:* QUIC protocol, Internet of Things (IoT), TCP and UDP protocols.

*Аннотация.* С растущим распространением Интернета вещей (IoT) возникает потребность в более эффективных сетевых протоколах. Данное исследование посвящено анализу протокола QUIC в качестве перспективной замены традиционным TCP и UDP для устройств IoT. QUIC, разработанный Google в качестве экспериментального решения, обещает сократить задержки, повысить безопасность и улучшить управление данными по сравнению с существующими протоколами. Это особенно актуально для ресурсоограниченных IoT-устройств, требующих надежной и быстрой передачи данных. В ходе исследования оцениваются ключевые преимущества QUIC в плане производительности, безопасности и эффективности сетевых взаимодействий для IoT. Делается вывод о значительном потенциале QUIC для оптимизации IoT-коммуникаций благодаря способности преодолевать ограничения традиционных протоколов. Также предлагаются практические рекомендации по внедрению и настройке QUIC для устройств Интернета вещей.

*Ключевые слова:* протокол QUIC, Internet of Things (IoT), протоколы TCP и UDP.

### Введение

В современном мире Интернет вещей (IoT) играет все более значимую роль, интегрируя устройства и системы в единое цифровое пространство. Однако, с ростом числа устройств IoT возникают новые требования к сетевым протоколам, обеспечивающим их взаимодействие. Протокол QUIC (Quick UDP Internet Connections) — современный протокол транспортного уровня, способствующий улучшению производительности передачи данных в сетях Интернета. В контексте IoT его применение может обеспечить улучшенную производительность, безопасность и эффективность использования ресурсов. С увеличением числа устройств IoT и объемов передаваемых данных стандартные протоколы передачи данных, такие как TCP и UDP, могут столкнуться с ограничениями. Протокол QUIC объединяет в себе преимущества TCP и UDP, обеспечивая более эффективную и безопасную передачу данных в условиях современных сетей IoT. Целью данного исследования является анализ возможностей и перспектив реализации и внедрения протокола QUIC на устройствах IoT.

### Протокол QUIC

QUIC (Quick UDP Internet Connections) — это транспортный протокол, созданный Google в качестве аль-

тернативы TCP и TLS. QUIC использует UDP вместо TCP, что позволяет избежать некоторых ограничений TCP, связанных с установлением соединения и управлением конгестией. Он обеспечивает аутентификацию и шифрование данных на основе TLS 1.3, что повышает безопасность по сравнению с TCP+TLS. Механизм 0-RTT ускоряет установление соединения, что важно для передачи данных с низкой задержкой [2].

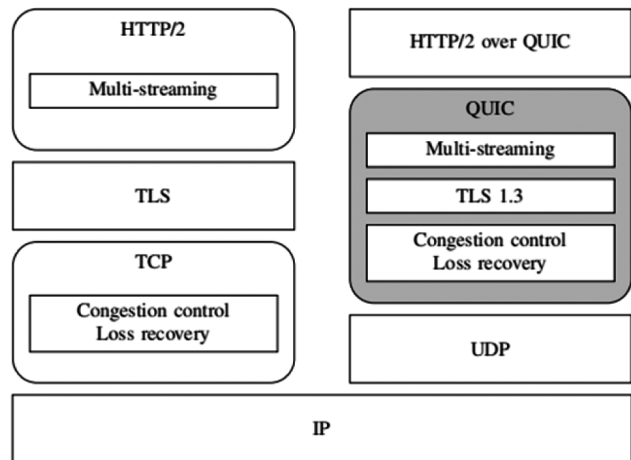


Рис. 1. Архитектура QUIC [9]

QUIC поддерживает мультиплексирование нескольких потоков данных внутри одного UDP-соединения, что

улучшает эффективность использования сети. Он также имеет механизмы управления перегрузкой и адаптации скорости передачи данных, подобные TCP. QUIC разработан для эффективной передачи данных в мобильных сетях и средах с высокой задержкой, решая проблемы классических протоколов.

Протокол QUIC имеет потенциал применения в системах Интернета вещей (IoT). Он обеспечивает безопасную передачу данных между устройствами с ограниченными ресурсами и оптимизирует использование пропускной способности. Механизмы быстрого установления соединения и мультиплексирование потоков данных делают его эффективным в сценариях IoT [4].

Внедрение QUIC в устройства IoT требует учета ограниченных ресурсов и особенностей сетевой инфраструктуры. Важно оптимизировать реализацию протокола для минимизации потребления ресурсов и обеспечения безопасности передачи данных. Интеграция с существующими сетевыми решениями и устройствами также важна.

Тестирование протокола на реальных устройствах IoT необходимо для выявления и решения потенциальных проблем [6]. Это помогает обеспечить стабильную работу протокола в различных условиях эксплуатации.

Успешное внедрение QUIC на устройствах IoT требует комплексного подхода и тщательного тестирования для обеспечения эффективной работы в реальных условиях [5].

### Исследование существующих решений и реализаций

В работе J.-H. Jung et al., представленной в издании «Internet of Things» в 2023 году [7], раскрывается передовое исследование, направленное на изучение и оптимизацию передачи данных в сетях Интернета вещей (IoT) с использованием протокола QUIC. Статья представляет собой важный вклад в область связи IoT, поскольку она адресует актуальную проблему повышения эффективности и надежности передачи данных между устройствами IoT.

Исследование акцентирует внимание на значимости применения протокола QUIC как альтернативы традиционным транспортным протоколам, таким как TCP и UDP, в сетях IoT. QUIC, разработанный как часть инициативы Google, предлагает множество преимуществ, включая снижение задержки соединения, улучшенную производительность в условиях нестабильного соединения, а также механизмы быстрого восстановления после разрыва связи.

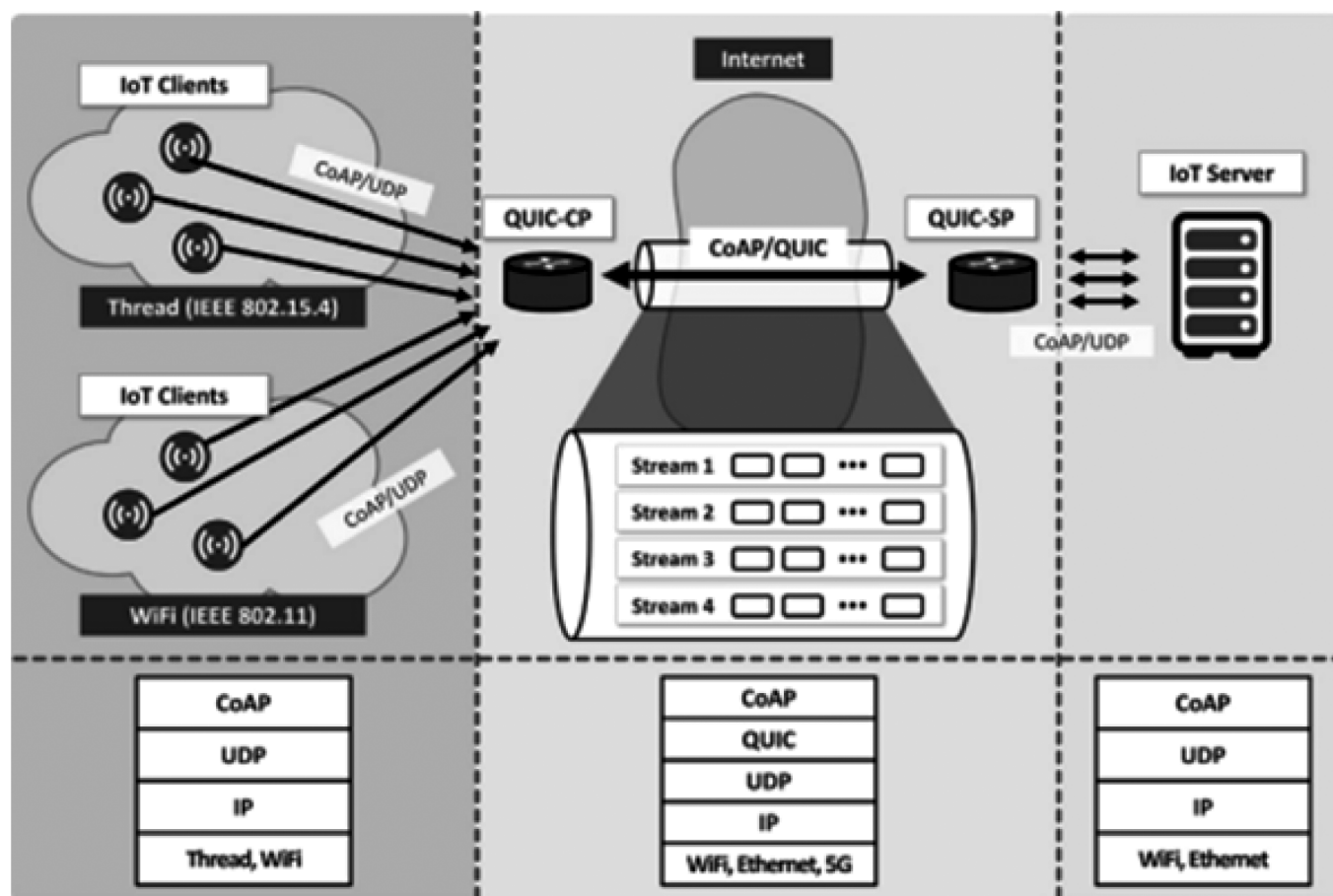


Рис. 2. Сетевая модель для CoAP на основе прокси через QUIC [7]

Одним из ключевых моментов исследования является применение протокола QUIC для транспортировки сообщений CoAP, стандартного протокола обмена данными IoT.

Авторы статьи экспериментально демонстрируют, как интеграция CoAP с QUIC через прокси-серверы может значительно улучшить производительность системы по сравнению с использованием CoAP поверх UDP или TCP. Подход, основанный на прокси, позволяет избежать необходимости изменения существующих IoT устройств и приложений, упрощая тем самым процесс интеграции.

Экспериментальные результаты, представленные в статье, подтверждают гипотезу о том, что QUIC способен обеспечить значительное уменьшение времени задержки в круговом пути (Round-Trip Time, RTT) в сетях IoT — на 80 %, и увеличить скорость быстрого ответа на 9 % по сравнению с классическими решениями. Кроме того, использование сжатия данных при передаче сигналов CoAP в потоках QUIC приводит к дальнейшему увеличению производительности на 10 %, что отчетливо демонстрирует эффективность подхода.

Стоит отметить, что данное исследование не только раскрывает потенциал QUIC для повышения эффективности в сетях IoT, но и предлагает конкретные рекомендации по его реализации. Авторы убедительно аргументируют, что применение QUIC может значительно улучшить производительность и надёжность IoT приложений, что является ключевым для реализации широко-масштабных IoT решений в ближайшем будущем.

В заключение, статья J.-H. Jung et al. открывает новые перспективы для разработки и внедрения эффективных решений в сфере IoT, акцентируя внимание на значимости протокола QUIC как инструмента для улучшения качества и скорости обмена данными между устройствами IoT. Исследование ясно показывает, как технологические инновации могут способствовать решению существующих проблем в области IoT, указывая путь к более надёжным и эффективным сетям Предметов Интернета.

Далее рассмотрим статью испанских исследователей. В центре внимания данного исследования — сравнительный анализ производительности QUIC и MQTT, двух ведущих протоколов, используемых в приложениях IoT[2].

Ключевой фокус исследования заключается в оценке производительности QUIC в контексте IoT, особенно при взаимодействии с MQTT — стандартом в связи устройств. Опираясь на ранее предложенный Google как эффективная альтернатива TCP, QUIC быстро набирает популярность, благодаря таким преимуществам, как снижение затрат на установление соединения и более высокая скорость передачи данных.

Для анализа применена интеграция реализации QUIC на языке GO с MQTT, при использовании Linux-контейнеров, имитирующих различные технологии беспроводной связи через ns-3. Это позволило детально изучить и сравнить производительность обоих протоколов в различных сетевых условиях, подчеркнув, что QUIC обеспечивает улучшенные характеристики для типичного использования в IoT сценариях.

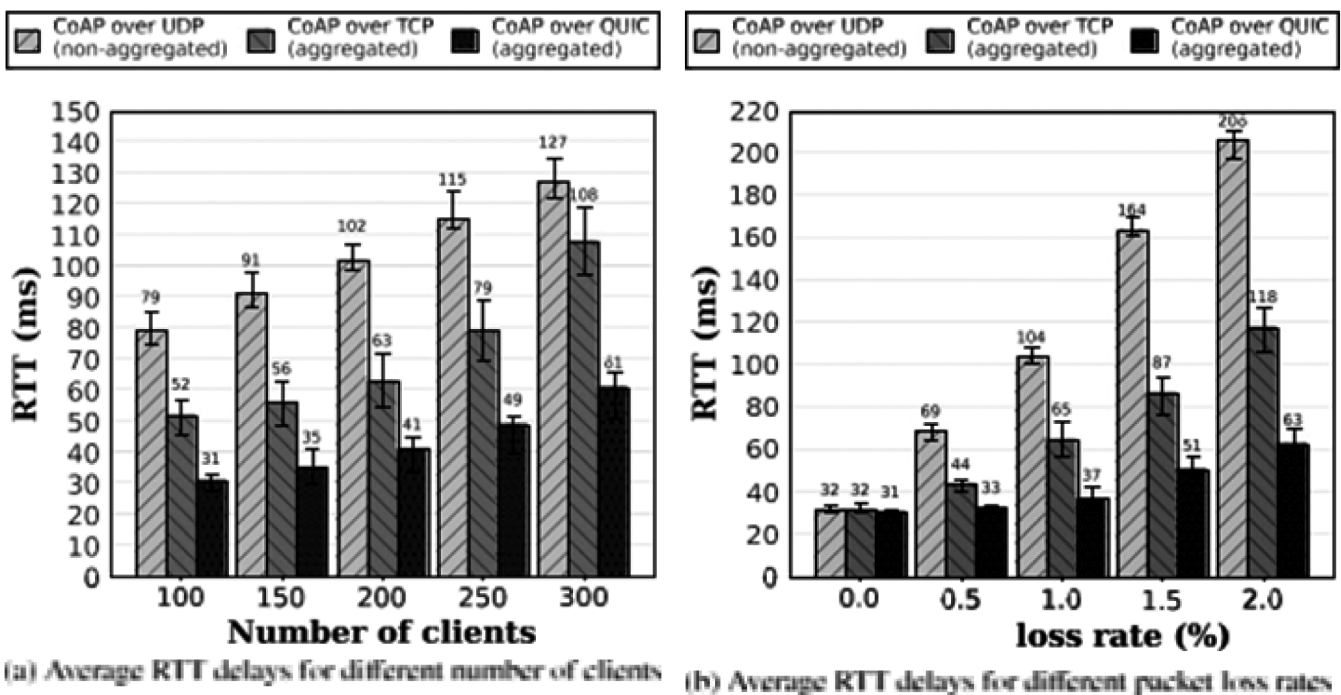


Рис. 3. Comparison of average RTT delays [7]

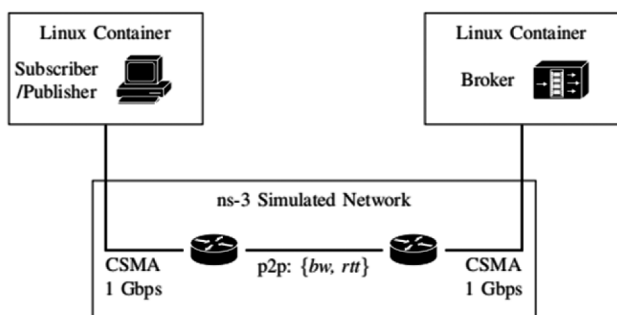


Рис. 4. Описание тестовой среды [2]

Результаты показали обещающие преимущества QUIC перед MQTT при использовании через TCP, особенно в сетях с низким RTT и высокой скоростью потерь пакетов. Это говорит о том, что QUIC может существенно повысить производительность и надежность приложений IoT, делая возможным более эффективное и безопасное взаимодействие между устройствами.

Однако внедрение QUIC в IoT сталкивается с некоторыми проблемами и ограничениями, такими как сложность интеграции в устройства с ограниченными ресурсами и необходимостью поддерживать обратную совместимость с существующими системами. Также отмечается, что текущая реализация QUIC все еще находится в стадии разработки и требует доработки для оптимизации производительности в IoT сценариях.

Исследование подчеркивает потенциал QUIC как мощного инструмента для улучшения коммуникаций в сфере IoT. Дальнейшая работа будет сосредоточена на преодолении существующих ограничений и продвижении разработки решений, адаптированных для промышленного использования, с целью полной реализации преимуществ QUIC в современных многоуровневых архитектурах IoT.

В заключение подчеркивается важность продолжения исследований по совершенствованию технологии QUIC в контексте IoT, а также расширение тестирования на более широком ряде устройств и сценариев применения, включая облачные и туманные вычисления, для глубокой интеграции в индустрию 4.0.

### Требования к реализации протокола QUIC на устройствах IoT

При разработке решения по внедрению протокола QUIC на устройствах IoT необходимо учитывать ряд ключевых требований и аспектов. Во-первых, важно обеспечить оптимизацию использования ресурсов устройств IoT. Это включает в себя минимизацию потребления вычислительных ресурсов, памяти и энергии, чтобы обеспечить эффективную работу устройств в условиях ограниченных ресурсов. Так, к примеру в данном исследовании [8] тестовый стенд был описан следующим образом: ученые использовали платы разработки 32-битных микропроцессоров (Particle Argon и ESP32-DevKitC V4) были установлены с Quant и picoTLS для поддержки QUIC. Было обнаружено, что для реализации QUIC требуется около 63 КБ флэш-памяти, 16 КБ динамической памяти, 4 КБ стековой памяти и энергии 0,9 Дж на транзакцию. Было выявлено что при дальнейшей оптимизации QUIC сможет работать и на 16-битных процессорах. Для этого рекомендуется оптимизировать размер заголовков и другие параметры протокола, а также использовать механизмы управления потоками данных для уменьшения объема передаваемой информации.

Необходимо адаптировать протокол QUIC для совместимости с IoT и существующими сетями, обеспечивая защиту данных и работу в ненадежных сетях. Решение должно масштабироваться для управления большим количеством устройств и проходить тщательное тестирование для обеспечения стабильной и безопасной работы.

### Вывод

В этой научной работе исследовались возможности применения протокола QUIC в Интернете вещей (IoT) с акцентом на производительность и безопасность. Для успешной интеграции предлагается оптимизировать ресурсы IoT-устройств, обеспечить их совместимость с различными платформами и протоколами связи. Критически важно гарантировать защиту данных через шифрование и аутентификацию, а также обеспечить

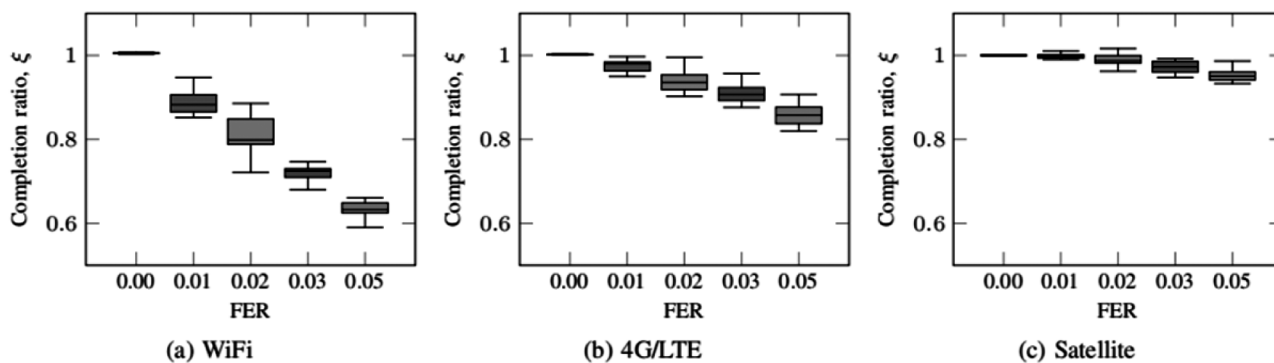


Рис. 5. Производительность MQTT через QUIC и TCP для остановки и ожидания передачи [2]



автоматическое восстановление связи и стабильную работу в непостоянных сетях. Масштабируемость должна обеспечиваться эффективным удаленным управлением и тщательным тестированием в реальных условиях для проверки производительности, надежности и безопасности. Эти рекомендации помогут успешно внедрить протокол QUIC в IoT, повысив эффективность и безопасность сетевых взаимодействий.

Следуя данным рекомендациям, разработчики и исследователи смогут успешно внедрить протокол QUIC в системы Интернета вещей, обеспечит значительное повышение эффективности и качества сетевых взаимодействий между устройствами IoT при соблюдении высоких стандартов безопасности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Утегенов Н.Б. Интернет вещей (IoT) и информационные системы // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2023. 7(112). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15799> (дата обращения: 25.03.2024 г.)
2. F. Fernández, M. Zverev, P. Garrido, J. R. Juárez, J. Bilbao and R. Agüero, «And QUIC meets IoT: performance assessment of MQTT over QUIC,» 2020 16th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), Thessaloniki, Greece, 2020, pp. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/WiMob50308.2020.9253384>. (дата обращения 25.03.2024 г.)
3. Муратов Г.А. Особенности работы протокола TLS/SSL // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2021. 3(30). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-raboty-protokola-tls-ssl> (дата обращения 25.03.2024 г.)
4. Еременко А.С. Процесс повторных передач сегментов Тср по тайм-ауту согласно теории управления // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2011. 4/3(52). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/protsess-povtornyh-peredach-segmentov-tsr-po-taym-avtu-soglasno-teorii-upravleniya> (дата обращения: 25.03.2024 г.)
5. Юхимук Роман Алексеевич, Веревкин Сергей Александрович. Анализ протоколов сетевого взаимодействия для повышения надежности, быстродействия и безопасности сети организации // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2023. Вып.8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-protokolov-setevogo-vzaimodeystviya-dlya-povysheniya-nadezhnosti-bystrodeystviya-i-bezopasnosti-seti-organizatsii> (дата обращения: 25.03.2024 г.)
6. Симачев Антон Юрьевич. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов обнаружения скрытых каналов в протоколе HTTP/3 // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2022.7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-effektivnosti-algoritmov-obnaruzheniya-skrytykh-kanalov-v-protokole-http-3> (дата обращения: 25.03.2024 г.)
7. Joong-Hwa Jung, Hye-Been Nam, Dong-Kyu Choi, Seok-Joo Koh / Use of QUIC for CoAP transport in IoT networks / *Internet of Things*, 2023, Volume 24, 100905
8. Darius Saif, Ashraf Matrawy // An Experimental Investigation of Tuning QUIC-Based Publish-Subscribe Architectures in IoT // arxiv: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/infopulse/articles/315172/> (дата обращения 25.03.2024 г.)
9. Fernández, F.; Zverev, M.; Garrido, P.; Juárez, J.R.; Bilbao, J.; Agüero, R. Even Lower Latency in IIoT: Evaluation of QUIC in Industrial IoT Scenarios. // *Sensors* 2021, 21, 5737.: [сайт]. — URL: <https://doi.org/10.3390/s21175737> (дата обращения 25.03.2024 г.)

© Баженов Артем Эдуардович (a.bazhenov@psuti.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»