

УДК 004.7:628.14

**А.А. Капанский**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Гомель, 246029  
e-mail: kapanski@mail.ru*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

В современном мире интернет вещей (IoT) представляет собой ключевое направление развития информационных технологий, активно внедряющихся в различные сферы промышленности, в том числе в России и Беларуси. Одной из важнейших областей применения IoT является техническое водоснабжение. Системы водоснабжения, будь то повторное использование воды в промышленности или питьевое водоснабжение городов, сталкиваются с рядом проблем: утечками, неэффективным распределением между источниками и др. Решение этих проблем требует использования современных средств связи, позволяющих передавать большие объемы информации, и развития систем непрерывного контроля в местах с низкой пропускной способностью сети, обеспечивающих передачу данных с минимальным энергопотреблением. Применение IoT, в частности таких технологий, как LoRaWAN и NB-IoT, может оптимизировать процессы управления и мониторинга, предотвращая экологические, экономические и социальные риски. Данная статья посвящена анализу потенциала и практического применения IoT в системах водоснабжения, а также роли современных технологий в этом процессе.

**Ключевые слова:** система водоснабжения, интернет вещей, технология LoRaWAN, протокол MQTT, мониторинг состояния технических систем, контроль технологических параметров.

**A.A. Kapansky**

*Sukhoi State Technical University of Gomel,  
Gomel, 246029  
e-mail: kapanski@mail.ru*

## **INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY USE FOR INFORMATION SUPPORT OF MANAGEMENT AND MONITORING PROCESSES IN WATER SUPPLY SYSTEMS**

In modern world the Internet of Things (IoT) is a key direction in the information technologies development that are actively introduced into various industries, including in Russia and Belarus. One of the most important applications of IoT is technical water supply. Water supply systems, whether it is the reuse of water in industry or the drinking water supply of cities, face a number of problems: leaks, inefficient distribution between sources, etc. The solution to these problems requires the use of modern means of communication that allow to transmit large amounts of information, and the development of continuous monitoring systems in places with low network bandwidth, providing data transmission with minimal energy consumption. The use of IoT, in particular such technologies as LoRaWAN and NB-IoT, can optimize management and monitoring processes, preventing environmental, economic and social risks. This article is devoted to the analysis of the potential and practical application of IoT in water supply systems, as well as the role of modern technologies in this process.

**Key words:** water supply system, Internet of Things, LoRaWAN technology, MQTT protocol, monitoring of technical systems state, control of technological parameters.

Интернет вещей (IoT) стал одним из наиболее перспективных направлений в современном информационном мире. Это отражается активным развитием российских компаний в сфере радиоэлектронной промышленности [1, 2] и соответствующей востребованностью в промышленном секторе экономики [3–6]. Возможности современных технологий позволяют объединять различные устройства в единую сеть, обеспечивая мгновенный обмен данными и автоматизацию ряда важных процессов. Особое внимание заслуживает применение этой технологии в области

технических систем водоснабжения, которые представляют собой сложные и многокомпонентные структуры, требующие точного и своевременного управления. Сюда можно отнести как системы повторного использования отработанной воды в промышленности, так и системы питьевого водоснабжения городов и населенных пунктов.

Существующие проблемы, такие как утечки, экономически целесообразное распределение воды между водоисточниками, неэффективное использование энергетических ресурсов при транспортировке, приводят к серьезным экологическим, экономическим и социальным последствиям [7–10]. Использование IoT в этой сфере может стать решением многих проблем, связанных с непрерывным контролем технологических параметров в процессе эксплуатации технических систем, в которых установка традиционных проводных элементов сбора и передачи информации является невозможной или экономически нецелесообразной. Целью данной статьи является изучение потенциала применения технологии интернета вещей для информационного обеспечения процессов управления и мониторинга в системах водоснабжения.

В системах городского водоснабжения IoT-технологии открывают новые перспективы. Появляется возможность в реальном времени отслеживать показатели гидравлического давления, расхода электроэнергии, контролировать потребление воды и анализировать ее качество [11–13]. Эффективность этого подхода обусловлена современной инфраструктурой, включая цифровые устройства, стандарты передачи данных и методы их обработки. Значимую роль оказывают сети связи, обеспечивая передачу данных между датчиками и центрами обработки данных. В контексте систем водоснабжения IP (англ., Internet Protocol) является основным сетевым протоколом, реализующим передачу информации с электронных устройств к серверу. В последние годы протокол сетевого уровня LoRaWAN становится все более популярным, задавая стандарты для обмена информацией между датчиками. Для передачи измеренных данных от первичных преобразователей используется широкий перечень технологий. Особую актуальность приобретает протокол прикладного уровня MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), который определяет, как информация упаковывается, передается и обрабатывается поверх уровней связи (таких как 3G, LTE и NB-IoT). Эта технология гарантирует надежную передачу данных и имеет ряд особенностей, делающих ее «умной» и эффективной при использовании в системах непрерывного мониторинга в системах водоснабжения.

Рассмотрим, чем современные сетевые протоколы отличаются от классических на примере LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). Эта инновационная беспроводная технология позволяет передавать информацию на дальние расстояния, обеспечивая длительную автономность устройств сбора и передачи данных. Основные элементы системы включают в себя [14–16]:

- оконечные устройства – это могут быть датчики давления, температуры, импульсов и др.
- шлюзы – выступают посредниками, принимая данные от оконечных устройств и направляя их дальше в сеть;
- сетевой сервер – ключевой элемент, отвечающий за координацию сети, такую как синхронизация и расписание передачи данных;
- сервер приложений – элемент системы, который отвечает за мониторинг работы устройств, а также сбор и обработку информации от них.

Структурно LoRaWAN представляет собой звездообразную архитектуру. В этой системе устройства напрямую отправляют информацию базовым станциям, которые, в свою очередь, передают ее на сервер. На рис. 1 представлена схема взаимодействия устройств в сети LoRaWAN для мониторинга давления в системах водоснабжения.

Представленная технология гарантирует надежный контроль ключевых объектов водоснабжения, сосредоточенных территориально вблизи базовых станций. Оценка дальности покрытия сети LoRaWAN выполнялась на оборудовании и программном обеспечении Вега-Абсолют. В качестве шлюза, который служил мостом между оконечными устройствами и сервером, использовалась станция Vega BS-2.2, снабженная антенной 868-01 для усиления сигнала на 6 дБи. Анализ качества сетевого покрытия проводился тестером ТС-12. В условиях густой городской застройки и при размещении антенны на относительно небольшой высоте в 12 м радиус действия связи достигал 2–3 км (рис. 2). Для покрытия одного из областных центров Беларуси г. Гомеля, занимающего площадь порядка 140 км<sup>2</sup>, для обеспечения полного покрытия потребуется установка примерно семи базовых станций. Увеличив усиление антенны, можно уменьшить количество шлюзов.

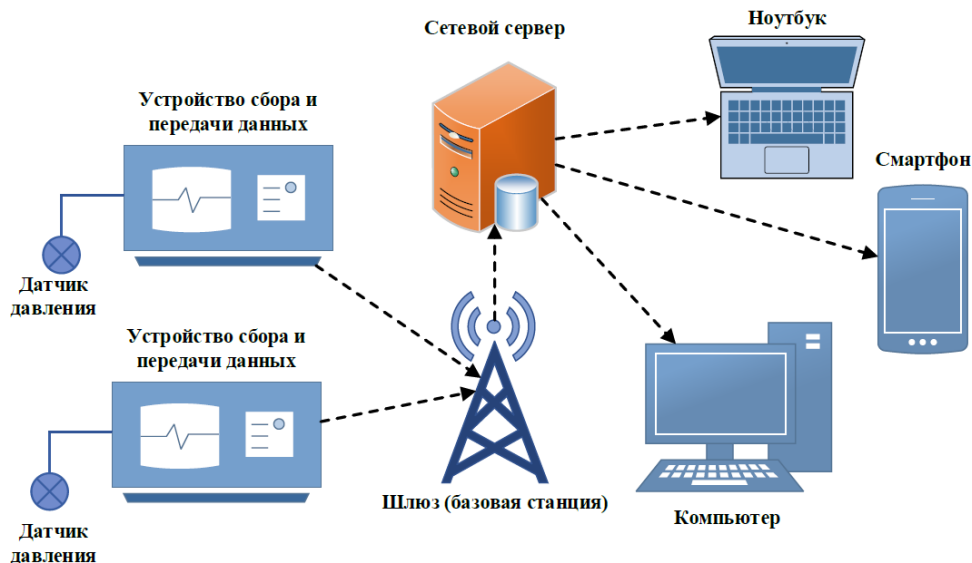


Рис. 1. Схема взаимодействия устройств в сети LoRaWAN для мониторинга давления в трубопроводах

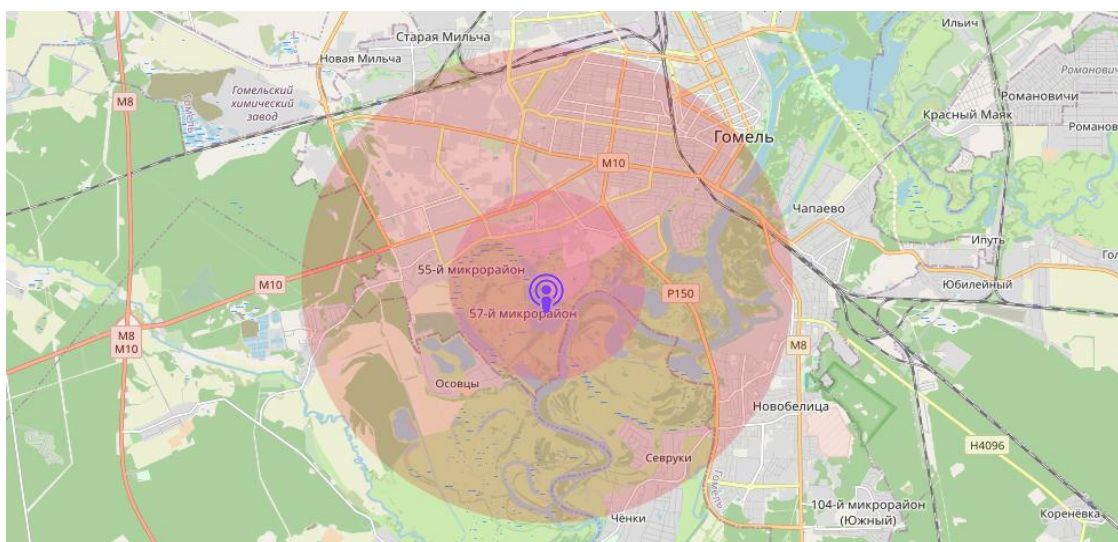


Рис. 2. Иллюстрация к анализу зоны действия сигнала сети LoRaWAN при установке базовой станции БС-2.2 с подключенной антенной 868-01 с усилением 6 дБи

Способность разворачивать собственные сети интернета вещей является весомым фактором выбора данной технологии. Однако, несмотря на широкий спектр преимуществ, в том числе к которым относится возможность отправки сообщений без подтверждения от устройства и опция подтверждения доставки для критически важных сообщений, проведенные тесты показали наличие нестабильности сигнала. Это приводило к задержкам в передаче данных и их сохранению в архиве до момента восстановления связи. Даже учитывая возможность хранения данных в памяти устройства, такие недостатки делают технологию LoRaWAN сложно сочетаемой с системами оперативного реагирования на аварийные ситуации в сети водоснабжения. Кроме того, для предприятий, имеющих распределительные системы в городских условиях размещение базовых станций может приводить к ряду сложностей. Это связано с необходимостью координации с муниципальными службами, получением разрешений, а также с физическими препятствиями, такими как высокие здания, деревья и другие объекты, которые могут мешать передаче сигнала.

Вместе с тем, когда речь идет о локализованных предприятиях или заводах, применение LoRaWAN становится более оправданным. На ограниченной территории, где нет необходимости в широком покрытии и где существует возможность обеспечить оптимальное размещение антенн, данная технология может предоставить надежное и эффективное решение для мониторинга в системах технического водоснабжения.

Для обеспечения надежной передачи данных с разнообразных объектов водоснабжения целесообразно использовать стандартный IP-протокол. Он подходит для сетей сотовой связи, включая 2G (GPRS) и IoT (NB-IoT). В этой системе данные передаются через базовые станции мобильных операторов. Для оптимизации обработки этой информации можно использовать описанный ранее развивающийся прикладной протокол MQTT, который в дополнение имеет ряд важных особенностей [17–19]:

1. Оптимизированный объем трафика при передаче данных от УСПД к серверу обработки. С частотой измерения каждые 5 мин ежемесячное потребление трафика регистрировалось в пределах 50 Мб. Этот незначительный объем данных позволяет эффективно использовать каналы связи, уменьшая нагрузку на сети мобильных операторов. Приходящий на сервер пакет данных представляется в текстовом формате JSON, обеспечивая полную информацию для дальнейшего анализа. В качестве примера рассмотрим фрагмент пакета телеметрии от устройства NB-12 российского производителя «Вега-абсолют». В нем представлены: причина инициации связи (ключ «reason»), момент времени создания записи («utc»), показания температуры устройства («temp»), данные о состоянии токовой петли («current»), необходимые для конвертации в измеряемое давление:

```
telemetry:{reason: time; utc: 1678616705; bat: 66; temp: 8.3; adc1: 1527; current: 8.58; bat_drop: 3.21; pulse1: 0; pulse2: 0; s_alarm1: 1; s_alarm2: 1; s_magnet: 0; s_curovr: 0; s_bde :0}} clientId:NB-12
```

Наряду с традиционными форматами данных передача информации в структуре JSON предоставляет значительные преимущества, к которым относится упрощение парсинга, обработки, хранения и обмена данными.

2. MQTT-протокол гарантирует уникальную доставку каждого сообщения. Таким образом, каждый пакет будет получен «точно один раз», исключая потери или повторения. Этот аспект критически важен для непрерывного отслеживания ключевых метрик в технологических процессах системы водоснабжения.

3. Используется концепция топиков для определения устройств и путей передачи информации. Это дает возможность клиентам выбирать интересующие их данные и получать только соответствующие уведомления. Основываясь на модели «издатель-подписчик», MQTT позволяет устройствам функционировать как в роли отправителей (или издателей) данных, так и в качестве получателей (или подписчиков) информационных сообщений. В роли «брокера» выступает сервер данных, который поддерживает соединения с устройствами, управляет их подключениями и отключениями от сети (рис. 3). Брокер MQTT играет ключевую роль в обеспечении надежной, эффективной и безопасной коммуникации между устройствами в системах IoT и промышленной автоматизации.

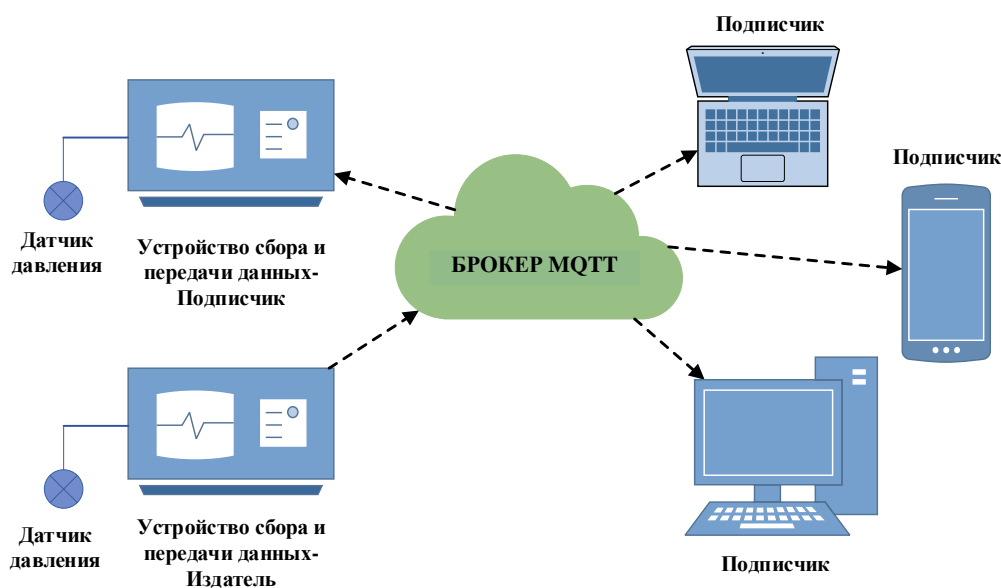


Рис. 3. Схема взаимодействия устройств с использованием протокола прикладного уровня MQTT

Интеграция современных технологий, в частности интернета вещей (IoT), в системы водоснабжения открывает новые горизонты для мониторинга, управления и оптимизации ресурсов. Выбор правильного метода передачи данных и соответствующего протокола обмена играет решающую роль в обеспечении надежности и актуальности собранной информации. Подходы, основанные на модели «издатель-подписчик», реализованные в прикладном протоколе MQTT, предоставляют гибкость и масштабируемость, позволяя устройствам быть взаимосвязанными и реагировать на изменения в реальном времени. Однако выбор технологии должен основываться на конкретных потребностях системы, ее масштабе и целях. Тщательное планирование, учет всех аспектов, включая структуру хранения и методы обработки данных, а также использование продвинутых технологий искусственного интеллекта, могут максимально повысить эффективность систем водоснабжения в период цифровизации.

### Литература

1. О Компании ООО «Вега-Абсолют. – URL: <https://vega-absolute.ru/manufacture/> (дата обращения: 16.10.2023).
2. О компании TELEOFIS. – URL: <https://teeofis.ru/about/> (дата обращения: 16.10.2023).
3. Pipe Insulation Monitoring система дистанционного контроля состояния изоляции ПИ-труб TELEOFIS. – URL: [https://iice.by/solutions\\_products/pi\\_monitoring/](https://iice.by/solutions_products/pi_monitoring/) (дата обращения: 16.10.2023).
4. Васильев И. Спутниковый IoT для нефтегазовой промышленности // Технологии и средства связи. – 2020. – № S1. – С. 84–85. – EDN: CDCIPX.
5. Грачева Е.И., Сафин А.Р., Садыков Р.Р. Применение аналитического метода расчета надежности элементов систем электроснабжения на основе вероятностных моделей // Надежность и безопасность энергетики. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 48–52.
6. Интеллектуальные системы учета как инструмент снижения потерь электрической энергии / Т.А. Мусаев, О.В. Федоров, С.Р. Шагеев, М.В. Прохорова // Строительство: новые технологии – новое оборудование. – 2021, № 2. – С. 52–55. – EDN: GDPLEJ.
7. Optimize the cost of paying for electricity in the water supply system by using accumulating tanks / A. Kapanski, N. Hruntovich, S. Bakhur [et al.] // E3S Web of Conferences, Prague, 14–15 мая 2020 года. – Prague, 2020. – P. 01065. – DOI 10.1051/e3sconf/202017801065. – EDN: CSSMKC.
8. Попов В.К., Бочаров А.В. Состояние водоснабжения г. Томска и эколого-экономические последствия // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2008. – № 3(20). – С. 180–188. – EDN: JTXYWR.
9. Белов О.А. Методология оценки технического состояния электрооборудования при развитии параметрических отказов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2015. – № 3. – С. 96–102.
10. Белов О.А., Парфенкин А.И. Системная интеграция контроля электрооборудования // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 14–17.
11. Chow T.W.S., Leung C.T. Neural network based short-term load forecasting using weather compensation // IEEE Transactions on Power Systems. – 1996. – Т. 11, № 4. – P. 1736–1742.
12. Ho K.L., Hsu Y.Y., Yang C.C. Short term load forecasting using a multilayer neural network with an adaptive learning algorithm // IEEE Transactions on Power Systems. – 1992. – Т. 7, № 1. – P. 141–149.
13. Cottrell M. et al. Neural modeling for time series: a statistical stepwise method for weight elimination // IEEE transactions on neural networks. – 1995. – Т. 6, № 6. – P. 1355–1364.
14. Liu Y.T. et al. A solar powered long range real-time water quality monitoring system by LoRaWAN // 2018 27th Wireless and Optical Communication Conference (WOCC). – IEEE, 2018. – P. 1–2.
15. Khutsoane O., Isong B., Abu-Mahfouz A.M. IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN // IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – IEEE, 2017. – P. 6107–6112.
16. Tolentino L.K. et al. IoT-Based automated water monitoring and correcting modular device via LoRaWAN for aquaculture // International Journal of Computing and Digital Systems. – 2021. – Т. 10. – P. 533–544.

17. *Hunkeler U., Truong H.L., Stanford-Clark A.* MQTT-S – a publish/subscribe protocol for wireless sensor networks // 2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE'08). – IEEE, 2008. – P. 791–798.

18. *Naik N.* Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP // 2017 IEEE international systems engineering symposium (ISSE). – IEEE, 2017. – P. 1–7.

19. *Thangavel D. et al.* Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware // 2014 IEEE ninth international conference on intelligent sensors, sensor networks and information processing (ISSNIP). – IEEE, 2014. – P. 1–6.