

Беспроводной измеритель температуры с интегрированным LoRa-модемом.

Тест в реальных условиях эксплуатации

В статье подробно рассматривается беспроводной измеритель температуры — аналого-цифровой преобразователь с LoRaWAN-модемом. Приведены результаты испытаний данного устройства в реальных условиях эксплуатации.

Олег Гусев
gusev@auroramobile.ru

Создание эффективной системы мониторинга сетей энергоснабжения (тепло, вода, электричество) является актуальной задачей, особенно в сложных экономических условиях. Сотрудники AURORA Mobile Technologies выбрали для решения данной задачи сравнительно молодую технологию LoRaWAN. Было проведено тестирование в реальных условиях [1], которое показало успешность применения этой технологии для построения систем мониторинга сетей и объектов тепло- и водоснабжения. Следующим шагом стал выпуск датчиков температуры и давления со встроенным LoRa-модемом на базе чипа SX1272 производства Semtech.

В данной статье рассматривается модификация беспроводного измерителя температуры (БИТ), предназначенного для интеграции с платиновыми термопреобразователями сопротивления с HСХ 100П, Pt100, Pt500, Pt1000, имеющими стандартную соединительную головку с четырьмя крепежными винтами. За основу взят комплект платиновых термопреобразователей КТПТР-01 с HСХ 100П производства ЗАО «Термико» (Москва). Комплект предназначен для измерения температуры и разности температур в составе теплосчетчиков и других приборов учета и контроля тепловой энергии

в тепловых сетях промышленных предприятий и теплоснабжающих организаций.

Участники проекта

- AURORA Mobile Technologies (АМТ, Санкт-Петербург) — центр компетенций индустриального «Интернета вещей», поставщик компонентов и готового оборудования для беспроводной передачи данных и навигации, проектировщик и производитель устройств с беспроводным каналом связи и спутниковой навигации.
- ООО «Вега-Абсолют» (г. Новосибирск) — партнер АМТ, производственное предприятие, производитель высококачественного электронного оборудования, специализируется на разработке и производстве систем охраны, систем мониторинга автотранспорта, преобразователей видео- и аудиосигналов.
- ООО «Тоэс» (г. Пермь) — партнер АМТ, проектировщик и оператор систем АСУТП тепло- и водоснабжения в г. Пермь и Пермском крае.

Испытания проводились AURORA Mobile Technologies совместно с «Тоэс» на теплосетях «Головановской энергетической компании» и ИТП объектов, находящихся в управлении УК «Бумажник» (г. Пермь).

Таблица 1. Технические характеристики КТПТР-01

Соответствие	ТУ 4211-070-17113168-10; Госреестр № 46156-10
Головка	полиамид
Защитная арматура	сталь 12Х18Н10Т
Диапазон измеряемых температур, °С	0...+180
Показатель тепловой инерции, с	15
Класс, допуск термометра	A, ±(0,1+0,002хΔt) °С
Степень защиты от пыли и влаги	IP65
Условное давление, МПа	6,3
Номинальный измерительный ток, мА	1

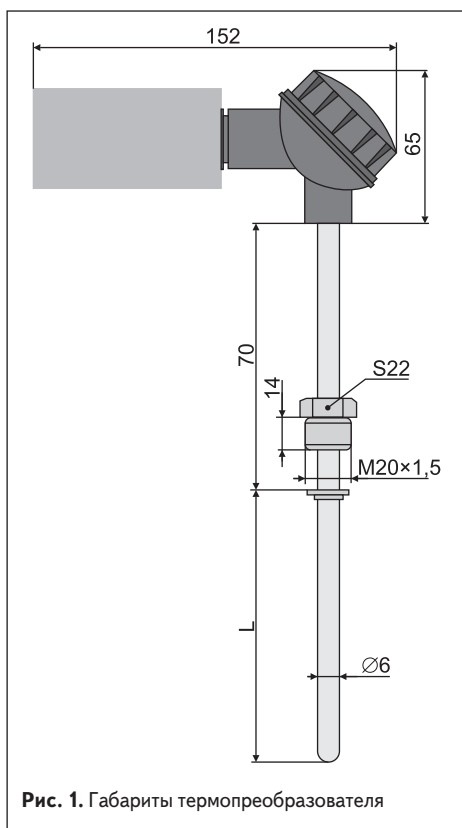


Рис. 1. Габариты термопреобразователя

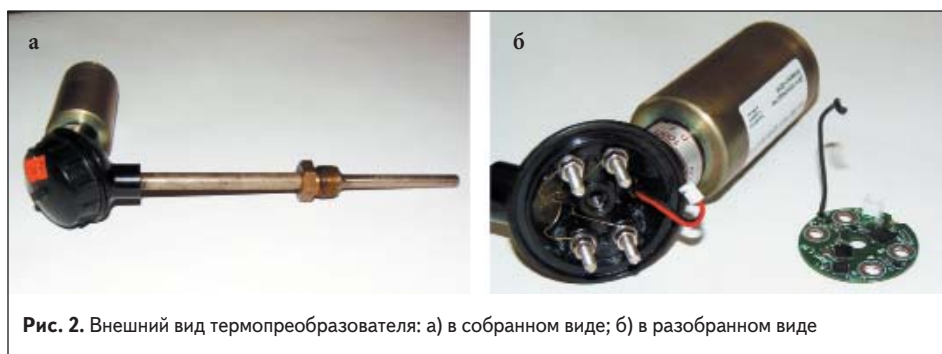


Рис. 2. Внешний вид термопреобразователя: а) в собранном виде; б) в разобранном виде

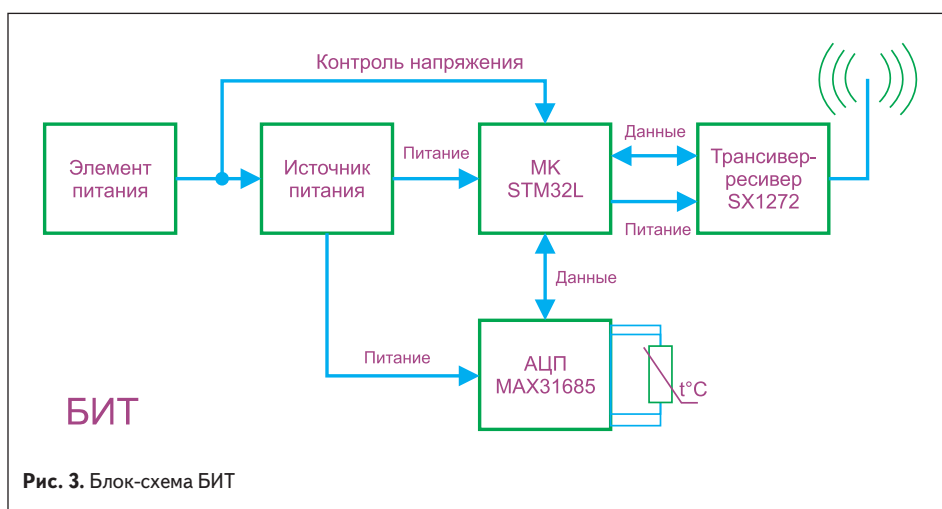


Рис. 3. Блок-схема БИТ

Цель испытаний

- Целью испытаний являлись:
- проверка точности аналого-цифрового преобразования;
 - проверка работоспособности LoRa-модемов в реальных условиях эксплуатации, в особенности в подвальных помещениях, при отсутствии сигнала сети сотовой связи;
 - оценка сложности развертывания, настройки и сопровождения сегмента сети LoRaWAN;
 - оценка радиуса действия базовой станции (БС) LoRaWAN.

Оборудование для испытаний

Основные технические характеристики КТПТР-01 приведены в таблице 1.

Геометрические характеристики термопреобразователя представлены на рис. 1. На рис. 2 показан внешний вид термопреобразователя с АЦП и LoRa-модемом, а на рис. 3 приведена блок-схема прибора.

Как уже отмечалось, модем построен на базе Semtech SX1272 под управлением низкопотребляющего микроконтроллера STM32L151 на базе процессора ARM Cortex-M3. Аналого-цифровое преобразование сигнала от термосопротивления выполняет MAX31685 от Maxim Integrated.

Изображения платы АЦП и модема представлены на рис. 4, а их характеристики приведены в таблице 2.

Доступные функции БИТ:

- измерение температуры (передается автоматически, с периодом, установленным пользователем);
- чтение и изменение периода измерения температуры (и, соответственно, передачи показаний);

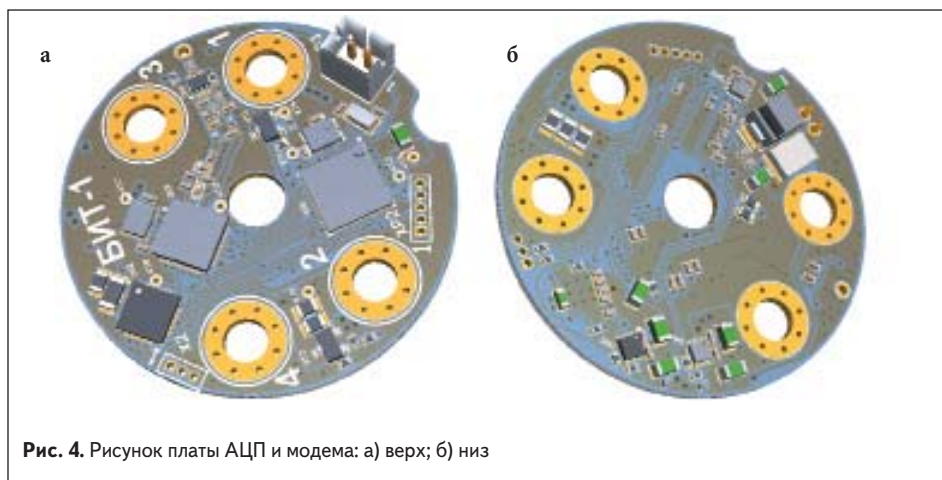


Рис. 4. Рисунок платы АЦП и модема: а) верх; б) низ

Таблица 2. Технические характеристики АЦП и модема

Антенна	встроенная	
Чувствительность, дБ	-138	
Соотношение сигнал/шум, дБ	До -19,5	
Диапазон рабочих частот, МГц	867,1-869,2	
Мощность, мВт	25 (14 дБм)	
Потребление, мА	в режиме приема	11
	в режиме передачи	до 90
Диапазон измеряемых температур, °С	0...+160	
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+85	
Обмен данными	Двунаправленный	
Конфигурирование	Дистанционное	
Протокол передачи данных/опроса устройства	ModBUS RTU	
Скорость передачи, кбит/с	0,24-5,5	
Модуляция	LoRa	
MAC-протокол канального уровня	LoRaWAN v.1	
Элемент питания	Li-ion, тип AA (3,6 В)	



Рис. 5. Общий вид калибратора DBC150TS

Таблица 3. Характеристики калибратора DBC150TS

Диапазон измеряемых температур, °С	-45...+150
Стабильность, °С	0,005
Разрешение, °С	0,01
Точность, °С	0,3
Время нагрева	от +20 до +120 °С — 14 мин.
Время охлаждения	от +25 до -20 °С — 22 мин.

Таблица 4. Результаты поверки датчиков с помощью калибратора DBC150TS

Температура калибратора, °С	0	10	20	40	60	80	100	120	140
Показания БИТ, °С	0,299	10,10	19,99	39,85	59,67	79,61	99,51	119,54	139,67

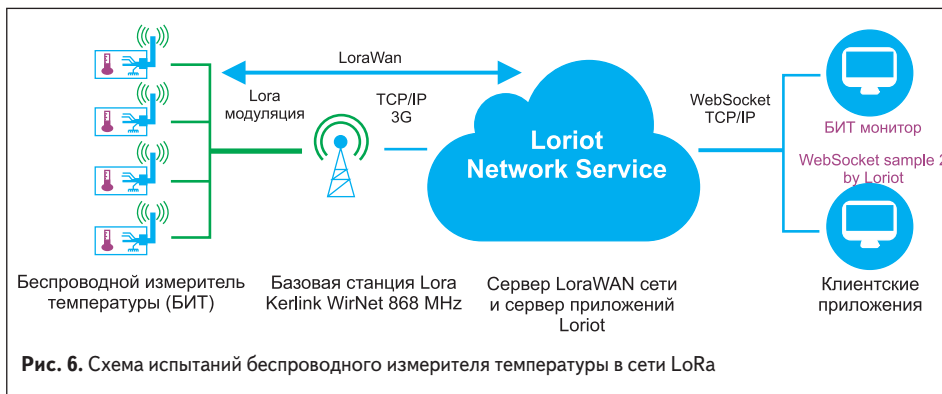


Рис. 6. Схема испытаний беспроводного измерителя температуры в сети LoRa

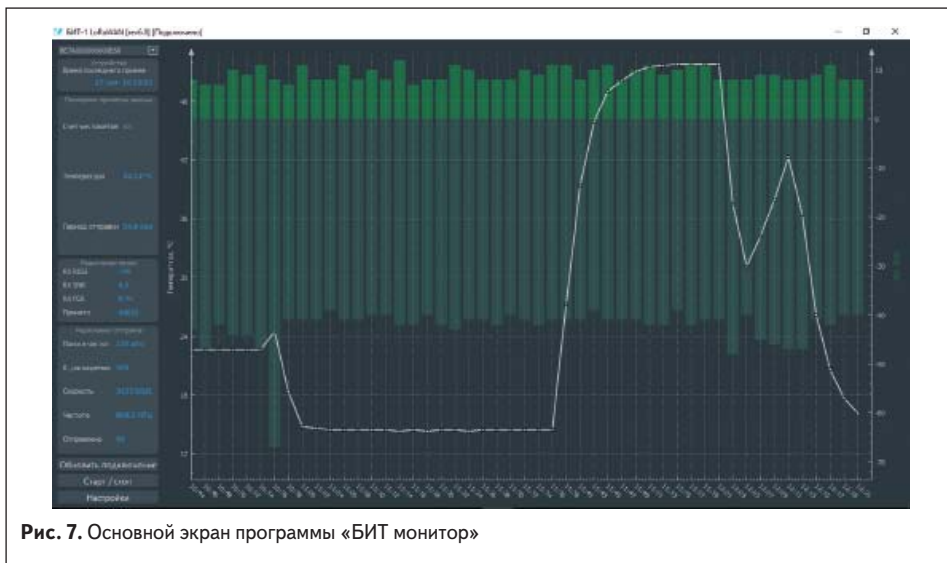


Рис. 7. Основной экран программы «БИТ монитор»

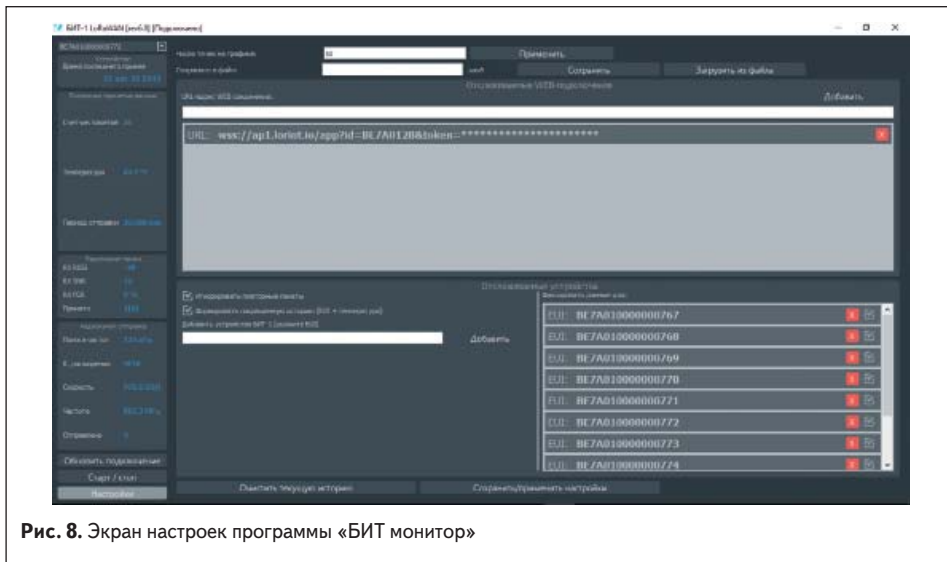


Рис. 8. Экран настроек программы «БИТ монитор»

- чтение и программирование коэффициентов и параметров АЦП;
- дистанционный контроль состояния батареи.

Поверка датчиков

Поверка датчиков проводилась с помощью калибратора DBC150TS производства компании GE Druck (рис. 5). Характеристики калибратора приведены в таблице 3.

Краткие результаты поверки приведены в таблице 4. Видно, что в тестируемом диапазоне температур отклонения не превысили 0,49 °С.

Схема испытаний

Схема испытаний представлена на рис. 6. В качестве Network Server и Application Server использовался публичный сервис Loriot (Loriot.io), обеспечивающий подключение пользовательских приложений по протоколам WebSocket, MQTT и REST. В качестве приложений пользователя, предназначенных для контроля и записи параметров сигнала и переданных значений, использовалось ПО «Бит монитор» и WebSocket sample 2 от Loriot. «Бит монитор» был создан Алексеем Мальневым, инженером-программистом компании «Вега-Абсолют». Он же является автором ПО для БИТ.

«Бит монитор» общается с сервисами Loriot по протоколу WebSocket и получает от Loriot посылку следующего формата:

{EUI, ts, FCnt, frequency, datarate, RSSI, SNR, port, data},

где: *EUI* — глобальный уникальный идентификатор датчика; *Timestamp* — метка времени (UNIX timestamp); *FCnt* — номер пакета, переданного датчиком; *Frequency* — частота передачи пакета; *Datarate* — значения параметров LoRa-модуляции при приеме пакета; *RSSI* — уровень сигнала на БС при приеме данного пакета; *SNR* — соотношение

сигнал/шум на БС при приеме данного пакета; **port** — номер порта БС, принявшего пакет от датчика; **data** — значение, переданное датчиком.

Снимки основного экрана и экрана настроек «БИТ монитор» приведены на рис. 7 и 8.

Веб-приложение WebSocket sample 2 от Lorient запускалось на планшете и использовалось для контроля наличия и характеристик сигнала при установке датчиков на объектах (рис. 9).

Точки установки аппаратуры

В качестве БС LoRaWAN использовалась KERLINK WInet Station 868MHz, установленная на крыше здания по адресу ул. Бумажников, 15 (рис. 10). БС была предоставлена для тестирования партнером АМТ — компанией «КВЕСТ», официальным дистрибьютором KERLINK в России. Высота установки оборудования над землей — 21 м, над кровлей — 7 м. WAN-соединение обеспечивалось через 3G от МТС. Настройка и установка БС заняла 1 ч.

Карта местности, на которой проводились испытания, представлена на рис. 11. Микрорайон обслуживался одной БС LoRaWAN. Датчики температуры были установлены на трубопроводах, наиболее удаленных от места установки БС объектов энергетической компании. Тепловые объекты расположены в мкр. Бумажников (г. Пермь, Орджоникидзевский р-н).

Объект 1

Первый объект, на котором проводились испытания, — ИТП по адресу ул. Бенгальская, д. 16 (рис. 12).

Датчик был установлен на удалении 0,76 км от БС, в подвале жилого дома. Особенности объекта — железобетонные панели, отсутствие сигнала сотовой связи. Характеристики сигнала, зафиксированные на БС: RSSI — от -114 до -121; SNR — от -11,2 до 1,2. Пропусков пакетов и ошибок передачи не зафиксировано.

Объект 2

Второй объект располагался по адресу пер. 2-й Мозырский, д. 30, бойлерная (рис. 13).



Рис. 10. Место установки БС

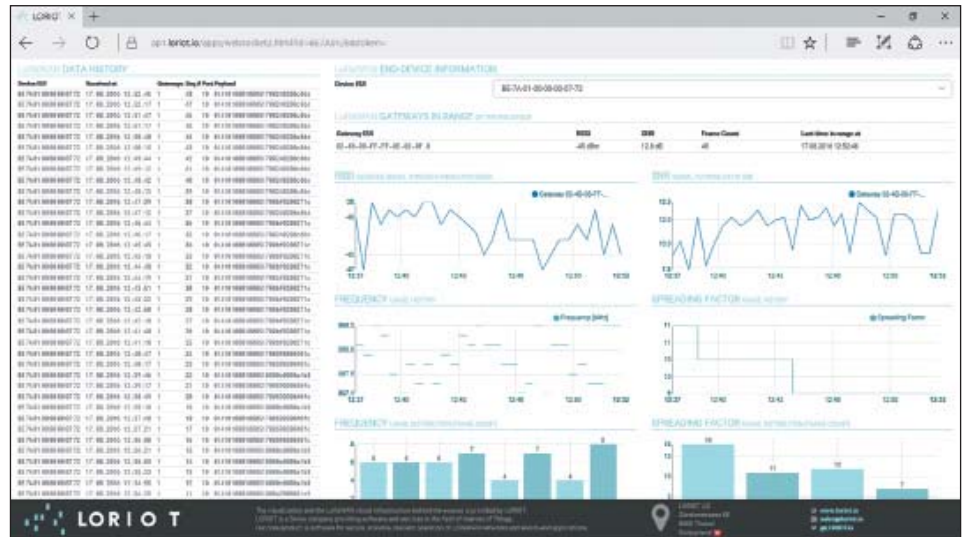


Рис. 9. Экран веб-приложения WebSocket sample 2



Рис. 11. Карта микрорайона с указанием мест установки БС (отмечено звездочкой) и датчиков



Рис. 12. Объект 1: а) общий вид; б) место установки датчика (подвал дома)

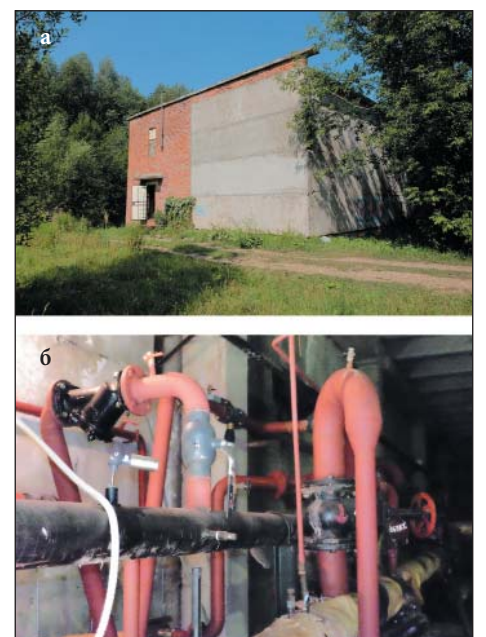


Рис. 13. Объект 2: а) общий вид; б) место установки датчика



Рис. 14. Объект 3: а) вид снаружи; б) место установки датчика

Датчик был установлен на удалении 0,9 км от БС. Особенности объекта — ж/б конструкции, материал стен и кровли — кирпич. Характеристики сигнала, зафиксированные на БС: RSSI — от -103 до -120 ; SNR — от $-8,5$ до $9,5$. Пропусков пакетов и ошибок передачи также не зафиксировано.

Объект 3

Третий объект — ул. Евг. Пузырева, д. 2, ДК «Бумажник» (рис. 14). Расстояние от БС — 0,88 км. Особенности объекта — подвал здания, ж/б конструкции, сигнал сотовой связи отсутствует. Характеристики сигнала, зафиксированные на БС: RSSI — от -113 до -121 ; SNR — от $-9,5$ до $6,5$. И в этом случае пропусков пакетов и ошибок передачи не зафиксировано.

Объект 4

Еще один датчик был установлен в Чусовском водозаборе, на удалении 4 км от БС, открытая установка (рис. 15).

Характеристики сигнала, зафиксированные на БС: RSSI — от -113 до -119 ; SNR — от $-3,5$ до 5 . Пропусков пакетов и ошибок передачи также не зафиксировано.



Рис. 15. Карта местности с указанием объекта 4 (Чусовский водозабор)

Итоги

Благодаря открытости стандарта LoRaWAN, участникам проекта удалось в короткие сроки создать автономный датчик температуры, устойчиво работающий в сложной для распространения радиоволн среде.

В ходе эксперимента доказана эффективность применения технологии LoRaWAN для мониторинга состояния сетей и объектов теплоснабжения в сложных условиях эксплуатации на удаленных промышленных объектах.

По результатам тестирования принято решение о реализации проекта мониторинга теплосетей. Также достигнута договоренность с российским оператором на рынке услуг по передаче данных в отрасли «Интернет вещей» — компанией «Лартех Телеком» — о развертывании сегмента LoRaWAN сети в Перми в сентябре 2016 г.

Очевидно, что применение LoRaWAN не ограничивается только объектами теплоснабжения и даже ЖКХ в целом. Уже сейчас AURORA Mobile Technologies получает множество запросов на создание систем мониторинга различных параметров на промышленных объектах и в торговых точках. Безусловно, модули LoRaWAN могут быть с успехом применены и в этих проектах.

На сегодня компанией АМТ создан целый ряд приборов на базе модемов с LoRa, в числе которых — беспроводной измеритель температуры, беспроводной датчик давления, счетчик электроэнергии с интегрированным LoRa-модемом и универсальный LoRa-модем. Все устройства прошли тестирование в реальных условиях эксплуатации и будут запущены в серийное производство уже в 2016 г. ■

Литература

1. Гусев О. Эксперимент по созданию системы мониторинга хозяйственных объектов с использованием LoRaWAN // Беспроводные технологии. 2016. № 2.
2. www.auroramobile.ru
3. vega-absolute.ru
4. toesperm@yandex.ru
5. www.icquest.ru
6. <http://lar.tech/>