

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

УДК 681.51

doi:10.21685/2307-5538-2022-3-1

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УЧЕТА И УПРАВЛЕНИЯ КОММУНАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LoRaWAN

**К. Е. Зикирбай¹, Ж. Н. Алимбаева², Ч. А. Алимбаев³,
Б. Т. Молдаш⁴, Д. Б. Мусилимов⁵**

^{1,4,5} Казахский национальный исследовательский университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

² Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

³ Институт механики и машиноведения имени академика У. А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан

¹kuanish_921@mail.ru, ²zhadyralimbay@gmail.com, ³chingiz_kopa@mail.ru,

⁴bibinarsarimova@gmail.com, ⁵iamthegreatthanos@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Данное пилотное исследование фокусируется на разработке, внедрении, оптимизации и проверке нового решения интеллектуального измерения потребления электроэнергии и воды для ведения интеллектуального управления и баланса электрическими и водными ресурсами. *Материалы и методы.* Разработанная система состоит из программной платформы и приборов учета энергоресурсов с протоколом IEC62056-21 и CoAP (Constrained Application Protocol) с технологией LoRaWAN. Одним из направлений решения данной задачи является точный контроль и учет энергоресурсов со всех счетчиков, без участия человека. Именно это направление должно обеспечить значительную часть общего энерго-, газо-, водосбережения, потенциал которого составляет более 1/3 всего нынешнего объема потребления. Основой его является инструментальное обеспечение, которое представляет собой совокупность систем приборов и устройств, каналов связи, алгоритмов для контроля и управления параметрами потребления энергоресурсов. *Результаты и выводы.* Базой формирования и развития инструментального обеспечения являются автоматизированные системы комплексного учета коммунальных услуг.

Ключевые слова: интеллектуальный учет, LoRaWAN, автоматизированная система комплексного учета коммунальных услуг

Для цитирования: Зикирбай К. Е., Алимбаева Ж. Н., Алимбаев Ч. А., Молдаш Б. Т., Мусилимов Д. Б. Система интеллектуального учета и управления коммунальными ресурсами на основе технологии LoRaWAN // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 6–19. doi:10.21685/2307-5538-2022-3-1

INTELLIGENT SYSTEM FOR ACCOUNTING AND MANAGEMENT OF UTILITY RESOURCES BASED ON LoRaWAN TECHNOLOGY

K.E. Zikirbay¹, Zh.N. Alimbaeva², Ch.A. Alimbaev³, B.T. Moldash⁴, D.B. Musilimov⁵

^{1,4,5} K.I. Satpayev Kazakh National Research University, Almaty, The Republic of Kazakhstan

² Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, The Republic of Kazakhstan

³ Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, The Republic of Kazakhstan

¹kuanish_921@mail.ru, ²zhadyralimbay@gmail.com, ³chingiz_kopa@mail.ru,

⁴bibinarsarimova@gmail.com, ⁵iamthegreatthanos@gmail.com

Abstract. *Background.* This pilot study focuses on the development, implementation, optimization and validation of a new smart metering solution for electricity and water consumption for smart management and balance of electricity and water resources. *Materials and methods.* The developed system consists of a software platform and energy meters with the IEC62056-21 protocol and CoAP (Constrained Application Protocol) with LoRaWAN technology. One of the directions for solving this problem is the precise control and accounting of energy resources from all meters, without human intervention. It is this direction that should provide a significant part of the total energy, gas, water savings, the potential of which is more than 1/3 of the total current consumption. Its basis is instrumental support, which is a set of systems of instruments and devices, communication channels, algorithms for monitoring and managing the parameters of energy consumption. *Results and conclusions.* The basis for the formation and development of instrumental support are automated systems for the integrated accounting of utilities.

Keywords: smart accounting, LoRaWAN, automated system for integrated accounting of utilities

For citation: Zikirbay K.E., Alimbaeva Zh.N., Alimbaev Ch.A., Moldash B.T., Musilimov D.B. Intelligent system for accounting and management of utility resources based on lorawan technology. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2022;(3):6–19. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-3-1

Введение

Смысл создания и использования автоматизированной системы комплексного учета (АСКУКУ) заключается в постоянной экономии энергоресурсов и финансов коммунальных предприятий при минимальных начальных денежных затратах. Величина экономического эффекта от использования АСКУКУ достигает по предприятиям в среднем 15–30 % от годового потребления энергоресурсов, а окупаемость затрат на создание АСКУКУ происходит за 2–3 квартала [1].

АСКУКУ сохранится как автоматизированная система, позволяющая в первую очередь выявлять все потери энергоресурсов, связанные с неэффективным человеческим участием в процессе энергопотребления. Решение проблем энергосбережения и снижения финансовых потерь на современных предприятиях невозможно без организации комплексного автоматизированного высокоточного контроля и учета энергопотребления. По этой причине разработка многофункциональных АСКУКУ является актуальной задачей, так как большинство действующих автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов выполняют в основном функции учета электроэнергии [2–4].

Развитие технологий IoT (Интернет вещей) позволяет нам использовать интеллектуальные технологии в областях, которые еще невозможно вообразить. Их постоянная интеграция в повседневную жизнь связана с широкой поддержкой проектов «Умный город», в которых собранные данные (потребление воды, газа, электричества или уличного освещения) используются для улучшения качества жизни в городах [5, 6]. Концепция «умного города» предусматривает размещение датчиков в важных узлах распределительной сети, что позволит нам быстро обнаруживать крупные утечки [7, 8]. К основным методам обнаружения утечки воды/газа/электричества относится метод AMR (который также включен в наше решение).

На рынке доступно множество типов счетчиков воды/газа/электроэнергии без необходимой поддержки удаленного считывания показаний. Они предназначены в первую очередь для визуального представления потребления энергоресурсов, когда все еще требуется присутствие человека-оператора. Однако необходимо устанавливать только устройства, которые позволяют использовать удаленное считывание, чтобы повысить энергоэффективность на всем протяжении энергетической цепочки и предоставить потребителям точную, правдивую и надежную информацию об их потреблении энергии. Тем не менее рынок не предлагает открытого и широко известного стандарта связи для передачи данных. Таким образом, большинство производителей разрабатывают собственные решения с использованием новых протоколов связи, таких как LoRaWAN, Sigfox или NarrowBand IoT [9].

Исследование посвящено внедрению удаленной системы IoT для мониторинга потребления электричества/газа/воды (включая возможные утечки) с использованием технологии LoRaWAN. Текущее развитие в области Интернета вещей позволяет нам удовлетворить постоянно растущие потребности в экономном использовании электрических/газовых и водных ресурсов, вызванные текущей климатической ситуацией в Республике Казахстан. Поскольку большинство производителей должны полагаться на покрытие сигнала местными поставщи-

ками, которые взимают ежемесячную плату за каждое устройство, подключенное к их сети, мы также предложили новый недорогой модульный шлюз LoRaWAN. Система также готова к возможной замене коммуникационного модуля на другой тип (например, SigFox).

Материалы и методы

Весь процесс разработки прототипа описан на рис. 1.



Рис. 1. Концепция интеллектуального счетчика электричества/газа/воды

Предлагаемая платформа является модульной, как показано на рис. 2, и состоит из двух модулей: 1 – несущей платы и 2 – процессорного модуля RisingHF с необходимым протоколом связи. Оба модуля описаны ниже. Из-за использования устройства в водоснабжениях и газоснабжениях необходимо защищать устройство, особенно от повышенной влажности. Для этого используются стандартные распределительные коробки с индексом защиты IP67.

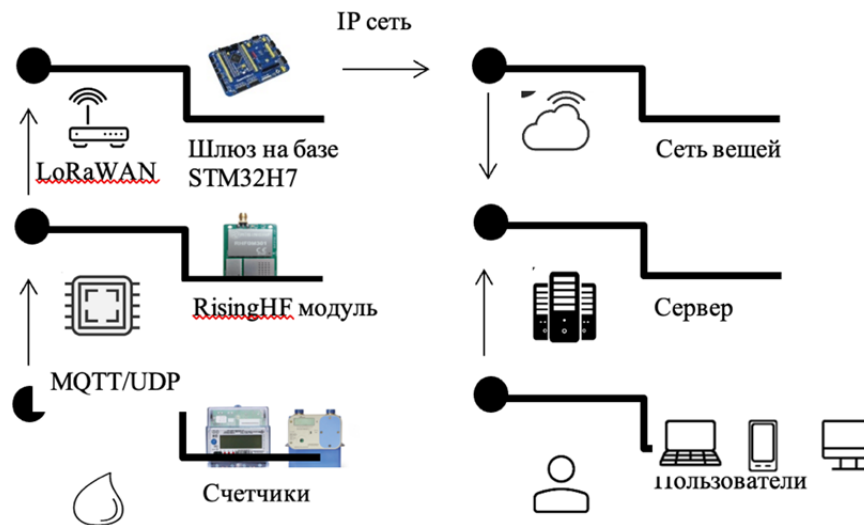


Рис. 2. Концепция предлагаемой системы интеллектуального учета

При предложении решения были установлены следующие требования на основе сотрудничества с компаниями ТОО Корпорация Сайман:

- модульность между модулями, подключенными для чтения данных с датчиков, и остальной частью системы;
- использование исключительно стандартизованных интерфейсов;
- возможность подключения других внешних датчиков (например, датчика наводнения/утечки газа) через эти стандартные интерфейсы;
- преобразователь DC-DC для питания от батареи;
- минимальный срок службы батареи два года;
- интеграция шлюза LoRaWAN в систему передачи данных;

– интервал передачи данных с устройства на шлюз не реже одного раза в час.

Другая часть измерительной цепи включает шлюз, который собирает данные с отдельных датчиков. Используемый шлюз основан на платформе STM32H7 с использованием платы от STM32Microelectronics (Франция). Модульная система предлагаемого устройства включает интерфейсный модуль с двумя входами с открытым коллектором и интерфейс UART для подключения к цифровым интерфейсам, поэтому можно использовать герконовый переключатель и любую имеющуюся в продаже приставку для считывания показаний расходомеров. Защита от перенапряжения и RC-фильтр входов настроены на фильтрацию импульсов менее 20 мс и шума.

Общая схема предлагаемой измерительной системы представлена на рис. 3.

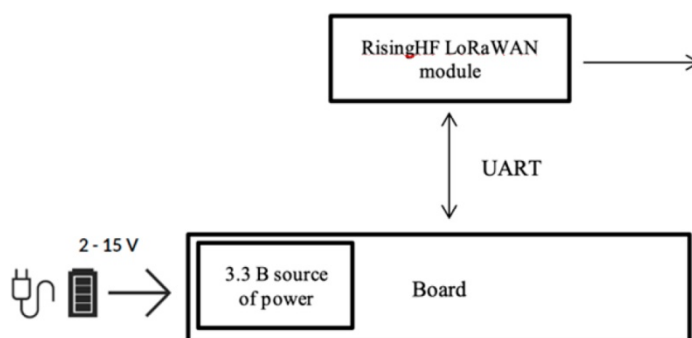


Рис. 3. Схема предлагаемого измерительного датчика

Плата передатчика DC–DC

Как показано на рис. 3, несущая плата состоит из разъема питания (JST-PH2) с диапазоном мощности от 2 до 15 В, разъема UART преобразователя и разъемов, выбираемых в зависимости от интерфейсов. Полный дизайн представлен на рис. 4. Блок питания всего устройства спроектирован с учетом защищенной функциональности как в низком диапазоне напряжения LiFePO₄ батареи (2,6 В), так и в высоком диапазоне 12 В аккумулятора (максимум 13 В). Мы предполагаем, что максимальный ток на ветви 3,3 В не превышает 200 мА. В качестве интегрированного импульсного источника питания использовалась повышающая-понижающая микросхема LTC3129. Предлагаемая схема источника питания позволяет отключать процессорный модуль, если он запитан извне, чтобы предотвратить перезаряд между этими источниками. Это подготовка для модуля RisingHF с внешним разъемом (UART), который будет использоваться для питания всего устройства во время программирования.

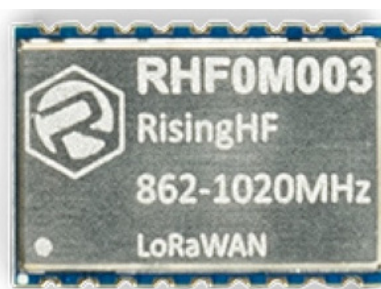


Рис. 4. Печатная плата (PCB) с модулем RisingHF с интерфейсом UART для считывания показаний с приборов учета

Блок процессора RisingHF

Основная часть процессорного блока состоит из модуля, который включает в себя процессор, модем и выбранную периферию (память F-RAM). Блок-схема этого модуля показана на рис. 5 и принципиальная схема – на рис. 6. Периферия микропроцессора подключена к боковой стороне разъема UART. Антенну можно подключить через разъем SMA с проводимостью 50 Ом к модулю LoRaWAN. Основные свойства процессора STM32L07x приведены в работе [10].

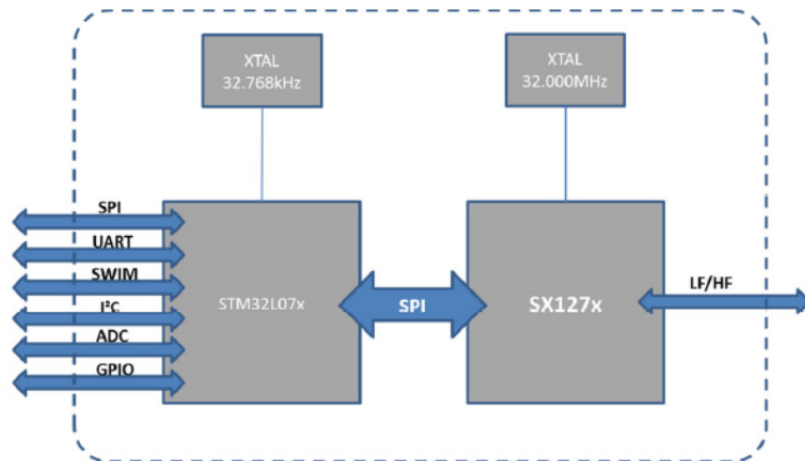


Рис. 5. Блок-схема процессорного модуля

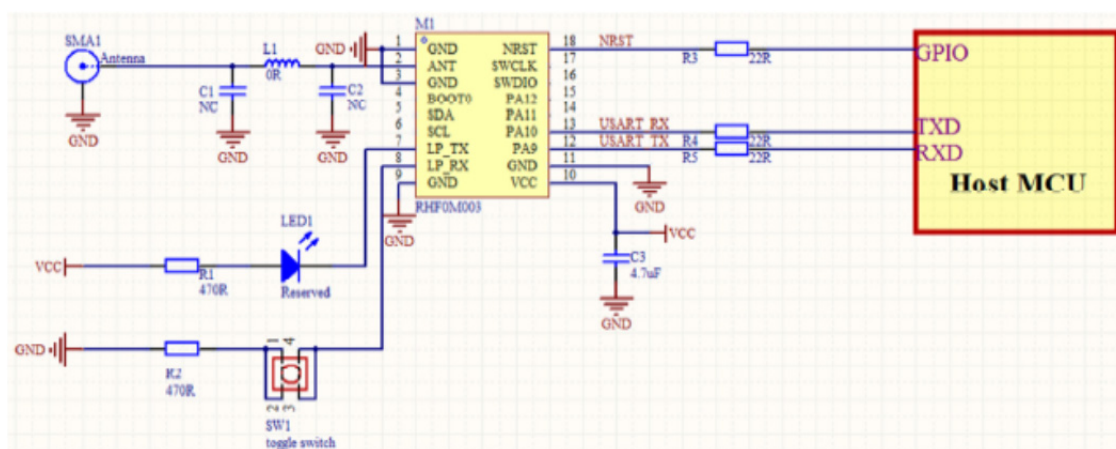


Рис. 6. Принципиальная схема модуля

Прошивка

Прошивка для выбранного микроконтроллера STM32 на предлагаемой платформе IoT использует экосистему, которая написана на языке функционального программирования Си. Преимущество этого решения – возможность быстро менять функционал исходя из текущих требований (FreeRTOS).

Частота передачи

Устройство содержит внутреннюю память F-RAM, где текущее состояние счетчика импульсов сохраняется через регулярные промежутки времени, чтобы поддерживать его состояние после отключения электроэнергии. Эти данные впоследствии отправляются через заранее определенный интервал времени с помощью модуля LoRaWAN. В нашем случае временной интервал отправки данных установлен на 1 ч. Минимальный интервал отправки данных – 3 мин.

Потребление энергии

Для целей проверки и тестирования устройство питалось от сетевой розетки, но теоретический срок службы при работе от батареи (батарея 3xAA LR6) составляет минимум два года с интервалом отправки полученных данных в 1 ч (счетчик импульсов, влажность и температура) (расчет на основе STM32CubeMX). Общее потребление при 132 мкА составляет 3,0 В.

LoRaWAN шлюз

Шлюз основан на платформе STM32H7, к которой объединительная плата iC880A подключена через шину SPI (последовательный периферийный интерфейс). Объединительная

плата представляет собой плату для подключения iC880A-SPI к STM32H7 и служит для питания STM32H7 и самой платы RisingHF (см. рис. 6). Модуль RisingHF можно использовать во многих приложениях, таких как интеллектуальное измерение, IoT или построение сети M2M. Он может получать пакеты от нескольких разных конечных точек одновременно, когда они отправляются с разными настройками SF, по восьми каналам одновременно. Следовательно, он обеспечивает возможность надежной связи между шлюзом и большим количеством конечных точек в разных расстояниях.

Как только данные получены шлюзом, они немедленно отправляются через IP-сеть на сервер, где данные обрабатываются и оцениваются.

Технология передачи LoRaWAN

Шлюз, основанный на технологии LoRaWAN, представляет собой протокол беспроводной сети с низким энергопотреблением, предлагаемый для недорогой и безопасной связи в области Интернета вещей. LoRa – это физический уровень, используемый для установления удаленного канала связи, основанный на модуляции Chirp-Spread-Spectrum, которая сохраняет те же свойства низкого энергопотребления, что и модуляция FSK (частотно-сдвиговая манипуляция), но значительно увеличивает возможный диапазон связи. Технология Chirp-Spread-Spectrum используется в основном в военной и космической сферах из-за возможных больших расстояний связи и устойчив к помехам. LoRa – первая недорогая реализация этой технологии для коммерческого использования [9].

Еще одно преимущество LoRa – возможность гибкой настройки, позволяющей менять диапазон сигнала путем настройки полосы пропускания (BW), коэффициента расширения (SF) и скорости кодирования (CR). Согласно техническим требованиям KZ865-868 для промышленности, науки и медицины (ISM) полоса пропускания может достигать значений 125, 250 и 500 кГц. SF может быть установлен в диапазоне от 7 до 12, когда он достигает значение 7 для междугородной связи (до 4 км в зависимости от окружающей среды) и значение 12 для междугородной связи. CR повышает надежность приема кода 4-битных данных с избыточностью для исправления ошибок в вариантах 4/5, 4/6, 4/7 или 4/8. Битрейт LoRa рассчитывается согласно следующему уравнению [11, 12]:

$$R_b = SF \frac{BW}{2^{SF}} \frac{4}{4 + CR} \left[\text{bit s}^{-1} \right], \quad (1)$$

где SF – фактор распространения; BW – ширина полосы; CR – кодовая скорость.

Уравнение (1) показывает, что SF является одним из доминирующих факторов при вычислении битовой скорости, которая определяет физическую скорость передачи данных (скорость передачи данных (DR), (DT)).

Узлы в сети LoRaWAN являются асинхронными, и связь прекращается после того, как данные готовы к отправке, независимо от того, является ли это условие управляемым событием или запланированным. Узлам часто приходится «просыпаться» в ячеистой или синхронной сети, например сотовой, синхронизироваться с сетью и проверять сообщение. Эта синхронизация потребляет значительное количество энергии и является основной причиной сокращения срока службы батареи. Терминальное оборудование также используется для разных приложений и предъявляет совершенно разные требования. Терминальное оборудование класса A обеспечивает двустороннюю связь, когда за каждой передачей оконечного оборудования по восходящей линии связи следуют два коротких окна приема для нисходящей линии связи.

Излучающий слот оконечного оборудования основан на его собственных коммуникационных потребностях (протокол LoRa). Следовательно, терминальному оборудованию требуется связь по нисходящей линии связи от сервера вскоре после того, как она отправила восходящую линию связи на сервер. Любая другая связь по нисходящей линии связи должна ждать, прежде чем следующий датчик начнет излучение. Терминальное оборудование класса B открывает другие окна приема, такие как реакция на триггер от шлюза, указывающий на «прослушивание» оконечного оборудования. Терминальное оборудование класса C имеет практически постоянно открытые окна приема, закрывающиеся только во время передачи данных на сервер [13].

Концепция устройства соответствует требованиям для отнесения к классу *A* для приборов учета воды и газа, так как эти виды счетчиков будут работать от батарейки и требуют низкого энергопотребления, а для счетчиков электричества используется класс *C*, что позволяет получить мгновенные данные.

Результаты

Экспериментальное рабочее место было построено для первичного тестирования, как показано на рис. 7. Испытательная схема состояла из плат приборов учета электроэнергии, газа, воды и платы базовой станции. Счетчики воды и газа работают автономно, так как были подключены батарейки: одна батарейка для коммуникационной части по технологиям LoRaWAN, вторая обеспечивает измерение. В данных счетчиках используется класс *A*. Для счетчиков электроэнергии класса 1,09 не требуется дополнительного батарейного питания. Это дает возможность считывать технологические параметры сигнала в режиме реального времени.



Рис. 7. Схема лабораторных испытаний

На рис. 8 показан график лабораторного эксперимента по передаче данных водных счетчиков. Для счетчиков воды испытания проводилось в течение месяца, так как данные с этих приборов мы получаем раз сутки. На рис. 8 видно данные, которые не превышают 2 кБит данных ежедневно, а также видно, что когда мы поставили базовую станцию в подвал, получилась потеря данных в датах 04/03–06/03. Данная информация отражается в системе eu1.loriot.com, куда мы подключили базовую станцию для передачи данных от устройств для дальнейшего анализа.

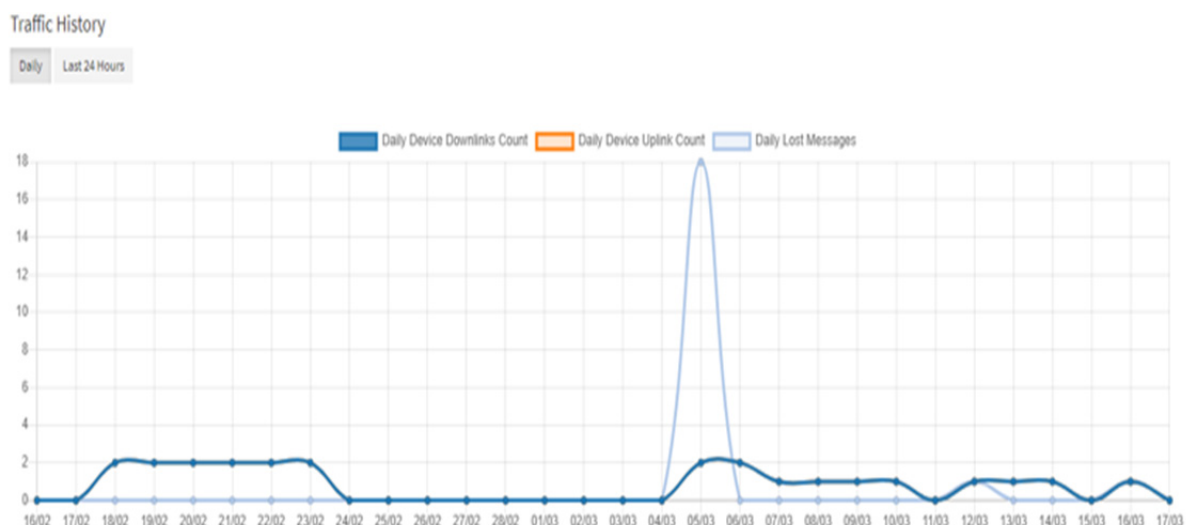


Рис. 8. График передачи данных по дням

На рис. 9 показано соотношение шума к полезному сигналу данных от водосчетчика к базовой станции. Во время теста было изменено местоположение базовой станции для проверки качества сигнала, а также при поиске оптимальной частоты для казахстанских сетей.

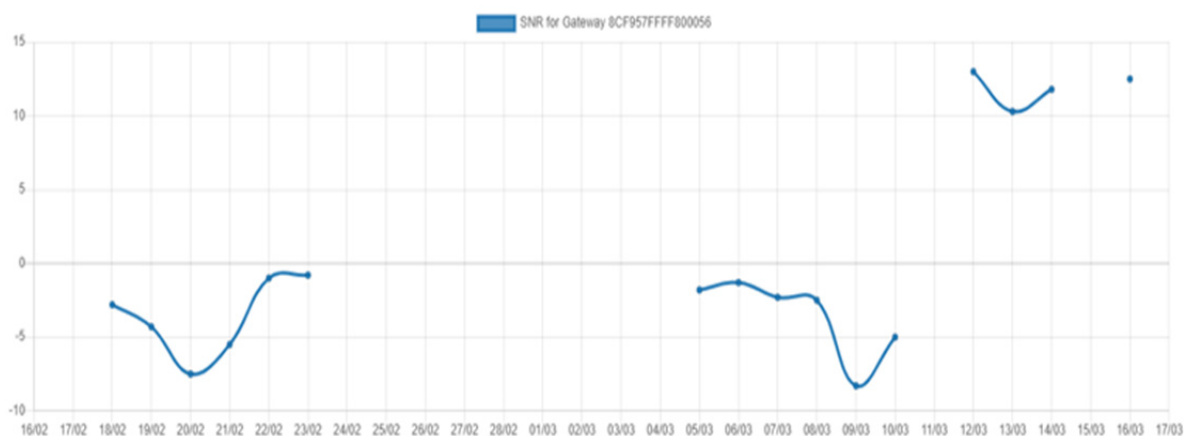


Рис. 9. Качество передаваемой информации

Тест покрытия сигнала

Измерения проводились в городе Алматы в Алмалинском районе (площадь 18,4 км²). Цель заключалась в сравнении распространения сигнала и его радиуса в городских условиях района Алматы (рис. 10).

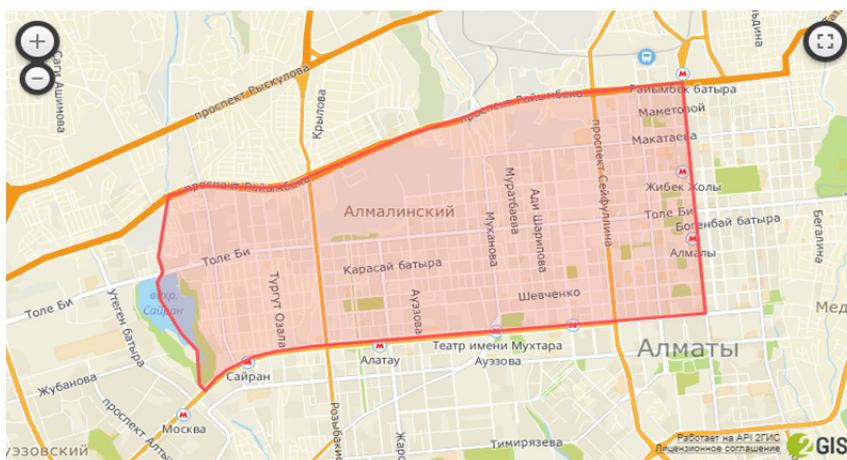


Рис. 10. Границы Алмалинского района города Алматы

Использовалась базовая версия предлагаемой печатной платы (PCB) со встроенным датчиком измерения показания воды, а батарейки CR17450 (для передачи данных по технологии LoRaWAN) и ER14250 (для измерительной части) с напряжением 3,3 В. Все устройство показано на рис. 11.



Рис. 11. Мобильная измерительная система

Измерение проводилось с помощью личного кабинета в системе <https://eu1.loriot.io/dashboard>. Первым шагом является регистрация шлюза на данном сайте, где задаются координаты GPS, частотный план и тип антенны. Второй шаг требует регистрации в сети, определяемой измерительным устройством (в нашем случае Water Meter № 5) с присвоением идентификатора DevEUI. В записи измерения собираются все данные, которые собираются зарегистрированным шлюзом.

Испытания зоны покрытия вне помещений с антенной 4.5 dBi

Были установлены базовая станция (БС) RisingHF и антенна 4,5 dBi, которая на тот момент шла в комплекте с БС. Провели предварительное тестирование зоны покрытия вне помещений. На карте ниже (рис. 12) показаны результаты нашего первого тестирования измерения: зеленым отмечен успешный прием сигнала БС, красным – нет.

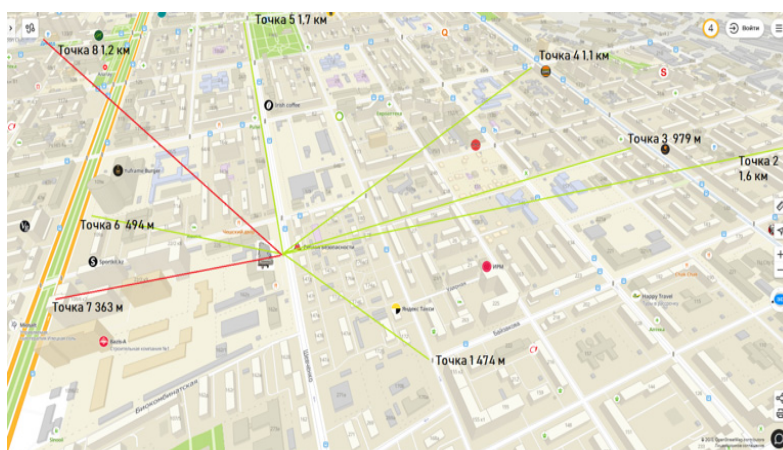


Рис. 12. Измерение силы сигнала при антенне 4.5 dBi

Зона покрытия с комплектной антенной далека от максимальной для LoRaWAN, и в нашем случае составила 2 км. Стало понятно, что надо тщательней подходить к установке базовой станции, заявленные 10 км без хорошей антенны и минимального радиопланирования даже на открытой местности получить нельзя.

Второй этап испытаний с антенной 10 dBi

Были установлены базовая станция RisingHF и антенна 10 dBi снаружи зданий. Далее провели тестирование на дальность связи в условиях города снаружи помещений. Модемы использовали в режиме эмуляции посылки импульсов, без подключения ПУ. На расстоянии до 5 км от БС пакеты проходили успешно, таким образом, максимальное расстояние, которое удалось получить вне помещений, – 5 км (рис. 13).



Рис. 13. Измерение силы сигнала при антенне 10 dBi

Слабый сигнал зафиксирован только на окраине границы района, в южном и юго-восточном направлениях. Здесь уровень сигнала варьировался от 115 до 120 дБ из-за высоты и относительно высокой плотности застройки. Однако эти значения сигналов не препятствуют успешной передаче данных. Покрытие не полностью измеренной области рассчитывается с помощью интерполяции.

Измерение в реальных условиях

Работоспособность системы проверена по показаниям холодной и горячей воды в малоэтажном многоквартирном доме. Результаты были записаны вручную для проверки точности измерения и показаны на рис. 14 (горячая вода) и рис. 15 (холодная вода).

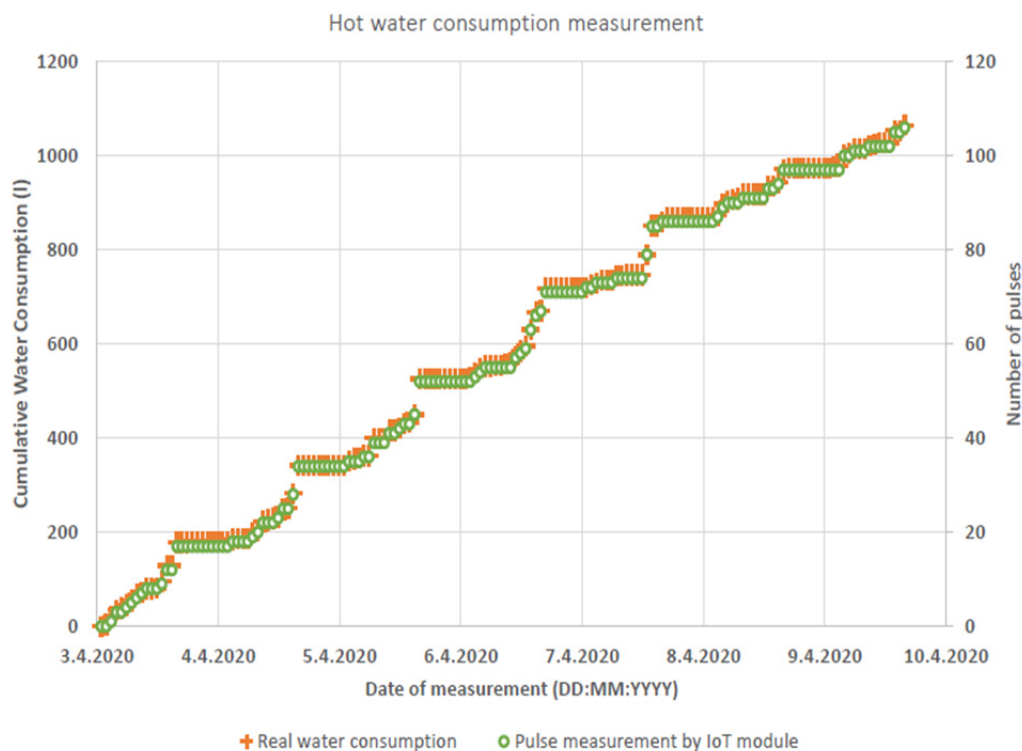


Рис. 14. Сравнение дистанционного и ручного считывания – горячая вода

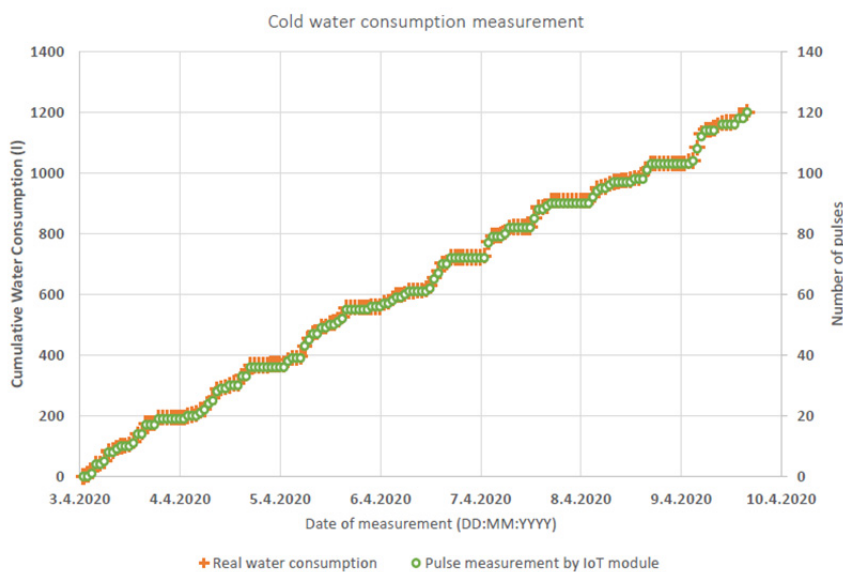


Рис. 15. Сравнение дистанционного и ручного считывания – холодная вода

Частота автоматического и ручного сбора данных была установлена на 1 ч. Впоследствии данные были сопряжены вручную в соответствии с отметкой времени. Эта временная метка содержала каждое исходящее сообщение в следующем формате: ГГГГ–ММ–ДД ЧЧ:ММ:СС. Используемый метод обнаружения утечек воды – это так называемый метод MNF (минимальный ночной поток), широко используемый в водоснабжении. Это поток, который течет в определенную зону/измерительный район в ночное время, когда наиболее допустимое потребление воды находится на минимальном уровне. Период минимального ночного стока обычно приходится на два-четыре часа ночи. В нашем случае (измерение расхода воды в квартире в малоэтажном доме) период MNF был установлен с 23:59 до 6:00, при этом пороговое значение было установлено на 10 л. Если расход в системе превышает это значение, предполагается утечка воды.

График квантиль-квантиль или график q-q – это исследовательское графическое устройство, используемое для проверки достоверности предположения о распределении для набора данных. Если данные действительно соответствуют предполагаемому распределению, то точки на графике q-q будут располагаться приблизительно на прямой линии. График q-q обеспечивает визуальное сравнение квантилей выборки с соответствующими теоретическими квантилями. В общем, если точки на графике q-q отклоняются от прямой линии, то предполагаемое распределение ставится под сомнение. Графики q-q можно рассматривать как «миллиметровую бумагу для вероятностей», которая превращает график упорядоченных значений данных в прямую линию (рис. 16, 17).

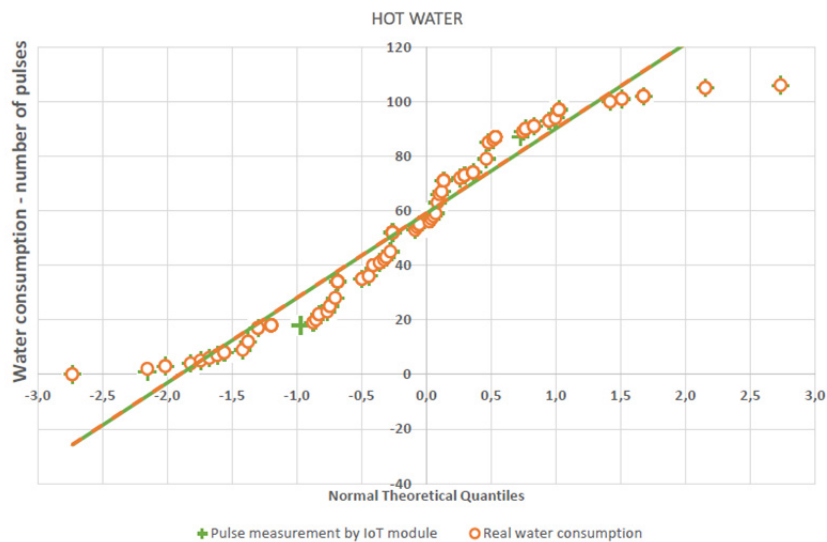


Рис. 16. График q-q – горячая вода

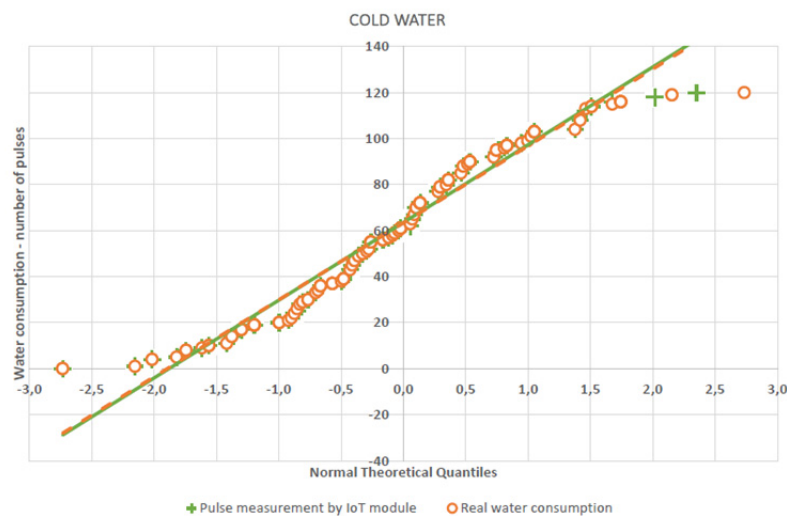


Рис. 17. График q-q – холодная вода

Как видно на рис. 16 и 17, полученные линии линейной регрессии перекрывают друг друга. Таким образом, оба метода измерения имеют одинаковую плотность вероятности. Таким образом, метод измерения с помощью датчика IoT актуален для практического применения.

Заключение

Разработана автоматизированная система комплексного учета коммунальных услуг для интеллектуального измерения потребления электроэнергии и воды. Был использован комплексный подход к системе учета энергоресурсов на базе технологий LoRaWAN и разработаны прототипы модемов и базовых станций, работающих под казахстанский частотный спектр.

Испытывалось качество передаваемой информации с приборов учета с помощью модуля LoRaWAN. Также был исследован охват сигнала технологий LoRaWAN с изменением расположения базовой станции и изменением уровней мощности антенны. После испытаний был достигнут при использовании антенны с 10 dbm хороший охват.

Список литературы

1. Mikhailov P., Zikirbai K., Bazarbai L. et al. Internet of energy things based on wireless LoRaWAN // XXI century: Results of the past and problems of the present plus. 2021. Vol. 10, iss. 3. P. 47–52. doi:10.46548/21vek-2021-1055-0008
2. Volker B., Reinhardt A., Faustine A., Pereira L. Watt's up at Home? Smart Meter Data Analytics from a Consumer-Centric Perspective // Energies. 2021. Vol. 14, iss. 3. doi:10.3390/en14030719
3. Amankhan A., Kural A., Temirbek I. et al. Multi-functional Smart Electricity Metering System // 19th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC) / 3rd IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe Conference (I and CPS Europe), Univ. Genoa, Genova, Italy. 2019.
4. Corbett J., Wardle K., Chen C. Toward a Sustainable Modern Electricity Grid: The Effects of Smart Metering and Program Investments on Demand-Side Management Performance in the US Electricity Sector 2009-2012 // IEEE Transactions on Engineering Management. 2018. Vol. 65, iss. 2. P. 252–263. doi:10.1109/TEM.2017.2785315
5. Kumaran K., Chinnadurai M., Manikandan S. et al. An IoT based Green Home Architecture for Green Score Calculation towards Smart Sustainable Cities // KSII Transactions on Internet and Information Systems. 2021. Vol. 15, iss. 7. P. 2377–2398. doi:10.3837/tiis.2021.07.005
6. Lloret J., Tomas J., Canovas A., Parra L. An Integrated IoT Architecture for Smart Metering // IEEE Communications Magazine. 2016. Vol. 54, iss. 12. P. 50–57. doi:10.1109/MCOM.2016.1600647CM
7. Nadeem A., Arshad N. A data-driven approach to reduce electricity theft in developing countries // Utilities Policy. 2021. Vol. 73. doi:10.1016/j.jup.2021.101304
8. Farah E., Shahrour I. Smart Water for Leakage Detection: Feedback about the Use of Automated Meter Reading Technology // Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET), 2017.
9. Zikirbay K., Alimbayev C., Bayanbay N. et al. Interior Coating and Performance of LORA in Industrial Conditions // Science Week SPbPU. St. Petersburg, 2019.
10. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm321072cz.pdf>
11. Augustin A., Yi J., Clausen T., Townsley W. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things // Sensors. 2016. Vol. 16, iss. 9. Article Number 1466. doi:10.3390/s16091466
12. Alimbayev Ch., Alimbayeva Zh., Ozhikenov K. et al. Development of Measuring System for Determining Life-Threatening Cardiac Arrhythmias in a Patient's Free Activity // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 1. P. 12–22. doi:10.15587/1729-4061.2020.197079
13. Xu T., Zhao M. A LoRaWAN-MAC Protocol Based on WSN Residual Energy to Adjust Duty Cycle // IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. 2020. P. 1415–1420. doi:10.1109/ICDCS47774.2020.00187

References

1. Mikhailov P., Zikirbai K., Bazarbai L. et al. Internet of energy things based on wireless LoRaWAN. XXI century: Results of the past and problems of the present plus. 2021;10(3):47–52. doi:10.46548/21vek-2021-1055-0008
2. Volker B., Reinhardt A., Faustine A., Pereira L. Watt's up at Home? Smart Meter Data Analytics from a Consumer-Centric Perspective. Energies. 2021;14(3). doi:10.3390/en14030719
3. Amankhan A., Kural A., Temirbek I. et al. Multi-functional Smart Electricity Metering System. 19th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC) / 3rd IEEE Industri-

- al and Commercial Power Systems Europe Conference (I and CPS Europe), Univ. Genoa, Genova, Italy. 2019.*
4. Corbett J., Wardle K., Chen C. Toward a Sustainable Modern Electricity Grid: The Effects of Smart Metering and Program Investments on Demand-Side Management Performance in the US Electricity Sector 2009-2012. *IEEE Transactions on Engineering Management.* 2018;65(2):252–263. doi:10.1109/TEM.2017.2785315
 5. Kumaran K., Chinnadurai M., Manikandan S. et al. An IoT based Green Home Architecture for Green Score Calculation towards Smart Sustainable Cities. *KSII Transactions on Internet and Information Systems.* 2021;15(7):2377–2398. doi:10.3837/tiis.2021.07.005
 6. Lloret J., Tomas J., Canovas A., Parra L. An Integrated IoT Architecture for Smart Metering. *IEEE Communications Magazine.* 2016;54(12):50–57. doi:10.1109/MCOM.2016.1600647CM
 7. Nadeem A., Arshad N. A data-driven approach to reduce electricity theft in developing countries. *Utilities Policy.* 2021;73. doi:10.1016/j.jup.2021.101304
 8. Farah E., Shahrour I. Smart Water for Leakage Detection: Feedback about the Use of Automated Meter Reading Technology. *Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET), 2017.*
 9. Zikirbay K., Alimbayev C., Bayanbay N. et al. Interior Coating and Performance of LORA in Industrial Conditions. *Science Week SPbPU.* Saint Petersburg, 2019.
 10. Available at: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm321072cz.pdf>
 11. Augustin A., Yi J., Clausen T., Townsley W. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *Sensors.* 2016;16(9). doi:10.3390/s16091466
 12. Alimbayev Ch., Alimbayeva Zh., Ozhikenov K. et al. Development of Measuring System for Determining Life-Threatening Cardiac Arrhythmias in a Patient's Free Activity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2020;1:12–22. doi:10.15587/1729-4061.2020.197079
 13. Xu T., Zhao M. A LoRaWAN-MAC Protocol Based on WSN Residual Energy to Adjust Duty Cycle. *IEEE International Conference on Distributed Computing Systems.* 2020:1415–1420. doi:10.1109/ICDCS47774.2020.00187

Информация об авторах / Information about the authors

Куаныш Ергараевич Зикирбай

докторант,
Казахский национальный исследовательский университет имени К. И. Сатпаева
(Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а)
E-mail: kuanish_921@mail.ru

Kuanysh E. Zikirbay

Doctoral student,
K.I. Satpayev Kazakh National Research University
(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

Жадыра Нурдаулетовна Алимбаева

преподаватель кафедры информатики и прикладной математики,
Казахский национальный женский педагогический университет
(Казахстан, г. Алматы, ул. Айтеке би, 99)
E-mail: zhadyralimbay@gmail.com

Zhadyra N. Alimbaeva

Teacher of the sub-department of informatics and applied mathematics,
Kazakh National Women's Teacher Training University
(99 Ayteke bi street, Almaty, Kazakhstan)

Чингиз Абдраимович Алимбаев

PhD, старший научный сотрудник,
Институт механики и машиноведения имени академика У. А. Джолдасбекова
(Казахстан, г. Алматы, ул. Курмангазы, 29)
E-mail: chingiz_kopa@mail.ru

Chingiz A. Alimbaev

PhD, senior researcher,
Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering
(29 Kurmangazy street, Almaty, Kazakhstan)

Бибинур Талгатовна Молдаш

магистрант,
Казахский национальный исследовательский университет имени К. И. Сатпаева
(Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а)
E-mail: bibinursarimova@gmail.com

Bibinur T. Moldash

Master degree student,
K.I. Satpayev Kazakh National Research University
(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

Динмухамед Бахытович Мусилимов

магистрант,

Казахский национальный исследовательский
университет имени К. И. Сатпаева

(Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а)

E-mail: iamthegreatthanos@gmail.com

Dinmukhamed B. Musilimov

Master degree student,

K.I. Satpayev Kazakh National Research University
(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 29.03.2022

Поступила после рецензирования/Revised 29.04.2022

Принята к публикации/Accepted 30.05.2022