

УДК 004.738

*В. Н. Логинов¹, И. А. Бычковский², Г. С. Сурнов², С. И. Сурнов²*¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)²Общество с ограниченной ответственностью «Дивтех»

Smart Monitoring – технология дистанционного мониторинга потребления электроэнергии, воды, тепловой энергии и газа в Smart City

Представлена технология дистанционного сбора детализированных данных (Smart Monitoring) о потреблении и качестве энергоресурсов в коммунальной сфере. Под энергоресурсами (далее – ресурсами) имеются в виду электроэнергия, вода (холодная и горячая), тепловая энергия и газ. Под данными о качестве ресурса здесь понимаются параметры, характеризующие потребляемый ресурс. Представлен также вариант структуры системы сбора данных, основанный на технологии Smart Monitoring. Особое внимание уделено безопасности в системе и централизованному управлению ее элементами. Поток данных в такой системе несет в себе информацию о поведении потребителей энергоресурсов и используемом ими бытовом оборудовании. Данные о потреблении энергоресурсов для целей биллинга в такой системе являются только одной из многих и не самой главной функцией. Разработка технологии Smart Monitoring направлена на развитие рынка IT-услуг и массовых сервисов, в основе которых лежит анализ собранных детализированных данных о потреблении энергоресурсов.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, потребление энергоресурсов, детализированные данные, NILM, IoT, Big Data, интеллектуальный счетчик, умный город.

*V. N. Loginov¹, I. A. Bychkovskiy², G. S. Surnov², S. I. Surnov²*¹Moscow Institute of Physics and Technology²Divteh Ltd

Smart Monitoring technology for the remote monitoring of power, gas, water and thermal energy consumption in Smart City

The paper describes the technology of remote collection of detailed data (Smart Monitoring) of the consumption and quality of energy resources in the public services. In this paper under energy resources (hereinafter referred to as resources) imply electric power, water (hot and cold), heat and gas. The data of the resource quality refers to the parameters characterizing the resource consumed. We also present an option of the data acquisition system structure based on Smart Monitoring technology. Particular attention is given to security in the system and centralized management of its elements. The data flow in this system carries information of the behavior of energy consumers and the household equipment they use. Energy consumption data for billing purposes in this system is just one of many and not the most important features. The development of Smart Monitoring technology is aimed to develop the market of IT services and mass services based on the analysis of the collected detailed data of energy resources consumption.

Key words: remote monitoring, energy consumption, detailed data, NILM, IoT, Big Data, Smart Meter, Smart City.

© Логинов В. Н., Бычковский И. А., Сурнов Г. С., Сурнов С. И., 2020

© Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», 2020

© Общество с ограниченной ответственностью «Дивтех», 2020

1. Введение

Современным трендом в области создания систем сбора данных о потреблении ресурсов (далее – Систем) является дистанционный сбор детализированных данных о потреблении. Основным источником данных в Системе являются счетчики количества ресурсов. Счетчики, дистанционно передающие детализированные данные о потреблении ресурсов, стали называть интеллектуальными. Системы с интеллектуальными счетчиками относятся к области Интернета вещей (IoT) и имеют свои особенности. Например, счетчикам нет необходимости передавать данные друг другу, а на переданные счетчиками данные нет необходимости реагировать немедленно. Потребление ресурсов населением происходит неравномерно – по аналогии с проводной телефонией можно выделить часы наибольшей нагрузки.

Дистанционный сбор данных обуславливает ряд важных особенностей Системы:

1. Счетчик становится частью Системы, имеющей некоторый Центр мониторинга, в котором дистанционно накапливаются и обрабатываются данные о потреблении ресурсов.
2. Конструкция счетчиков должна предусматривать возможность встраивания их в такую Систему.
3. Счетчиков в Системе может быть много и даже очень много, они могут быть распределены на большой территории. Это требует особого внимания к обслуживанию Системы и ее безопасности [1, 2].

При проектировании Системы необходимо ответить на два тесно связанных между собой вопроса: какую сеть передачи данных от счетчика к Центру мониторинга использовать и какие данные мы хотим собрать?

Первому вопросу в настоящее время уделяется большое внимание [1], созданы международные альянсы, разрабатывается несколько конкурирующих между собой решений, ведущими среди которых являются LoRaWAN (Long Range wide-area networks) и NB IoT (Narrow Band Internet of Things).

Ответ на второй вопрос не так очевиден, как кажется на первый взгляд. Обсуждению именно этого вопроса и посвящена данная статья. При этом в качестве главной задачи ставится задача обеспечения дистанционного сбора как можно более детализированных данных о потреблении ресурсов конечными потребителями. Проблема интерпретации этих данных, извлечения содержащейся в них информации для дальнейшего использования лежит за пределами статьи и представляет собой отдельное важное направление исследований и разработок. Мы надеемся, что собираемые по предлагаемой технологии данные станут хорошей основой для специалистов по энергосбережению, машинному обучению и искусственному интеллекту при разработке различного рода приложений.

2. Какие данные собирать?

В общем случае данные, которые формирует счетчик для последующей передачи, можно разделить на две группы:

1. Данные о состоянии самого счетчика и несанкционированном вмешательстве в его работу.
2. Данные о количестве и качестве потребленного ресурса.

Первая группа данных важна для эксплуатации Системы. Эти данные несут информацию о состоянии входящего в Систему оборудования и попытках постороннего вмешательства в Систему. Они могут использоваться и для модернизации Системы.

Со второй группой данных вопрос более сложен, однако некоторые достаточно обоснованные предположения можно сделать.

Минимальное количество информации Система получает в режиме сбора данных только один раз в конце месяца, максимальное – при сборе данных в режиме реального времени. Не будет ошибкой предположить, что количество информации, содержащейся в собранных данных, является некоторой функцией от интервала времени Δt , через который Система опрашивает счетчики:

$$I = f(\Delta t), \quad I_{\max} = f(\Delta t \rightarrow 0), \quad I_{\min} = f(\Delta t = 1 \text{ месяц}).$$

Зависимость количества информации от величины Δt представлена на рис. 1.

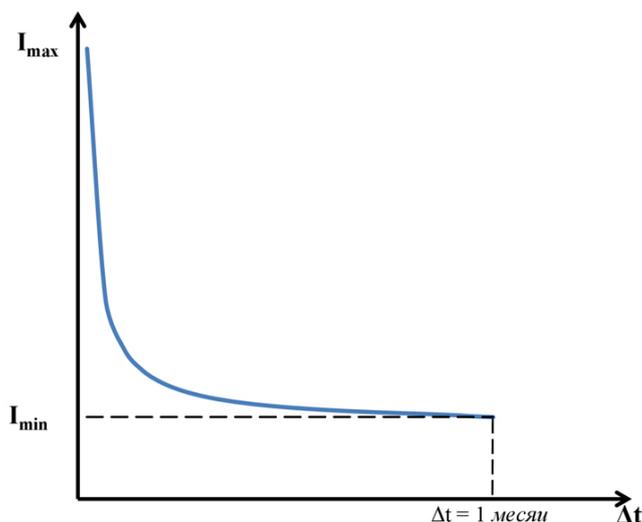


Рис. 1. Зависимость количества информации от величины Δt

Если $\Delta t = 1$ месяц, то полученные данные, скорее всего, можно использовать только для биллинга, а как и какого качества ресурсы потреблялись в течение этого периода, останется неизвестным.

Практически все крупные производители счетчиков выпускают еще и системы дистанционного считывания их показаний. Цель – дать удобный инструмент для проведения расчетов между поставщиками и потребителями ресурсов, а также получить эксплуатационные данные. Показания считываются периодически через заданный (достаточно большой) интервал времени Δt (месяц, неделя, день) [3]. Собираемые данные в этом случае несут некоторую информацию, но ее явно недостаточно для того, чтобы делать выводы о поведении потребителя или применяемом им оборудовании. Такие Системы в основном решают проблемы поставщика ресурсов, а не потребителя.

Появление NILM-технологии (Nonintrusive appliance load monitoring) [4] и большое число опирающихся на ее применение работ показали, какое количество информации несут в себе детализированные данные о потреблении электроэнергии. Оказалось, что в них скрыта информация о поведении потребителей электроэнергии, применяемом бытовом оборудовании и потреблении электроэнергии каждым устройством [5–8]. Появляются все новые приложения, опирающиеся на анализ детализированных данных, иногда неожиданные, например, контроль поведения одиноких пожилых людей и диагностика заболеваний [9]. Применяются все более сложные методы анализа детализированных данных, например, машинное обучение и нейронные сети [7, 10, 11]. Однако массовое применение NILM-счетчиков в коммунальном хозяйстве сдерживается их сложностью и стоимостью [12, 13]. В связи с этим предпринимаются попытки понизить частоту опроса в NILM-счетчиках [14].

Есть все основания полагать, что детализированные данные о потреблении населением других видов ресурсов (воды, тепловой энергии и газа) также несут в себе много инфор-

мации. Совместный анализ детализированных данных о потреблении всех видов ресурсов одним потребителем (квартирой или частным домом) может выявить значительно больше информации, чем анализ потребления одного из ресурсов.

На практике очень сложно достичь такого же уровня детализации данных (фактически реального времени) о потреблении воды, тепловой энергии и газа, как и для электроэнергии. Достижимый интервал опроса Δt для этих счетчиков не позволяет получить приемлемый уровень детализации, при котором, например, можно идентифицировать используемые потребителем приборы. Интервал опроса не может быть существенно уменьшен из-за разряда автономных элементов питания в счетчиках и перегрузки каналов передачи данных. Надежность функционирования Системы снижается при значительном увеличении количества входящих в нее счетчиков. При этом следует упомянуть, что проблема чрезмерной загрузки каналов передачи данных стоит, впрочем, и при использовании NILM-счетчиков.

Современные системы дистанционного сбора данных работают по принципу снятия показаний счетчиков через некоторый заданный интервал времени. Событием в таких системах является прохождение заданного интервала времени Δt , реакцией на событие – снятие показаний со счетчиков. Назовем такие системы Ti-системами (Time interval – system).

Потребление ресурсов населением в течение суток происходит очень неравномерно. Однако в Ti-системах данные собираются независимо от того, потребляются ресурсы или нет. Соответственно загружаются и каналы связи. Это существенный недостаток Ti-систем.

3. Технология Smart Monitoring

Желание избежать затрат энергии и загрузки каналов связи в периоды времени, когда нет потребления ресурсов, достичь приемлемого уровня детализации данных, повысить безопасность в системе сбора данных и упростить счетчики привело к созданию технологии Smart Monitoring [15, 16]. В основе технологии лежат следующие принципы:

1. «Нет потребления – нет данных». Данные от счетчиков передаются только тогда, когда потребляются ресурсы.
2. «Фиксация момента времени потребления заданного количества ресурса».
3. «Никакого доступа к счетчику извне». Несанкционированный доступ к огромному количеству счетчиков в условиях города и вывод их из строя может иметь самые неприятные последствия.

В технологии Smart Monitoring для каждого счетчика задается величина ΔR изменения количества прошедшего через счетчик ресурса. Событием считается прохождение через счетчик заданного количества ресурса ΔR , реакция на событие – передача счетчиком данных.

Назовем такого рода системы Ri-системами (Resource interval system). Начальная величина ΔR для каждого ресурса задается исходя из некоторых «разумных» соображений. С одной стороны, хотелось бы сделать ΔR как можно меньше, однако на практике было бы «неразумным», например, отслеживать в городе потребление каждого миллилитра воды.

Величина ΔR может настраиваться в Системе по результатам эксплуатации с учетом реальных ограничений. Например, с учетом реального (а не расчетного) разряда автономных элементов питания, которые в Ri-системах являются функцией от ΔR и количества реально потребленного ресурса R .

График потребления ресурса в Ri-системе представлен на рис. 2.

Вариант структуры Ri-системы, в которой реализована технология Smart Monitoring, представлен на рис. 3.

В Ri-системе три уровня: уровень счетчиков, уровень концентраторов и Центр мониторинга.

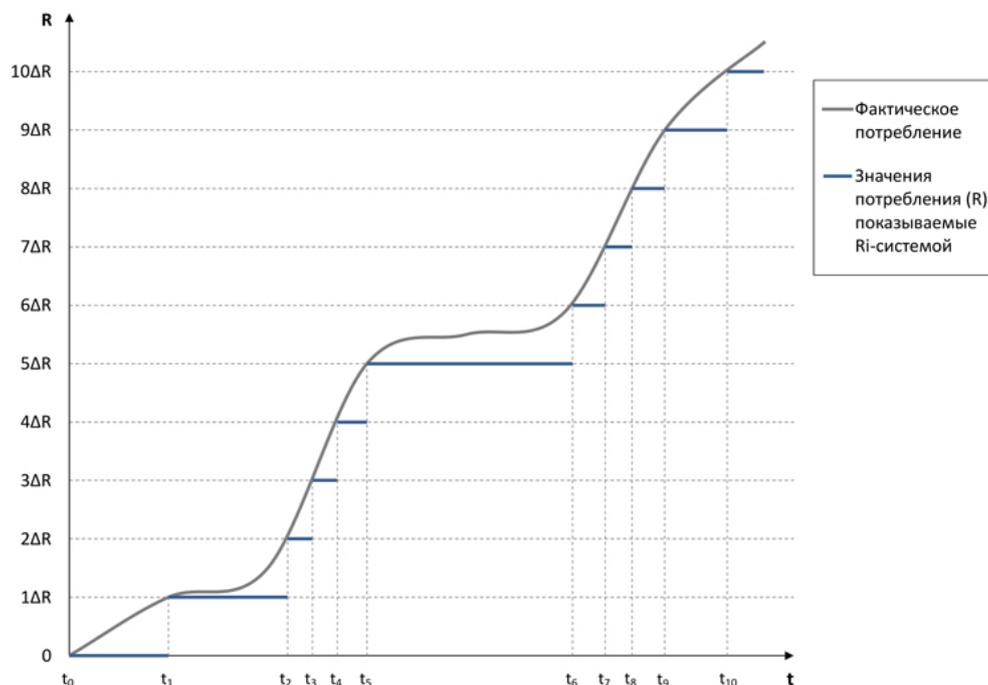


Рис. 2. График потребления ресурса в Ri-системе

Суть Ri-протокола (связь между счетчиками и концентраторами) заключается в следующем.

Как только в Ri-системе через счетчик прошло заданное количество ресурса ΔR , он передает всем окружающим его концентраторам свой номер, номер сеанса связи, данные о качестве ресурса и данные о своем состоянии. Связь осуществляется односторонняя – от счетчика к концентратору. Если ресурс не потребляется длительное время, то счетчик через некоторый интервал времени (например, через сутки) передает данные о своем состоянии.

Концентраторы, которые находятся в зоне радиовидимости передающего счетчика, принимают переданные им данные, добавляют к полученному сообщению время его получения, а также данные о своем состоянии. Затем по заданному алгоритму передают все это в Центр мониторинга. Синхронизация времени в концентраторе и алгоритмов его работы производится из Центра мониторинга. Концентраторы могут находиться вне квартир в многоквартирном доме и обеспечиваются сетевым электропитанием. Концентраторы «не различают» типы счетчиков по видам ресурсов. Сообщение, переданное счетчиком, может быть принято несколькими концентраторами.

Селекция и обработка данных производится в Центре мониторинга. Там же содержится вся информация об установленных в Ri-системе счетчиках и концентраторах.

Такое построение Ri-системы требует уникальной нумерации счетчиков и концентраторов. Для этого можно воспользоваться системой идентификации вещей (IDoT) в технологии DOA (Digital Object Architecture) [17, 18].

Ri-система, по своей сути, представляет собой асинхронную систему, в которой инициаторами связи всегда являются счетчики.

На первый взгляд, можно обойтись без уровня концентраторов. Однако введение этого уровня позволяет решить сразу две ключевые проблемы:

1. Максимально упростить счетчики как наиболее массовое устройство в Ri-системе. Нарастание сложности оборудования и программного обеспечения в Ri-системе идет в направлении от счетчика к Центру мониторинга.

2. Исключить несанкционированный доступ к счетчикам.

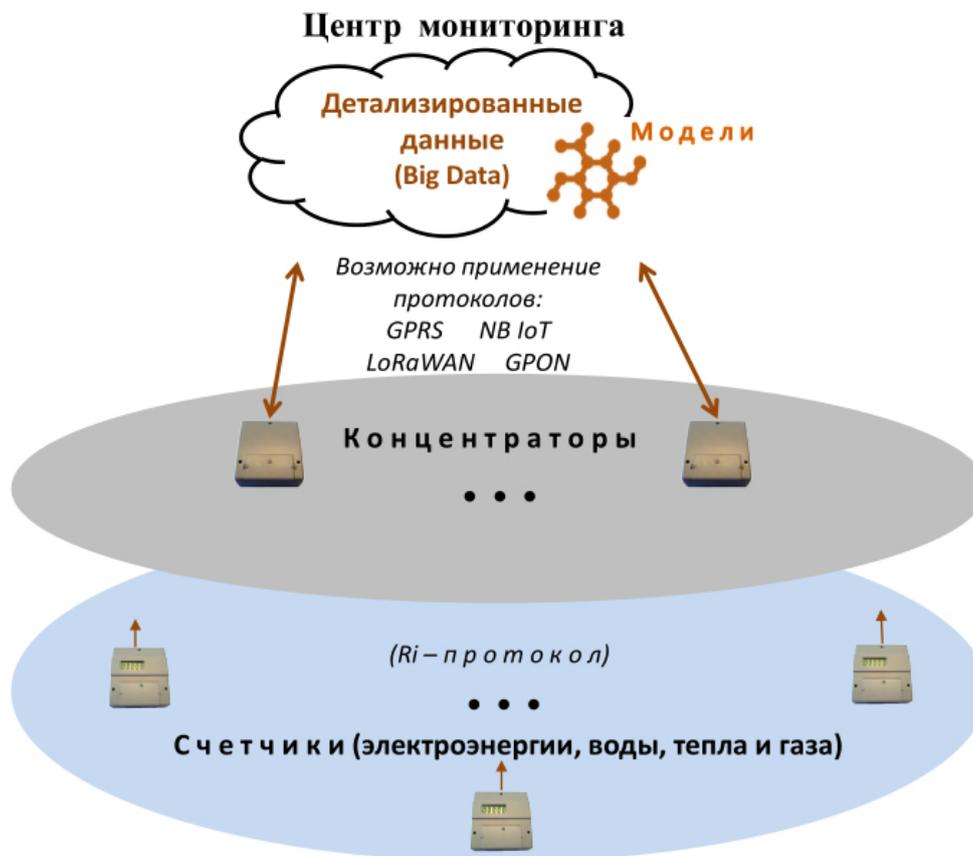


Рис. 3. Вариант структуры Ri-системы, в которой реализована технология Smart Monitoring

Проблема уязвимости концентраторов остается, однако она не носит столь критического характера, как в случае со счетчиками. Кроме того, в технологии Smart Monitoring отношение количества концентраторов к количеству счетчиков в стандартном многоквартирном доме составляет не более чем 1:50 (при установке счетчиков для всех видов ресурсов), а концентраторы, находящиеся в зоне радиовидимости одного и того же счетчика, дублируют друг друга.

Интерфейс между концентраторами и Центром мониторинга может быть любым, например, GPRS (General Packet Radio Service), GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network), NB IoT (Narrow Band Internet of Things) или LoRaWAN (Long Range wide-area networks). Выбор этого интерфейса не влияет на взаимодействие счетчиков с концентраторами.

Предложенное решение приводит к технологии сбора данных, которая реализует следующую формулу:

Smart Monitoring = Дистанционный сбор данных + Приемлемая детализация данных + Облачный сервис + Поквартирный учет + Дистанционный контроль и управление системой + Приемлемая стоимость оборудования + Приемлемый уровень безопасности.

Как справедливо отмечено в [1], кроме безопасности, важнейшим требованием к IoT-системе является сохранение работоспособности при росте ее масштабов. Ri-система легко масштабируется на территорию любого размера. Расчеты показывают, что в ней невозможно «перегрузить» каналы связи при увеличении количества счетчиков, т.к. количество счетчиков на единицу площади территории ограничивается возможностями жилой

застройки. Не выведет Ri-систему из строя и одновременное потребление всеми клиентами максимально возможного количества всех видов ресурсов.

В Ri-системе возможны случайные потери отдельных сообщений (например, из-за помех) даже несмотря на дублирование приема сообщений концентраторами. Однако в Центре мониторинга номера потерянных сообщений известны и количество потребленного ресурса легко восстанавливается. В некоторых случаях по профилю потребителя (традициям потребления) могут быть восстановлены и моменты времени передачи потерянных сообщений. Но даже если этого не удастся сделать, то потеря отдельных сообщений не является критичной.

Непрерывный поток детализированных данных (Big Data) от счетчиков о потреблении, качестве ресурсов, состоянии оборудования и различных нештатных ситуациях несет в себе информацию о поведении потребителя ресурсов, используемом им оборудовании и состоянии самой Ri-системы. Эта информация может быть использована в целях биллинга, энергосбережения, оптимизации структуры самой Ri-системы и т.п.

На технологию Smart Monitoring подана заявка на изобретение в США [19].

4. Экспериментальная система сбора данных

По технологии Smart Monitoring была развернута экспериментальная Ri-система сбора данных о потреблении холодной и горячей воды, электроэнергии и тепловой энергии. Специально для нее была выпущена небольшая партия квартирных счетчиков, имеющих мощность передатчика 8 мВт. При этом себестоимость тахометрического счетчика воды оказалась примерно равной себестоимости традиционного тахометрического квартирного счетчика воды с импульсным выходом. Величина ΔR для счетчиков была установлена следующая: для холодной и горячей воды – 100 мл, для электроэнергии – 10 Вт·ч, для тепловой энергии – 5 ккал. Между концентраторами и «облаком» были реализованы два интерфейса: GPRS (General Packet Radio Service) и GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network). Эксплуатация Ri-системы подтвердила работоспособность принятых решений [20].

5. Некоторые следствия применения технологии Smart Monitoring

Отметим некоторые интересные следствия применения технологии Smart Monitoring (список не исчерпывающий):

1. Время полного разряда автономных элементов питания в разных счетчиках будет различным, т.к. через разные счетчики проходит разное количество ресурса, а разряд батареи является его функцией.
2. В течение жизни счетчика можно наблюдать «уход» его параметров, например, увеличение погрешности. Соответственно, можно либо проводить проверку счетчика, либо в Центре мониторинга проводить корректировку его показаний и обходиться без проверки.
3. В Ri-систему легко добавляется любое другое оборудование, работающее на принципах технологии Smart Monitoring, например, датчики температуры в каждой комнате, датчики разлива воды, газоанализаторы, охранные датчики и т.п.

6. Заключение

Представленная технология Smart Monitoring ориентирована на сбор данных о потреблении ресурсов в коммунальной сфере и существенно опирается на ее особенности. Она не ставит своей целью собирать данные в режиме реального времени, как это возможно в NILM-технологии, однако позволяет значительно упростить конструкцию счетчиков, достичь вполне приемлемого уровня детализации данных, разгрузить каналы связи и повысить уровень безопасности. Сама возможность совместного анализа потребления всех

видов ресурсов в квартире, обеспеченная этой технологией, в значительной степени компенсирует ее недостатки.

Мы надеемся, что данная технология позволит сделать шаг вперед в получении данных о поведении потребителей ресурсов в коммунальной сфере. Это, в свою очередь, способствовало бы развитию рынка IT-услуг и массовых сервисов для конечных потребителей по контролю и экономному использованию электроэнергии, тепла, воды и газа.

Благодарности

Авторы выражают признательность компании Intel Corp. (США), предоставившей для экспериментов свое «облако», конечное оборудование абонента Ri-системы и очень полезные консультации, а также доктору технических наук Тюрликову Андрею Михайловичу, заведующему кафедрой инфокоммуникационных систем (Государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург), высказавшему ряд ценных замечаний, касающихся системы передачи данных.

Литература

1. *Лу П.* Архитектура интернета вещей. Москва : ДМК Пресс, 2019.
2. Intelligent meters – safety comes first! Siemens. Sep. 08, 2017. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: http://w5.siemens.com/web/ua/ru/news_press/news/2017/Pages/smart_metering_infrastruktur.aspx.
3. *Subhash B., Rajagopal V.* Overview of smart metering system in Smart Grid scenario // IEEE Conferences: Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy. 2014. P. 1–6. doi: 10.1109/PESTSE.2014.6805319.
4. *Hart G.* Nonintrusive appliance load monitoring // Proceedings of the IEEE. 1992. V. 80, N 12. P. 1870–1891. doi:10.1109/5.192069.
5. *Wang Z., Zheng G.* Residential Appliances Identification and Monitoring by a Nonintrusive Method // IEEE Transactions On Smart Grid. 2012. V. 3, N 1. P. 80–92. doi: 10.1109/TSG.2011.2163950.
6. *Aiad M., Lee P.H.* Non-intrusive monitoring of overlapping home appliances using smart meter measurements // IEEE Conferences: Power and Energy Conference at Illinois (PEC). 2017. P. 1–5. doi: 10.1109/PECI.2017.7935717.
7. *Arrachman S.R., Adiatmoko M.F., Soeprijanto A., Syai'in M., Sidik M.S.A., Rohiem N.H.* Smart meter based on time series modify and extreme learning machine // IEEE Conferences: 2nd International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT). 2017. P. 86–92. doi: 10.1109/ICACOMIT.2017.8253392.
8. *Herrero J.R., Murciego A.L., Barriuso A.L., Carreira R.* Non Intrusive Load Monitoring (NILM): A State of the Art // 15th International Conference, PAAMS. 2017. P. 125–138. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/318510754_Non_Intrusive_Load_Monitoring_NILM_A_State_of_the_Art.
9. *Alcalá J.M., Ureña J., Hernández Á., Gualda D.* Assessing Human Activity in Elderly People Using Non-Intrusive Load Monitoring // Sensors. 2017. V. 17, N 2. P. 351. doi: 10.3390/s17020351.
10. *Kelly J., Knottenbelt W.* Neural NILM: Deep Neural Networks Applied to Energy Disaggregation // Sep. 28, 2015. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1507.06594.pdf>.

11. *Packer B.* 7 reasons why utilities should be using machine learning // March 24, 2015. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: <https://blogs.oracle.com/utilities/utilities-machine-learning>.
12. *Benyoucef D., Klein P., Bier T.* Smart Meter with non-intrusive load monitoring for use in Smart Homes // IEEE Conferences: International Energy Conference. 2010. P. 96–101. doi: 10.1109/ENERGYCON.2010.5771810.
13. Smart Energy 2020 // VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. 2010. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: <https://webuser.hs-furtwangen.de/~hoenig/2010/ETG.pdf>.
14. *Makonin S.* Real-Time Embedded Low-Frequency Load Disaggregation // PhD thesis, Simon Fraser University, School of Computing Science. 2014. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: <http://summit.sfu.ca/item/14410>.
15. *Бычковский И.А., Мукумов Р.Э., Сурнов Г.С., Сурнов С.И.* SMART MONITORING: больше, чем «умный учет» в ЖКХ // Энергосбережение. 2017. N 6. С. 38–41.
16. *Surnov S., Bychkovskiy I., Surnov G., Krasnov S.* Smart Monitoring: remote-monitoring technology of power, gas, and water consumption in Smart Cities. 2019. Accessed: Oct. 23, 2019. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1910.08759>.
17. *Kahn R., Wilensky R.* A framework for distributed digital object services // Corporation for National Research Initiatives. 1995. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: https://www.doi.org/topics/2006_05_02_Kahn_Framework.pdf.
18. Цифровая идентификация объектов: технология и не только. Москва : Фонд содействия развитию интернета «Фонд поддержки интернет». 2016.
19. *Bychkovskiy I., Surnov G., Surnov S., Krasnov S.* A method and system for monitoring the parameters of the energy resources consumption process // US Non-Provisional Application No.: 16/123,789. Sep. 6, 2018.
20. *Бычковский И.А., Мукумов Р.Э., Сурнов Г.С., Сурнов С.И.* Технология SMART MONITORING: результаты натурных испытаний // Энергосбережение. 2018. № 2. С. 32–33.

References

1. *Lea P.* Internet of Things for Architects. Moscow : DMK Press, 2019. (in Russian).
2. Intelligent meters – safety comes first! Siemens. Sep. 08, 2017. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: http://w5.siemens.com/web/ua/ru/news_press/news/2017/Pages/smart_metering_infrastruktur.aspx.
3. *Subhash B., Rajagopal V.* Overview of smart metering system in Smart Grid scenario. IEEE Conferences: Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy. 2014. P. 1–6. doi: 10.1109/PESTSE.2014.6805319.
4. *Hart G.* Nonintrusive appliance load monitoring. Proceedings of the IEEE. 1992. V. 80, N 12. P. 1870–1891. doi:10.1109/5.192069.
5. *Wang Z., Zheng G.* Residential Appliances Identification and Monitoring by a Nonintrusive Method. IEEE Transactions On Smart Grid. 2012. V. 3, N 1. P. 80–92. doi: 10.1109/TSG.2011.2163950.
6. *Aiad M., Lee P.H.* Non-intrusive monitoring of overlapping home appliances using smart meter measurements. IEEE Conferences: Power and Energy Conference at Illinois (PEC). 2017. P. 1–5. doi: 10.1109/PECI.2017.7935717.

7. *Arrachman S.R., Adiatmoko M.F., Soeprijanto A., Syai'in M., Sidik M.S.A., Rohiem N.H.* Smart meter based on time series modify and extreme learning machine. IEEE Conferences: 2nd International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT). 2017. P. 86–92. doi: 10.1109/ICACOMIT.2017.8253392.
8. *Herrero J.R., Murciego A.L., Barriuso A.L., Carreira R.* Non Intrusive Load Monitoring (NILM): A State of the Art. 15th International Conference, PAAMS. 2017. P. 125–138. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/318510754_Non_Intrusive_Load_Monitoring_NILM_A_State_of_the_Art.
9. *Alcalá J.M., Ureña J., Hernández Á., Gualda D.* Assessing Human Activity in Elderly People Using Non-Intrusive Load Monitoring. *Sensors*. 2017. V. 17, N 2. P. 351. doi: 10.3390/s17020351
10. *Kelly J., Knottenbelt W.* Neural NILM: Deep Neural Networks Applied to Energy Disaggregation. Sep. 28, 2015. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1507.06594.pdf>
11. *Packer B.* 7 reasons why utilities should be using machine learning. March 24, 2015. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: <https://blogs.oracle.com/utilities/utilities-machine-learning>
12. *Benyoucef D., Klein P., Bier T.* Smart Meter with non-intrusive load monitoring for use in Smart Homes. IEEE Conferences: International Energy Conference. 2010. P. 96–101. doi: 10.1109/ENERGYCON.2010.5771810
13. Smart Energy 2020. VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. 2010. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: <https://webuser.hs-furtwangen.de/~hoenig/2010/ETG.pdf>
14. *Makonin S.* Real-Time Embedded Low-Frequency Load Disaggregation. PhD thesis, Simon Fraser University, School of Computing Science. 2014. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: <http://summit.sfu.ca/item/14410>
15. *Bychkovskiy I.A., Mukumov R.E., Surnov G.S., Surnov S.I.* SMART MONITORING: more than smart metering in housing and communal services. *Energy saving*. 2017. N 6. P. 38–41. (in Russian).
16. *Surnov S., Bychkovskiy I., Surnov G., Krasnov S.* Smart Monitoring: remote-monitoring technology of power, gas, and water consumption in Smart Cities. Accessed: Oct. 23, 2019. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1910.08759>.
17. *Kahn R., Wilensky R.* A framework for distributed digital object services. Corporation for National Research Initiatives. 1995. Accessed: Oct. 3, 2019. [Online]. Available: https://www.doi.org/topics/2006_05_02_Kahn_Framework.pdf
18. Digital identification of objects: technology and not only. Moscow : Internet Development Facility «Internet Support Fund», 2016. (in Russian).
19. *Bychkovskiy I., Surnov G., Surnov S., Krasnov S.* A method and system for monitoring the parameters of the energy resources consumption process. US Non-Provisional Application No.: 16/123,789. Sep. 6, 2018.
20. *Bychkovskiy I.A., Mukumov R.E., Surnov G.S., Surnov S.I.* SMART MONITORING Technology: Field Test Results. *Energy saving*. 2018. N 2. P. 32–33. (in Russian).