
ISSN 2306-1561

Automation and Control in Technical Systems (ACTS)

2015, No 1, pp. 68-79.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-1-9



Analysis of the Wireless Sensor Network Technologies for the Implementation of Information-Measuring System within "Smart Home" System in Apartment Blocks

Igor Denisovich Kotilevets

Russian Federation, Student, Institute "Integrated Security and Special Instrumentation", Department of «Automated Control Systems».

Moscow State University of Information Technologies, Radio Engineering and Electronics (MGUPI), 107996, Russian Federation, Moscow, Stromynka Str., 20, Tel.: +7 499 268-80-71, <http://www.mgupi.ru>

infect3D@mail.ru

Tatiana Ivanovna Skvortsova

Russian Federation, Ph. D., Associate Professor, Institute "Integrated Security and Special Instrumentation", Department of «Automated Control Systems».

Moscow State University of Information Technologies, Radio Engineering and Electronics (MGUPI), 107996, Russian Federation, Moscow, Stromynka Str., 20, Tel.: +7 499 268-80-71, <http://www.mgupi.ru>

skv-tata@yandex.ru

Abstract. This article describes the matters of creation of information-measuring subsystem for control of energy resources. The analysis of wireless sensor network technologies, analytical review and recommendations on the choice of the wireless sensor network for apartment block with "smart home" system.

Keywords: wireless sensor networks, information-measuring subsystem, smart home, Zigbee, Z-wave, Insteon, EnOcean.

ISSN 2306-1561

Автоматизация и управление в технических системах (АУТС)

2015. – № 1. – С. 68-79.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-1-9



УДК 004.9

Анализ технологий беспроводной сенсорной сети для реализации информационно-измерительной системы многоквартирного «Умного дома»

Котилевец Игорь Денисович

Российская Федерация, студент, институт «Комплексной безопасности и специального приборостроения», кафедра «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники (МГУПИ)», Российская Федерация, 107996, Москва, Российская Федерация, ул. Стромынка, д. 20, Тел.: +7 499 268-80-71, <http://www.mgupi.ru>

infect3D@mail.ru

Скворцова Татьяна Ивановна

Российская Федерация, кандидат технических наук, «Институт комплексной безопасности и специального приборостроения», доцент кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники (МГУПИ)», Российская Федерация, 107996, Москва, Российская Федерация, ул. Стромынка, д. 20, Тел.: +7 499 268-80-71, <http://www.mgupi.ru>

skv-tata@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы создания информационно-измерительной подсистемы для контроля энергоресурсов. Представлен обзор технологий беспроводной сенсорной сети, анализ и рекомендации по выбору технологии для многоквартирного «умного дома».

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, информационно-измерительная подсистема, умный дом, Zigbee, Z-wave, Insteon, EnOcean.

1. Введение

В современном мире с каждым годом усложняются технические задачи, в особенности, контроль энергоресурсов. Для их реализации необходимо создание качественной информационно-измерительной системы. Одним из путей реализации такой системы является технология «умный дом». Она способна максимально

результативно, эргономично и практично организовывать в единую структуру большое количество разнообразных устройств.

Инженерное оснащение квартир неуклонно усложняется, и растет количество устройств, участвующих в формировании этой среды. Возлагать на владельца жилья управление всеми системами становится неудобно, невыгодно и небезопасно [1].

Цель работы – проанализировать различные технологии беспроводной сенсорной сети для создания информационно-измерительной подсистемы в многоквартирном «умном доме».

2. Система «Умный дом»

Система «Умный дом» является актуальным на сегодняшний день инструментом, который предназначен для энергосбережения и индивидуального контроля энергопотребления, как квартиры, так и многоквартирного жилого дома, также других функций, которые помогают упростить быт (рисунок 1) [1, 2, 28 – 35].



Рисунок 1 – Принципиальная структура "Умного дома"

Часть процессов в данной системе происходит автоматически, а остальной можно управлять дистанционно. Благодаря модульности системы «Умный дом» появляется возможность тонкой настройки отдельных элементов и подсистем. Это позволяет, в первую очередь, добиться значительной экономии ресурсов, а также обеспечить комфортные условия для жизни каждого отдельного пользователя [2].

Построение системы «умного дома», обеспечения ее работоспособности и функционирования в своей основе требует разработку информационно-измерительной системы [3, 28 – 35].

Различные информационно-измерительные системы представляют собой законченные программно-аппаратные решения, значительно отличающиеся по своим параметрам и сферам применения (рисунок 2).

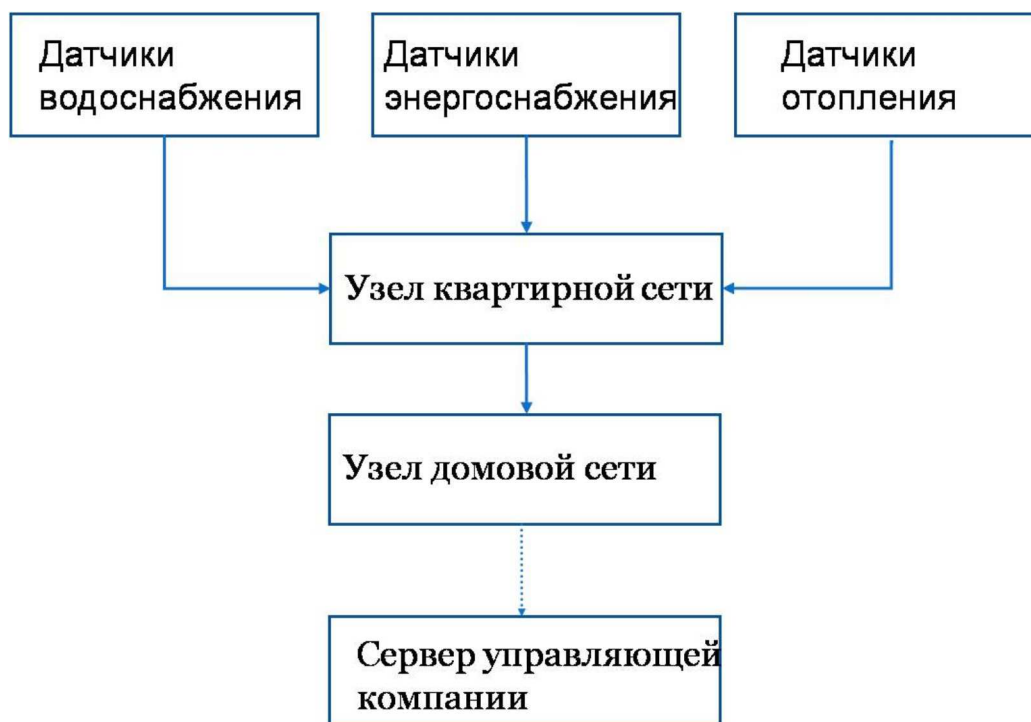


Рисунок 2 – Принципиальная схема информационно-измерительной подсистемы энергосбережения

Основой их построения, как правило, являются проводные шины, связывающие различные датчики и исполнительные механизмы. Внедрение беспроводных технологий на уровне сетей позволяет получить значительный экономический эффект от сокращения расходов на кабельное и вспомогательное оборудование, от уменьшения трудозатрат на монтаж оборудования, на прокладку самой кабельной сети.

Последние достижения в миниатюризации электронных устройств и интеграции датчиков предоставили возможность получить чувствительные элементы, оснащенные беспроводными средствами связи и памятью для хранения и обработки данных. На базе таких элементов создано интеллектуальное оборудование, в котором работа разрозненных датчиков может координироваться при создании системы мониторинга и контроля [3].

В частности, сейчас все больше информационно-измерительных систем «умного дома» строится с использованием беспроводных сенсорных сетей.

Беспроводная сенсорная сеть представляет собой распределенную, самоорганизующуюся, устойчивую к отказам отдельных элементов сеть из необслуживаемых и не требующих специальной установки устройств. В таких системах разнородные измерительные данные собираются сенсорами или мультисенсорами, входящими в состав узлов, расположенных в подлежащих мониторингу точках определенной географической области, и передаются по

беспроводной сети в центральный узел для обработки и принятия решений. Мультисенсор представляет собой набор измеряющих одновременно несколько физических величин. Обычно сеть имеет иерархическую структуру, в которой на каждом уровне данные могут передаваться от узлов-источников к одному или нескольким узлам-приемникам [4].

Основная задача беспроводных сенсорных сетей заключается в организации сети сенсоров с использованием большого числа относительно простых датчиков вместо традиционного подхода, предполагающего размещение нескольких дорогих и сложных модулей зондирования. Потенциальными преимуществами сенсорных сетей перед традиционным подходом являются: большая зона охвата, точность и надежность при меньших затратах.

Степень достижения функций принято характеризовать с помощью критериев измерения. Информационно-измерительные системы оптимизируют по многим частичным критериям. Информационно-измерительную систему для многоквартирного «умного дома» следует характеризовать с помощью следующих критериев измерения: помехоустойчивость, надёжность, экономичность, адаптивность.

Исходя из вышеперечисленных критериев информационно-измерительная система на основе беспроводных сенсорных сетей для многоквартирного «умного дома» должна вести поквартирный сбор информации об энергоресурсах в многоквартирном жилом доме, передавать её для дальнейшего анализа и обработки в многофункциональном центре по обслуживанию жителей.

3. Анализ технологий беспроводных сенсорных сетей

3.1. Технология ZigBee

Стандарт ZigBee представляет собою спецификацию сетевых протоколов верхнего уровня (уровня приложений API и сетевого уровня NWK), использующих сервисы нижних уровней – уровня управления доступом к среде MAC и физического уровня PHY.

По топологии сети делятся на 4 типа: «точка-точка», «звезда», «дерево», самоорганизующаяся самовосстанавливающаяся «ячеистая mesh-сеть» с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Несмотря на небольшую мощность передатчика модулей связи, благодаря ретрансляции сообщений, зона покрытия сети ZigBee значительно увеличивается и может достигать нескольких километров. При этом в сети может быть до 65 тыс. устройств ZigBee. Скорость передачи составляет до 250 Кбит/с [6].

Спецификация ZigBee содержит возможность выбора алгоритма маршрутизации, в зависимости от требований приложения и состояния сети, механизм стандартизации приложений – профили приложений, библиотека стандартных кластеров, конечные точки, привязки, гибкий механизм безопасности, а также обеспечивает простоту развертывания, обслуживания и модернизации [7].

Анализ преимуществ и недостатков стандарта Zigbee был выполнен на основе материалов, представленных в [5, 8 – 11].

Достоинства ZigBee:

- масштабируемость и расширяемость в любой момент новыми устройствами;
- Open Source;
- отсутствие сертификации частот для использования устройств на основе ZigBee.

Недостатки ZigBee:

- помехи от других устройств, работающих в диапазоне 2,4 ГГц;
- проблема совместимости устройств;
- недостаточно высокий уровень стандартизации и отсутствие единой программно-аппаратной платформы для разработки сложных приложений;
- невысокая скорость передачи данных.

3.2. Технология Z-Wave

Стандарт Z-Wave является запатентованным беспроводным протоколом связи, разработанным для домашней автоматизации, в частности для контроля и управления в жилых и коммерческих объектах. Технология использует маломощные и миниатюрные радиочастотные модули, которые встраиваются в бытовую электронику и различные устройства, такие как осветительные приборы, приборы отопления, устройства контроля доступа, развлекательные системы и бытовую технику [12].

Z-Wave – это радио протокол передачи данных, предназначенный для домашней автоматизации. Характерной особенностью Z-Wave является стандартизация от физического уровня, до уровня приложения. То есть протокол покрывает все уровни OSI классификации, что позволяет обеспечивать совместимость устройств разных производителей при создании гетерогенных сетей [13]. Разработчик беспроводной технологии Z-Wave - предложил решение для системы «умный дом», основанное на принципе mesh-сети. Эта технология специально разработана для применения в жилых и офисных помещениях [14].

Каждый Z-Wave модуль может выступать в качестве радиочастотного ретранслятора, но команды могут передаваться не более чем через четыре устройства. Это дает системе максимальную дальность 100 метров и маршрутизация настраивается автоматически [15].

В отличие от IEEE 802.11 и IEEE 802.14 стандартов передачи данных, предназначенных в основном для больших потоков информации, Z-Wave работает в диапазоне частот до 1 ГГц и оптимизирована для передачи простых управляющих команд. Выбор низкого радиочастотного диапазона для Z-Wave обуславливается малым количеством потенциальных источников помех (в отличие от загруженного диапазона 2,4 ГГц, в котором приходится прибегать к мероприятиям, уменьшающим возможные помехи от работающих различных бытовых беспроводных устройств – Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth) [16].

Существуют два основных типа устройств, определяемых протоколом Z-Wave.

Контроллеры – способны инициировать передачу, а также хранить информацию, связанную с сетевой маршрутизацией.

Подчиненные устройства – (Ведомые устройства) являются конечными устройствами с вводом-выводом общего назначения (GPIO) – тип устройств, которые просто выполняют запросы контроллера. Это верно также и для ретрансляции сообщений – в полученных пакетах контроллер инструктирует определенное ведомое устройство, должно ли сообщение быть ретранслировано или нет [17].

Анализ преимуществ и недостатков стандарта Z-Wave основан на материалах: [5, 11, 18, 19].

Достоинства Z-Wave:

- функция автоматической конфигурации подключения к сети;
- Z-Wave работает в диапазоне частот до 1 ГГц;
- совместимость со всеми устройствами от разных производителей, имеющих соответствующий логотип Z-Wave;
- Open Source;
- масштабируемость и расширяемость в любой момент новыми устройствами;
- 4,3 млрд. зашифрованных кодов безопасности (шифрование трафика);
- разделение Z-Wave сетей друг от друга используется идентификатор под названием Home ID;
- каждый узел в сети имеет собственный идентификатор Node ID;
- простой механизм маршрутизации и снижение требования к оперативной памяти узла.

Недостатки Z-Wave:

- скорость передачи устройств, работающих по технологии Z-Wave, не превышает 40 кб/с;
- ограниченные масштабы и радиус действия.

3.3. Технология Insteon

Протокол Insteon обязан своим появлением фирме Smartlabs. Для обмена данными между Insteon-устройствами используется как проводная, так и беспроводная связь, причем применяются они одновременно, дублируя друг друга.

В качестве первой среды для передачи сигналов выступает электропроводка здания. Аналогичный подход лежит в основе стандарта X10, однако, в случае с Insteon пропускная способность соединения намного выше. Как следствие, у нового протокола нет проблем с задержками, свойственных конкуренту. Сигнал передается на частоте 131,65 КГц и не создает помех в работе повседневных устройств.

Разработчики Insteon называют ее «двухполосной» системой, так как каждая команда передается и по беспроводному радиоканалу, и по сетевой электрической линии. Это обеспечивает более надежную передачу сигнала. Передача радиосигнала осуществляется посредством собственной Mesh-сети. Модули, использующие канал

электросети, также способны отправлять команды, используя протокол X10, что позволяет управлять любым устаревшими устройствами вашего дома [20].

«Беспроводная» составляющая Insteon реализована посредством радиосвязи: европейские устройства общаются на частоте 869,85 МГц, американские – на 915 МГц. На открытом воздухе дальность соединения достигает 50 метров, в помещениях это значение уменьшается в несколько раз. Insteon поддерживает ячеистую топологию сети, причем это актуально как для «проводной», так и для «беспроводной» части [21].

Анализ преимуществ и недостатков стандарта Insteon основан на материалах, представленных в [22 – 25].

Достоинства Insteon:

- работа в диапазоне частот до 1 ГГц (беспроводная сеть), 131,65 КГц (проводная часть);
- дублирование передаваемых данных с помощью беспроводной и проводной составляющих увеличивает защиту информации системы;
- ячеистая топология сети;
- совместимость с X10.

Недостатки Insteon:

- дублирование передаваемых данных, в большинстве случаев, излишне, создает дополнительную нагрузку на сеть;
- возможность несанкционированного доступа к устройствам по электросети;
- монтаж проводной части требует прокладку до конечных устройств.

3.4. Технология EnOcean

EnOcean технология для приема и передачи данных используют энергию, собираемую из окружающей среды: энергия линейного движения, света или разницы температур. Таким образом, устройства работают без батарей и не требуют обслуживания. Это обеспечивается тремя основными элементами технологии EnOcean: миниатюрными преобразователями энергии, электронными схемами с ультранизким энергопотреблением, надежной беспроводной связью.

Беспроводные модули рассчитаны на питание от преобразователей энергии и имеют в своем составе:

- преобразователь электродинамической энергии, который использует энергию механического движения;
- миниатюрный солнечный модуль, вырабатывающий энергию от падающего на него света;
- термоэлектрический преобразователь, позволяющий использовать в качестве источника энергии, например, тепло крана.

EnOcean – беспроводной стандарт ISO / IEC 14543-3-10, работающий на частотах 868 МГц или 315 МГц. Длительность одной телеграммы составляет примерно одну миллисекунду. Для исключения ошибок при передаче телеграммы повторяются

несколько раз в интервале 30 миллисекунд. Дальность действия 300 метров на открытом пространстве и до 30 метров внутри зданий.

Стандарт охватывает OSI 1-3 уровней, являясь физической передачей данных и физическими сетевыми уровнями [26].

Анализ преимуществ и недостатков стандарта EnOcean основан на материалах, представленных в [26...29].

Достоинства EnOcean:

- снижение загрязнения окружающей среды;
- экономия энергии;
- помехоустойчивая передача данных на радиочастоте 868MHz;
- беспроводной выключатель или датчик можно установить в любом месте – даже на стволе дерева в саду.

Недостатки EnOcean:

- ограничения в конфигурации и настройке сети;
- отсутствие обратной связи приемника с передатчиком;
- необходимость расчета местоположения устройств.

4. Результаты исследования

Результаты сравнения технологий беспроводной сенсорной сети приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение технологий беспроводной сенсорной сети

Технология	ZigBee	Z-Wave	Insteon	EnOcean
Максимальное расстояние до устройства	75 м	75 м	1000_м (электрическая проводка), 50_м (беспроводная сеть)	300 м
Защита персональных данных	Средняя	Высокая	Средняя	Средняя
Скорость передачи данных	250 кбит/с	100 кбит/с	1,2 кбит/с - 180 бит/с	125 кбит/с.
Защищенность от внешних атак	Средняя	Высокая	Низкая	Высокая

При использовании стандарта ZigBee потребуется дополнительно учитывать проблемы совместимости и помехи от других устройств в диапазоне 2,4 ГГц, что может

негативно сказаться на получении информации об энергоресурсах и работоспособности всей сети в целом.

Технология Insteon имеет низкую защищенность от внешних атак, что позволяет злоумышленнику получить доступ к системе управления «умным домом», а также краже личных. У стандарта EnOcean отсутствует обратная связь от приемника к передатчику, что затрудняет поиск неисправностей в сети. Стандарт Z-wave обладает небольшой скоростью передачи данных, что не позволяет передавать по сети большие объемы данных, например, видео.

5. Заключение

Для реализации информационно-измерительной подсистемы в рамках многоквартирного «умного дома» автором рекомендуется использовать стандарт Z-Wave. Данная технология является одной из самых помехоустойчивых, экономичных и адаптивных из представленных. Также, благодаря большому функционалу самого стандарта и открытому коду на одной территории может сосуществовать несколько сетей Z-Wave с разными идентификаторами. При определенных конфигурациях, они не будут друг друга видеть и друг с другом взаимодействовать. Из-за обязательного требования скважности, эти сети не будут друг другу мешать [13].

Это позволяет создать беспроводной сети в каждой отдельной квартире с выходом от одного контроллера в общедомовую сеть. За счет реализации информационно-измерительной подсистемы снижается расход энергоресурсов каждой отдельной квартиры, появляется возможность контроля, диагностики и дистанционного управления устройствами как в рамках квартиры, так и в рамках самого многоквартирного дома, отключение электричества, водоснабжения и отопления в случае отъезда. Также данная подсистема "Умного дома" позволяет предотвратить материальный ущерб у пользователя от протечек, пожара. При подключении к серверам многофункционального центра по обслуживанию жителей, появляется возможность посылать данные об энергоресурсах каждой квартиры для сбора и анализа, а также упрощении оплаты услуг за энергоресурсы. В случае неисправности, как пользователь, так и многофункциональный центр могут получать уведомления, что облегчает нахождение неполадок, их оперативное устранение.

Список информационных источников

- [1] Natural Audio. Система интеллектуальной автоматизации умный дом. URL: <http://techsc.nethouse.ru/documents>
- [2] Возможности системы «умный дом». URL: <http://smaritone.ru/blog/cheap-smart-home/>
- [3] Информационно-измерительные системы. URL: http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/AT/M_I-U_S/METOD/UP/frame/5.htm
- [4] Тараканов Е.В. Автореферат диссертации «Агрегирование данных мультисенсоров в беспроводных сенсорных сетях», Томск, 2012

- [5] Выбор технологии умного дома. URL: http://www.ihomesystems.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=92&Itemid=80
- [6] Беспроводные сети стандарта ZigBee. URL: http://en-i.ru/product-catalog/energy-source/Interface_converters/eni-406/
- [7] Протокол ZigBee: беспроводные технологии на службе «умного» дома. URL: http://www.ferra.ru/ru/digihome/review/SmartHome-ZigBee/#.VF0cG_msXuU
- [8] Обзор современных технологий беспроводной передачи данных в частотных диапазонах ISM (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) и 434/868 МГц. URL: http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2011_4_6.php
- [9] Умный дом – описание. URL: <http://www.topservice.od.ua/umniy-dom-opisanie.html>
- [10] Умный дом на базе Z-Wave. URL: <http://habrahabr.ru/post/160493/>
- [11] Обзор протокола Z-Wave. URL: <http://rus.z-wave.me/z-wave-knowledge-base/about-z-wave/z-wave-technical-overview>
- [12] Кратко о Z-Wave. Введение. URL: <http://z-wave.ru/o-z-wave/kratko-o-z-wave/vvedenie.html>
- [13] Требования к беспроводной системе. URL: <http://support.z-waver.ru/%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B9/11-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F-z-wave>
- [14] Умный дом Z-Wave. URL: <http://www.smartseti.ru/oborudovanie-umnyi-dom/umnyj-dom-z-wave/>
- [15] Ловя Z-Wave. URL: <http://z-wave.ru/o-z-wave/smi/154-cathing-the-z-wave.html>
- [16] Различия между ZigBee и Z-Wave. URL: <http://edgi.ru/%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D1%8F-%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83-z-wave-%D0%B8-zigbee/>
- [17] Умный дом Z-wave. URL: <http://www.smartseti.ru/oborudovanie-umnyi-dom/umnyj-dom-z-wave/>
- [18] Системы и технологии домашней автоматизации. URL: <http://blog.z-waver.ru/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/53>
- [19] Insteon: "Умный дом своими руками". URL: <http://www.ferra.ru/ru/digihome/review/SmartHome-Insteon/#.VFomSPmsXuV>
- [20] Автоматизация с использованием выделенной кабельной шины. URL: <http://www.logikadoma.ru/index.php/articles/15-avtomatizatsiya-s-ispolzovaniem-vydelennoj-kabelnoj-shiny>
- [21] Автоматизация с использованием линии питания в качестве шины. URL: <http://www.logikadoma.ru/index.php/articles/17-grp-002/20-avtomatizatsiya-s-ispolzovaniem-linii-pitaniya-v-kachestve-shiny>
- [22] Глупый и опасный «умный дом». URL: <http://zeleneet.com/glupyj-i-opasnyj-umnyj-dom/17058/>
- [23] Insteon. URL: <http://www.insteon.com/faq-home.html>
- [24] Азбука EnOcean. URL: <http://www.enocean-club.ru/index.php/articles/vvedenie-enocean/18-abc-enocean>
- [25] EnOcean. URL: <https://www.enocean.com/en/home/>
- [26] Настройка устройств, работающих на батарейках. URL: <http://rus.z-wave.me/z-wave-knowledge-base/about-z-wave/configuring-z-wave-battery-powered-devices/>
- [27] Компоненты для систем EnOcean. URL: <http://www.wless.ru/technology/?tech=11>

- [28] Остроух А.В. Интеллектуальные системы в науке и производстве / А.В. Остроух, А.Б. Николаев. – Saarbrucken, Germany: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 312 p. – ISBN 978-3-659-98006-0.
- [29] Остроух А.В. Системы искусственного интеллекта в промышленности, робототехнике и транспортном комплексе: монография / А.В. Остроух – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2013. – 326 с. – ISBN 978-5-906314-10-9.
- [30] Омар М., Омар Ф., Исмоилов М.И., Остроух А.В. Применение систем распознавания образов в различных предметных областях // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – №4 (12). – С. 32-47. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-4-4.
- [31] Омар М., Омар Ф., Исмоилов М.И., Остроух А.В. Анализ современного состояния развития интеллектуальных роботов // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – №4 (12). – С. 48-54. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-4-5.
- [32] Ле К.Х., Суркова Н.Е., Остроух А.В. Генетические алгоритмы в задачах рациональной организации информационно-вычислительных процессов сетей // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – №4 (12). – С. 82-99. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-4-9.
- [33] A. Ostroukh, V. Nikonov, I. Ivanova, T. Morozova, V. Strakhov. Distributed System of Real Time Head Gesture Recognition in Development of Contactless Interfaces // Middle East Journal of Scientific Research. 2014. Vol. 20 (12). pp. 2177-2183. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2014.20.12.21105.
- [34] A. Ostroukh, V. Nikonov, I. Ivanova, T. Morozova, K. Sumkin, D. Akimov. Development of Contactless Integrated Interface of Complex Production Lines // Journal of Artificial Intelligence (JAI). 2014. Vol. 7, No 1. pp. 1-12. DOI: 10.3923/jai.2014.1.12.
- [35] Morozova T., Sumkin K., Akimov D., Ostroukh A. Contactless integrated interface of production lines // International Journal of Advanced Studies (iJAS). 2014. Vol. 4, Issue 1, pp. 32-38. DOI: 10.12731/2227-930X-2014-1-6.