

ИОТ ПЛАТФОРМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

¹Миронов А.Н., ¹Копылова А.В.,

¹Фирсов А.О., ²Ахметшина А.Б.

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технологический университет» (МИРЭА), 119454, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, 78, e-mail: mironov_an@mirea.ru, aspyver@gmail.com, fir-anton@yandex.ru

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49, e-mail: nastya-demenkova@rambler.ru

В данной статье рассматривается применимость технологий «Интернета вещей» в сфере контроля состояния окружающей среды. На примере Системы экологического мониторинга Москвы рассмотрены недостатки существующих решений в данной области: низкая скорость развертывания, большие размеры станций, высокая стоимость обслуживания. Авторами предлагается новый подход к построению таких систем с использованием технологий «Интернета вещей». Это позволит создавать легко масштабируемые недорогие системы, обладающие высокой энергоэффективностью за счет применения современных технологий дальней и ближней беспроводной связи и соединений поверх сети «Интернет».

Ключевые слова: интернет вещей, экология, мониторинг окружающей среды, компьютерные сети, большие данные, технологии передачи данных, децентрализованные сети, открытые данные

IOT PLATFORM FOR ECOLOGICAL MONITORING

¹Mironov A.N., ¹Kopylova A.V.,

¹Firsov A.O. ²Akhmetshina A.B.

¹Federal State Educational Institution of Higher Education "Moscow Technological University" (MIREA), 119454, Russia, Moscow, Vernadsky avenue, 78, e-mail: mironov_an@mirea.ru, aspyver@gmail.com, fir-anton@yandex.ru

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics", 197101, Russia, St. Petersburg, Kronverksky avenue, 49, e-mail: nastya-demenkova@rambler.ru

This article represents usage of Internet of Things technologies in environmental monitoring. Using the case of Moscow Environmental Monitoring System, disadvantageous features of existing monitoring systems were observed, such as deployment speed, station size, maintenance costs. The authors propose a new approach to development of such systems using IoT technologies. This will make it possible to create easily scalable low-cost systems with high energy efficiency through the use of modern technologies of long-range and near-range wireless communication and connections over the Internet.

Key words: Internet of Things, ecology, environmental monitoring, computer networks, big data, data transmission, open data.

Введение

Мониторинг состояния окружающей среды является важнейшей задачей в условиях глобального изменения климата и стремительного роста городских агломераций. Сбор и анализ данных об окружающей среде занимает несколько же важное место в процессе её изучения и сохранения, как ранняя диагностика заболевания при его лечении. Полученная в результате сбора информация является незаменимой для предотвращения, локализации и расследовании экологических катастроф и инцидентов.

Существующие системы экологического мониторинга позволяют собирать и анализировать широкий спектр необходимой информации о состоянии окружающей среды. Вместе с тем их создание, развертывание и

эксплуатация даже в масштабах одного города представляют собой весьма трудоёмкие процессы, приводящие к существенным затратам региональных и муниципальных бюджетов.

Одним из вариантов решения сложившейся ситуации может стать применение современных информационных технологий, в том числе систем «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT), в отрасли экологического мониторинга. Отличительной особенностью данной области является необходимость сбора большого количества данных с территориально-распределенной сети с целью их дальнейшей обработки и анализа. Поэтому одной из основных задач данного исследования является анализ применимости технологий «Интернета вещей» в интересах экологии. Для ее решения предполагается провести исследование рынка существующих систем экологического мониторинга, и решений на базе технологий «Интернета вещей», а также разработать собственную концепцию системы данного класса.

В данной работе рассматриваются системы мониторинга, предназначенные для определения состояния окружающей среды в городских агломерациях и пригородной зоне. Данные географические области характеризуются с одной стороны, высокой нагрузкой на экологию, а с другой – достаточно просты для развертывания распределенной системы мониторинга, так как имеют развитые линии энергоснабжения и связи. При этом, из-за большого количества близко расположенных загрязнителей воздуха весьма важно иметь как можно большее количество измерительных пунктов, для максимально точного и быстрого обнаружения места и времени выброса.

Существующие системы экологического мониторинга

Различают несколько видов экологического мониторинга, которые выделяют в зависимости от масштабов системы мониторинга (глобальный, национальный, региональный, локальный), от уровня влияния человека на окружающую среду (фоновый, импактный, региональный), от объекта мониторинга (экологический, радиационный, социально-гигиенический). В системе национального (российского) экологического мониторинга выделяются радиационный, комплексный, фоновый, космический, а также государственный мониторинг континентального шельфа и исключительной экономической зоны. Кроме того, специальными структурами и на основе определенных правовых актов осуществляются социально-гигиенический мониторинг, мониторинг животного мира, атмосферного воздуха, водных ресурсов, земель [1]. Структурными звеньями любой подсистемы национального мониторинга являются: измерительная система; информационная система; системы моделирования и оптимизации показателей наблюдаемых объектов; системы восстановления и прогноза полей экологических и метеорологических факторов; система поддержки принятия решений. Такая система позволяет не только оперативно реагировать на внезапные и резкие изменения экологической обстановки, но и проводить комплексные исследования полученных измерений с целью прогнозирования изменений в окружающей среде.

В качестве примера рассмотрим Систему экологического мониторинга Москвы. Технической базой данной системы являются автоматические станции контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА). [6] В стационарном варианте типовая станция контроля, используемая городом, представляет собой всепогодный павильон, внутрь которого помещен аналитический комплекс, а также устройство сбора и обработки информации. На станции осуществляется мониторинг основных загрязнителей (оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сумма углеводородных соединений, озон, диоксид серы), взвешенных частиц PM10 и PM2.5, метеорологических параметров (скорость и направление ветра, температура, давление, относительная влажность). Дополнительно на некоторых станциях осуществляется контроль специфических загрязнителей (сероводород, аммиак, формальдегид, фенол, бензол, фтороводород, хлороводород). Приборы на АСКЗА подлежат калибровке, поверке, которую осуществляют в соответствии с документом по поверке в составе эксплуатационной документации, а также проходят межлабораторные сравнительные испытания при участии лабораторий стран Европейского региона Всемирной организации здравоохранения. [6] В паспорте АСКЗА указаны диапазоны средств измерений комплекса и значения погрешностей измерения (предел допускаемой основной погрешности: абсолютная, приведенная, относительная).

Размеры павильона могут достигать 4 метров в длину, 3 метров в ширину и 3 в высоту. Связь станции с центром мониторинга осуществляется посредством телефонных линий, сотовой связи или через радиоканал. На территории Москвы на 2017 год эксплуатируются 43 станции контроля такого типа. [2]

Развертывание системы из нескольких десятков подобных станций может занять продолжительное время. Измерительные комплексы таких размеров потребуют транспортировки на место установки, которое, к тому же, должно соответствовать размерам павильона. Для их функционирования необходимо постоянное подключение к электричеству и к каналу связи выбранного типа. Наконец, обслуживание подобных систем стоит немалых денежных средств. Так, в 2008 году Правительство Москвы оценило стоимость технического

обслуживания автоматизированной системы контроля загрязнения окружающей среды почти в 10 млн рублей в год. [3]

IoT технологии, применимые для построения системы экологического мониторинга нового поколения

Рассмотрим технологии, которые могут найти свое применение в сфере экологического мониторинга.

В последние годы широкое распространение получила концепция «Интернета вещей». Данная концепция подразумевает совмещение в единую сеть виртуальных объектов и объектов реального мира – от бытовой техники до сложного промышленного оборудования. «Интернет вещей» – не просто множество приборов, подключенных к глобальной компьютерной сети, это платформа для тесного взаимодействия с внешними устройствами, управления ими, анализа их работы. В частности, такими устройствами могут быть и станции анализа состояния окружающей среды.

Тесная интеграция конечных устройств с широко распространённой средой – Интернетом – упростит контроль за ними, а также доступ к получаемым ими данным. Сбор и накопление большого объема данных, упрощение доступа к ним, в свою очередь, ускорит процесс их всестороннего изучения.

Исследование больших объемов данных, в современной терминологии определяемых как «big data», является ключевым элементом в теории «Четвертой парадигмы науки», предложенной лауреатом премии Тьюринга, американским ученым доктором Джеймсом Николасом Греем. [7] Грей предполагает, что сбор и анализ больших объемов статистических данных, ставший возможным благодаря повсеместному распространению вычислительных систем, являет миру принципиально новый подход к исследованиям и позволит по-новому взглянуть на многие проблемы современной науки. Математический анализ данных поможет выявить закономерности и повысить точность конечных выводов, что было бы невозможно на меньших выборках. Именно поэтому важно обеспечить как большое число источников таких данных, так и максимально упрощенный доступ к ним. Последнее также отражает такую распространённую в научном сообществе концепцию, как «открытые данные», т.е. предоставление свободного доступа к данным всем желающим, чтобы любой мог проводить исследования над ними и тем самым ускорять решение конкретной научной задачи. Многие государства предоставляют свободный доступ к некоторым государственным данным, в том числе и Россия. [5]

Экология как наука также не остается в стороне от этих быстро развивающихся тенденций. Анализ больших объемов данных стал бы незаменим при исследовании состояния географических пространств большой площади (например, городов или заповедников), а также при изучении динамики состояния отдельных систем на протяжении длительных отрезков времени. Для подобных исследований в экологии в иностранных источниках применяется термин «экология макросистем» (macrosystems ecology, MSE). [10] Одним из подходов, используемых в экологии макросистем для получения больших объемов данных, как раз заключается в применении расширяемых систем экомониторинга, собирающих данные о текущем состоянии окружающей среды.

Непосредственный доступ конечных устройств в Интернет предоставляет и другие возможности, помимо описанных выше. Применение сервисов Интернета может повысить эффективность использования устройств. Использование серверов точного времени вкупе с протоколом NTP позволит настроить точное время в системе. Для управления комплексом устройств в целом можно использовать универсальные веб-интерфейсы, отображаемые в браузере, вместо интерфейсов под конкретные операционные системы. Это позволяет существенно снизить временные затраты на обслуживание устройств, и обеспечить работу на порядок больших комплексов сбора и обработки данных без увеличения штата специалистов технической поддержки.

В интересах обеспечения телекоммуникационной подсистемы «Интернета вещей» было разработано семейство стандартов, описывающих технологии передачи данных на большие расстояния при низком энергопотреблении – Low Power Wide Area Network (LPWAN). Их отличительной особенностью является возможность передавать данные на расстояния до нескольких километров даже в условиях плотной городской застройки. Обратной стороной высокой дальности передачи данных является низкая пропускная способность таких сетей. В частности, технология LoRa, созданная по принципу LPWAN, обеспечивает скорость передачи от 300 бит/сек до 50 кбит/сек. Такие сети не подходят для постоянной передачи больших объемов данных, однако их возможности оптимальны для сбора телеметрических данных с датчиков или измерительных станций с некоторой периодичностью. При этом одна базовая станция может обеспечивать устойчивое покрытие радиусом до 7 километров.

Одним из самых энергозатратных процессов, протекающих в устройстве «Интернета вещей», является передача данных. Поэтому в качестве одной из основных задач при разработке стандартов LPWAN-сетей передачи данных было снижение энергопотребления при обеспечении связи между удаленными устройствами.

К примеру, использование технологии LoRa, как заявляют разработчики, позволит устройству работать до нескольких лет от одного аккумулятора. Повышения энергоэффективности удастся добиться отчасти благодаря более рациональному использованию доступных каналов связи, а также благодаря более эффективной маршрутизации в сети. Последнее, к примеру, используется в технологии ZigBee PRO. Пониженное энергопотребление позволит отказаться от необходимости постоянного подключения устройства к электросети в пользу питания от аккумулятора, тем самым повысив его автономность. Учитывая, что количество конечных устройств в сети, например, измерительных станций в системе экомониторинга, может быть достаточно большим, вопрос об энергоэффективности как конечных устройств, так и системы в целом представляется весьма важным.

Еще одним ключевым направлением развития современных технологий связи для устройств «Интернета вещей» является повышение безопасности и отказоустойчивости создаваемых вычислительных систем и комплексов. Современные технологии передачи данных для устройств «Интернета вещей» реализуют различные решения для обеспечения безопасности передаваемых данных, передаваемых по сети, для предотвращения их искажения и несанкционированного доступа к ним. Например, в сетях, использующих технологию LoRa, применяется сквозное шифрование данных, от конечного устройства до получателя. Для шифрования используются два разных ключа AES-128. При этом промежуточные устройства сети не имеют непосредственного доступа к самим данным.

Отказоустойчивость сети достигается, в частности, использованием нестандартных топологий сети, таких, как ячеистые сети, или mesh-сети. Устройства внутри данной топологии передают данные между собой, так что в случае недоступности одного из каналов передачи данных автоматически используются другие доступные. Технология ZigBee PRO позволяет объединить в единую ячеистую сеть до 64000 устройств, расположенных на расстояниях до 1500 м друг от друга. Использование такой технологии позволило бы развернуть децентрализованную отказоустойчивую сеть на площади небольшого города.

В настоящее время консорциумом 3GPP совместно с ведущими производителями электроники ведутся активные работы по разработке нового стандарта мобильной связи – 5G. Одной из центральных задач, поставленных перед разработчиками нового стандартом, является обеспечение связью все возрастающего количества устройств «Интернета вещей». Высокая скорость соединения, крайне низкие задержки и большая площадь покрытия позволят создать полноценную глобальную среду межмашинного взаимодействия. Таким образом, «Интернет вещей» станет ядром связи нового поколения. К концу 2017 г. консорциумом 3GPP приняты первые спецификации нового стандарта. [15]

Архитектура создаваемой системы

Для проверки применимости технологий «Интернета вещей» в сфере экологического мониторинга на практике было решено спроектировать платформу измерения качества атмосферного воздуха в городе Москва.

Целью создания подобной системы является контроль в реальном времени за состоянием окружающей среды и предоставление пользователям ознакомительной информации о концентрации основных загрязнителей в атмосфере. При проектировании системы были заданы следующие требования: низкая стоимость создания и эксплуатации, автономность конечных измерительных станций, масштабируемость, оперативный доступ к собранным данным, безопасность данных и стабильность работы системы в целом.

В основу создаваемой системы, при проектировании которой использовался ГОСТ Р 57100-2016 [16], легла архитектура распределенной обработки данных. Важнейшим элементом системы являются измерительные станции, самостоятельно устанавливаемые пользователями системы и объединенные в сеть. Каждая из станций оснащена модулем передачи данных и набором измерительного оборудования, которые могут изменяться в зависимости от места ее установки. Получаемые данные о состоянии окружающей среды передаются на сервер и в дальнейшем могут быть доступны как пользователю системы через веб-интерфейс или мобильное приложение, так и сторонним программным продуктам через API. Общая архитектура создаваемой платформы представлена на рисунке 1.

Ядром каждой измерительной станции является плата на основе контроллера Cortex M3, к которой подключаются датчики-газоанализаторы и прочее измерительное оборудование. Нами был определен список веществ-загрязнителей, концентрации которых в воздухе необходимо отслеживать посредством измерительных станций. В этот список вошли такие вещества, как угарный газ, оксид азота(IV), озон, метан, а также взвешенные частицы в воздухе. Также, по желанию пользователя, станция может быть доукомплектована анемометром, датчиками температуры, влажности, давления и освещенности. Архитектура измерительной станции представлена на рисунке 2.

В качестве технологии передачи данных была выбрана сеть на основе стандарта LoRa. Как уже было сказано выше, низкие скорости передачи данных в сети LoRa компенсируются высокой дальностью действия при малом энергопотреблении. Помимо прочего, сети LoRa используют нелицензируемый радиочастотный диапазон LPD433 и ISM-диапазон 868 МГц [12], что позволит развернуть сеть в краткие сроки без оформления дополнительных разрешений, а также добавлять в нее новые устройства по мере необходимости без отчисления абонентской платы.



Рисунок 1 - Общая архитектура создаваемой платформы

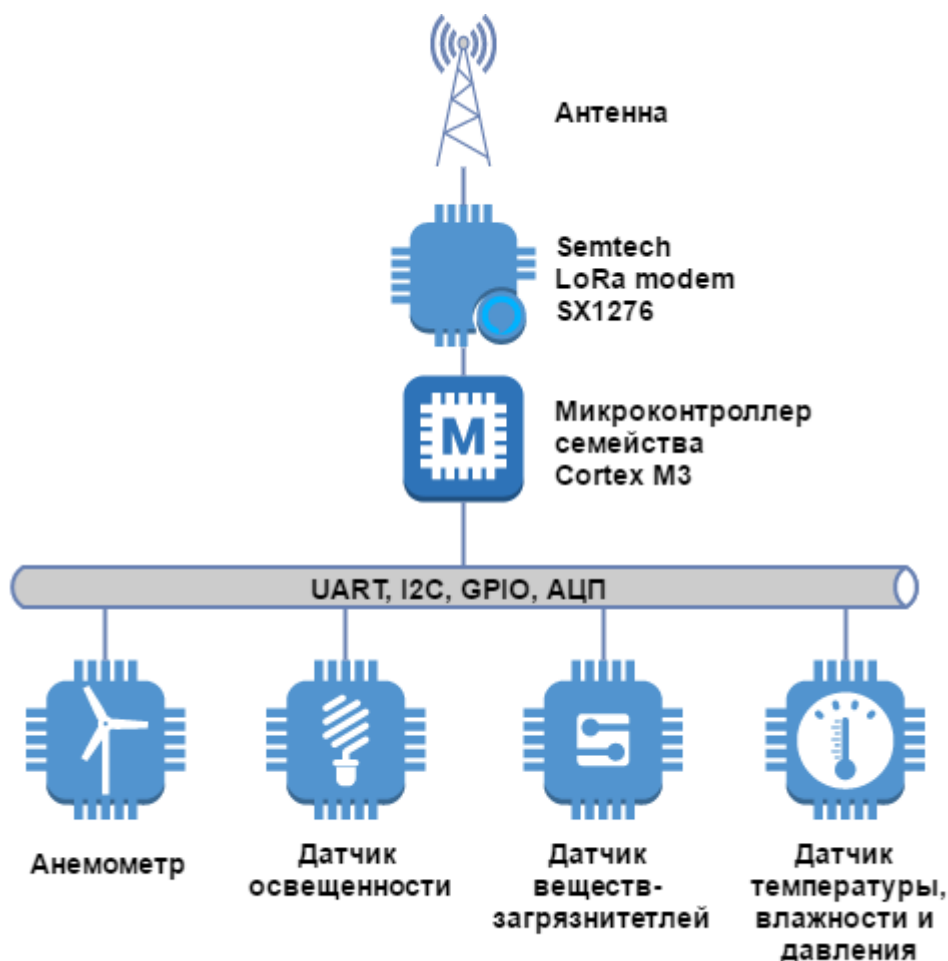


Рисунок 2 - Архитектура измерительной станции

Также существенным преимуществом технологии LoRa являются открытые аппаратные спецификации модуля передачи данных от компании SemTech и существование консорциума LoRa Alliance, в который входят многие крупные производители программного и аппаратного обеспечения, такие как Intel, IBM и Cisco. Это

дает уверенность в том, что данная технология имеет перспективы устойчивого развития и присутствия на рынке в ближайшие несколько лет. [9] Топология развертываемой сети представлена на рисунке 3:

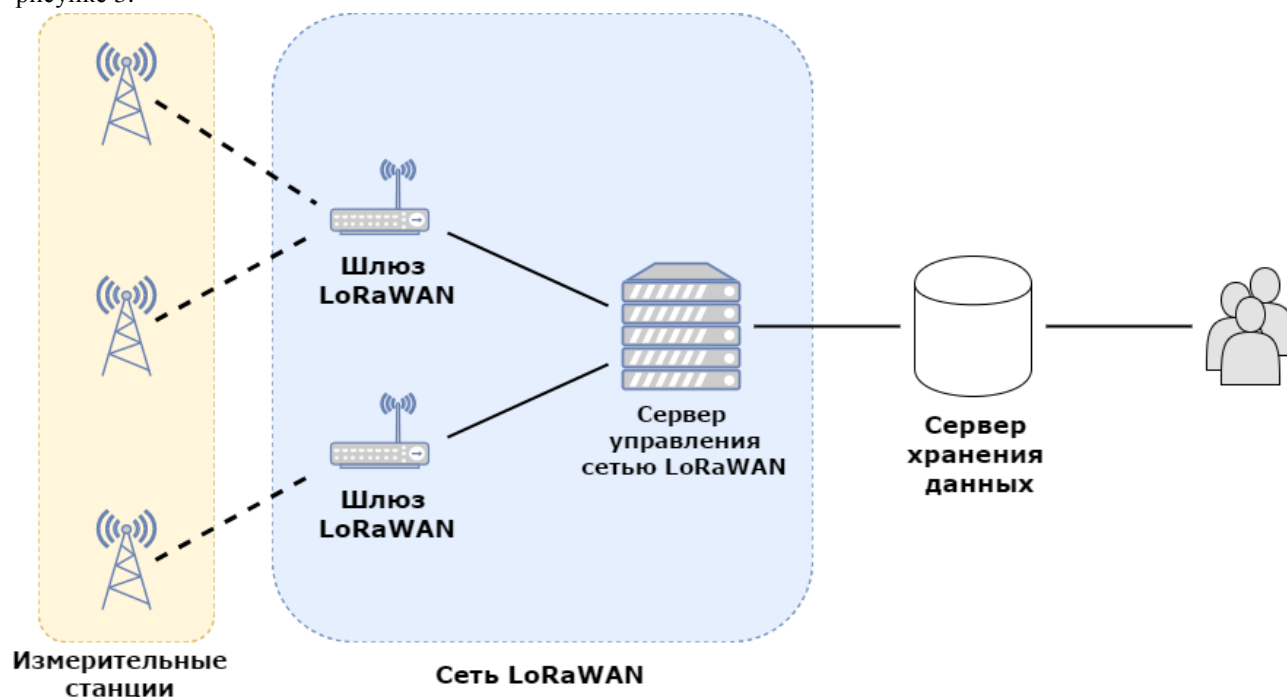


Рисунок 3 - Топология сети передачи данных LoRa

Измерительные станции собирают данные с датчиков и передают их на ближайший шлюз. Шлюзы выполняют роль «прозрачного моста» между конечными устройствами сети LoRa и сетевым сервером, и не обрабатывают непосредственно передаваемые данные. Помимо шлюзов, в сети LoRa присутствует управляющий сервер, организующий передачу данных от конечных устройств потребителю и от потребителя к конечным устройствам. Сетевой сервер разрешает коллизии в сети, изменяет мощность передатчиков и скорость передачи данных, контролирует заряд батарей конечных устройств, а также направляет полученные данные целевым абонентам, если таковых в сети несколько.

В качестве целевого абонента в сети экомониторинга выступает сервер обработки и хранения данных. Здесь происходит извлечение, хранение и обработка полученных с измерительных станций данных. Для упрощения работы с векторами данных используется стандартный протокол MQTT и брокер Mosquitto.

Сторонние приложения получают данные о состоянии окружающей среды с сервера обработки и хранения данных, приводят их в соответствие с принятыми в регионе единицами измерения и отображает конечному пользователю как в виде суммарной информации со всех станций, так и по каждой станции в сети отдельно. Для наглядного отображения информации могут использоваться тепловые карты, сводные таблицы, гистограммы, представленные как в виде содержимого веб-страниц, так и в виде отдельного мобильного приложения.

Заключение

В ходе выполнения данного исследования нами были проанализированы современные технологии в области сбора, передачи и обработки данных. Был сделан обзор стандартов организации сетей передачи данных, и дана оценка их применимости в сфере экологического мониторинга. Результатом проведённой работы стал проект расширяемой платформы мониторинга состояния окружающей среды.

Описанные в данной статье тезисы показывают, что как концепция «Интернета вещей» в целом, так и реализующие эту концепцию технологии могут найти широкое применение в области отслеживания состояния экологии. Их использование приведет к созданию систем мониторинга окружающей среды нового поколения, имеющих большое количество измерительных узлов, и при этом обладающих низкой стоимостью развертывания и обслуживания. Повсеместное внедрение данных решений позволит повысить интенсивность сбора данных, что положительно скажется на их точности и достоверности, так как станет возможным отслеживание динамики изменения состояния окружающей среды. Собранные и накопленные таким образом данные могут использоваться в качестве одного из источников информации при построении различных

аналитических сервисов, ориентированных как на массового пользователя, желающего узнать о текущем состоянии экологии в месте своего проживания; так и на администрацию городов и поселков, имеющих возможность влиять на объем и характер вредных выбросов с предприятий, находящихся в их зоне ответственности.

Список литературы

1. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 29.07.2017). – Режим доступа: Система «Консультант Плюс»;
2. Об утверждении государственного задания государственному природоохранному бюджетному учреждению «Мосэкомониторинг» на 2016 год и плановый период 2017 и 2018 годов [Электронный ресурс]: приказ Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы от 17.12.2015 N 423. – Режим доступа: Официальный портал Мэра и Правительства Москвы;
3. Департамент природопользования Москвы выбирает поставщика ИТ-услуг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cnews.ru/news/line/departament_prirodopolzovaniya_moskvy. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.03.2018);
4. Открытые данные России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://data.gov.ru/>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.03.2018);
5. Портал открытых данных правительства Москвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://data.mos.ru/>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.03.2018);
6. Станции автоматического контроля загрязнения атмосферного воздуха АСКЗА-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.td-str.ru/file.aspx?id=33135>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.03.2018);
7. Четвертая парадигма [Текст] / ред. А. Хей, С. Тансли, К. Толле. – Редмонд: Microsoft Research, 2014 – 281 с.;
8. Hart, J.K. Toward an environmental Internet of Things / J.K. Hart, K. Martinez // Earth and Space Science. – 2015. – №2. – P. 194-200;
9. LoRa Alliance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lora-alliance.org/>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.03.2018);
10. Soranno, P.A. Macrosystems ecology: big data, big ecology / P.A. Soranno, D.S. Schimel // Frontiers in Ecology and the Environment. – 2014. - №1. – P. 3;
11. Холопов В.А., Ладынин А.И. Анализ структур АСУТП по отношению к типам производства // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 6. С. 7-11.
12. Курнасов Е.В. Оценка степени межуровневого взаимодействия информационных потоков производственного предприятия с MES-системой // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2012. № 3. С. 3–5.
13. ZigBee PRO with Green Power [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/network-specifications/zigbeepro/>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.03.2018).
14. Постановление Правительства РФ от 12 октября 2004 г. N 539 "О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств" (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Система ГАРАНТ: <http://base.garant.ru/12137217/#ixzz59peqPAQ0> - . – (Дата обращения: 15.03.2018);
15. First 5G NR Specs Approved [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1929-nsa_nr_5g. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.03.2018).
16. ГОСТ Р 57100-2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://internet-law.ru/gosts/gost/63426/>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.03.2018).

References

1. On environment preservation: Federal Law of 10.01.2002 No. 7-FZ. – Available at: On-line system «Consultant Plus»;
2. On establishing state task to the State Environmental Institution «Mosecomonitoring» to 2016: Order by Department of Natural Usage and Environment Preservation of Moscow of 17.12.2015 No.423. – Available at: The official portal of the Moscow Mayor and Moscow Government;
3. Department of Natural Usage of Moscow chooses IT services provider. – Available at: http://www.cnews.ru/news/line/departament_prirodopolzovaniya_moskvy. – (accessed – 15.03.2018);
4. Open data of Russia. – Available at: <http://data.gov.ru/>. – (accessed – 15.03.2018);

5. Portal of the open data of the government of Moscow [the Electronic resource]. - Access mode: <http://data.mos.ru/>. - The title from the screen. - (Date of circulation: 20.11.17);
6. Air pollution control automatic station ASKZA-1. - Available at: <http://www.td-str.ru/file.aspx?id=33135>. - (accessed – 15.03.2018);
7. The Fourth Paradigm / A. J. Hey, S. Tansley, K. M. Tolle. – Redmont, Washington: Microsoft Research, 2014 – 281 p.;
8. Hart, J.K. Toward an environmental Internet of Things / J.K. Hart, K. Martinez // Earth and Space Science. – 2015. – №2. – P. 194-200;
9. LoRa Alliance. – Available at: <https://www.lora-alliance.org/>. – (accessed – 15.03.2018);
10. Soranno, P.A. Macrosystems ecology: big data, big ecology / P.A. Soranno, D.S. Schimel // Frontiers in Ecology and the Environment. – 2014. - №1. – P. 3;
11. Kholopov V.A., Ladynin A.I. ACS Analysis on the Relation of Different Manufacturing Types //Industrial ACS and controllers. - 2015. № 6. P. 7-11.
12. Kurnasov E.V., Estimation of the degree of interlevel interaction of information streams of manufacturing enterprise with system MES // Assembly in machine and instrument building. 2012. № 3. C. 3–5.
13. ZigBee PRO with Green Power™ – Available at: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/network-specifications/zigbeepro/>. – (accessed – 15.03.2018).
14. The order of the Government of Russian Federation Of October 12, 2004 N 539 «About the order of registration of radio electronic means and high-frequency devices» Available at: On-line system «Garant» <http://base.garant.ru/12137217/#ixzz59peqPAQ0> – (accessed – 15.03.2018).
15. First 5G NR Specs Approved. Available at: : http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1929-nsa_nr_5g – (accessed – 15.03.2018).
16. State standart GOST R 57100-2016. Available at: <http://internet-law.ru/gosts/gost/63426/> - (accessed – 15.03.2018)