

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ДАТЧИКОВ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Д. С. Афанасьев¹, Е. А. Бардакова^{2*}, Д. С. Быстрыakov¹

¹ СПбГЭТУ, Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация

² СПбГЭУ, Санкт-Петербург, 191023, Российская Федерация

* Адрес для переписки: bardakova.elena95@mail.ru

Аннотация

Предмет исследования. Статья посвящена обзору видов и принципов работы датчиков летучих веществ и возможности их использования при построении Интернета Вещей. **Метод.** В качестве метода исследования приводится системный анализ существующих датчиков и принципов их работы. **Основные результаты.** Систематизированы принципы действия и построения датчиков летучих веществ, произведен обзор рынка и технических решений. Приведен пример интеграции датчиков с Интернетом Вещей. **Практическая значимость.** Полученные материалы можно использовать при выборе аппаратного обеспечения систем использующих распределенный контроль жизненного пространства.

Ключевые слова

летучие вещества, запахи, датчики, сенсоры, газоанализаторы, электронный нос, аромобезопасность, Интернет Вещей.

Информация о статье

УДК 53.087.92

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 20.10.16, принята к печати 25.11.16.

Ссылка для цитирования: Афанасьев Д. С., Бардакова Е. А., Быстрыakov Д. С. Аналитический обзор датчиков летучих веществ для интернета вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 4. С. 1–12.

ANALITICAL REVIEW SENSORS OF VOLATILES FOR THE INTERNET OF THINGS

D. Afanasiev¹, E. Bardakova^{2*}, D. Bystryakov¹

¹ SPbGETU, St. Petersburg, 197376, Russian Federation

² SPbGEU, St. Petersburg, 191023, Russian Federation

* Corresponding author: bardakova.elena95@mail.ru

Abstract—Research subject. The article provides an overview of types and the principles of operation of sensors of volatiles and a possibility of their use in case of creation of the Internet of Things. **Method.** The system analysis of the existing sensors and the principles of their work is provided as a method of a research. **Core results.** The principles of action and creation of sensors of volatiles are systematized, the overview of the market and technical solutions is made. The example of integration of sensors with the Internet of Things is given. **Practical relevance.** The received materials can be used in case of the choice of the hardware of the systems using the distributed control of living floor space.

Keywords—Volatiles, smells, sensors, gas analyzers, electronic nose, aromasecurity, Internet of things.

Article info

Article in Russian.

Received 20.10.16, accepted 25.11.16.

For citation: Afanasiev D., Bardakova E., Bystryakov D.: Analytical Review Sensors of Volatiles for the Internet of Things // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 4. pp. 1–12 (in Russian).

Введение

Существует большое количество параметров, являющихся признаком возникновения угроз человеку. К числу таких параметров относится запах. Запах – специфическое ощущение присутствия в воздухе летучих ароматных веществ (ЛАВ).

Нахождение тех или иных летучих веществ (запахов) в воздухе могут указывать на наличие потенциальной угрозы безопасности, здоровья и жизни человека. Летучие вещества могут нести как прямую, так и косвенную угрозу. К прямым угрозам безопасности человека можно отнести токсичные, взрывоопасные газы, действующие на организм человека в разной степени тяжести за короткий промежуток времени, иногда моментально (головокружение, опьянение, отравление, преждевременная смерть и др.). К косвенным угрозам можно отнести газы, обладающие канцерогенными свойствами, нанося вред на организм человека спустя длительные промежутки времени (генетические изменения, злокачественные опухоли и др.). Некоторые группы газов обладают явными свойствами такими как: характерный запах, цвет. Но так же, есть группы газов, которые невозможно увидеть или почувствовать человеку даже при содержании в воздухе предельно допустимых концентраций. В статье рассматриваются следующие группы опасных газов:

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| 1) угарные газы; | 5) аммиак; |
| 2) углеводородные газы; | 6) бензол; |
| 3) пары спирта; | 7) сероводород. |
| 4) озон; | |

Общая характеристика летучих веществ

В аналоговом мире люди и животные с помощью обонятельных рецепторов определяют наличие запаха в воздухе и могут идентифицировать его, основываясь на своих знаниях и опыте. Но далеко не все запахи и предельно допустимые концентрации (ПДК) возможно обнаружить рецепторами обоняния.

В цифровом мире существуют устройства, способные обнаруживать как определенные, так и целые спектры различных запахов – газоанализаторы, электронные носы.

Основным элементом такого устройства является датчик (сенсор). От того, какой сенсор используется при построении устройства, зависят все дальнейшие характеристики и эффективность измерительного прибора. Датчики можно классифицировать по:

- принципу работы;
- определяемому веществу (или спектру веществ);
- времени определения запаха;
- пороговым концентрациям;
- продолжительности работы;
- времени очистки, после обнаружения запаха;
- времени эксплуатации;
- габаритам;
- стоимости;
- производителю.

Рассмотрим угарные газы (СО, окись углерода, оксид углерода (II)). Угарный газ не имеет запаха и цвета. Характерные признаки отравления у человека: головокружение, шум в ушах, мерцание перед глазами. В тяжелых случаях: потеря сознания, кома, смерть. Относится к классу опасности 2,3. Предельная допустимая концентрация – 25 ppm, 29 мг/м³.

В отличие от окиси углерода, оксид углерода (СО₂) не токсичный газ, но повышенные концентрации в воздухе воздействуют на человека удушающе. Признаки отравления: головокружение, потеря сознания. При вдыхании большой концентрации смерть наступает крайне быстро. Повышенная концентрация: 2–4 %; опасная концентрация: 7–10 %.

Сжиженные углеводородные газы (СУГ, LPG) – смесь сжиженных под давлением углеводородов. Взрывоопасны, малотоксичны, имеют резкий запах углеводородов. Углеводородные газы относятся к 4 классу опасности. Применяются в качестве топлива, сырья для органического синтеза. Основные компоненты – пропан, изобутан, н-бутан (табл. 1). Предельная допустимая концентрация: 300 мг/м³.

Таблица 1.

Сжиженные углеводородные газы

Показатель	Метан	Этан	Этилен	Пропан	н-Бутан	н-Бутилен
Хим. формула	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈
Необходимое количество воздуха для горения (м ³)	3,52	16,66	14,28	23,8	30,94	28,56

Широкое использование имеет метан (CH₄). В нормальных условиях бесцветный газ без запаха, легче воздуха. При использовании в быту обычно добавляют одоранты со специфическим запахом для обнаружения утечки. Метан не токсичен и не оказывает прямого воздействия на организм человека. Однако,

при концентрации в воздухе от 4 до 18 % взрывоопасен. Относится к четвертому классу опасности.

Водород (H_2) легкий бесцветный газ. Горюч, пожаро- и взрывоопасен при смеси с воздухом, особенно при объемном отношении с кислородом в пропорции 2:1 (или с воздухом 2:5). Предельная допустимая концентрация: $0,02 \text{ мг/м}^3$.

Пары спирта – органические соединения, содержащие одну или более гидроксильных групп. Этанол (C_2H_5OH , этиловый спирт, метилкарбинол, винный спирт) – действующий компонент алкогольных напитков, являющийся депрессантом – психоактивным веществом, угнетающим центральную нервную систему человека. Бесцветная жидкость с характерным запахом и вкусом, легче воды, горюч, легко воспламеняется. Изопропиловый спирт (C_3H_8O , ИПС, пропанол-2 (2-пропанол), втор-пропанол, изопропанол, диметилкарбинол) – вторичный одноатомный спирт. Бесцветная жидкость, с более резким запахом, чем у этанола. Обладает наркотическим действием, превышает в 2 раза эффект этанола. Метанол (CH_3OH , метиловый спирт, древесный спирт, карбинол, метилгидрат, гидроксид метила) – одноатомный спирт. Бесцветная жидкость с резким запахом этанола. Является опаснейшим ядом для человека. Прием внутрь 10 мл метанола приводит к сильному отравлению организма (возможна слепота), прием внутрь 1–2 мл на килограмм веса человека может привести к смерти.

Наличие паров спирта в воздухе при определенных ситуациях могут являться угрозой безопасности общества. К примеру, датчик этанола, установленный в кабине автомобиля, при срабатывании, может указывать на алкогольное опьянение водителя, что может послужить причиной катастрофы.

Озон (O_3) газ голубого цвета при нормальных условиях. Высокая токсичность обусловлена высокой окисляющей способностью озона и образованием свободных радикалов с его участием. Воздействие на организм может повлечь за собой смерть человека. Озон относится к первому классу опасности. Предельная допустимая концентрация: $0,16 \text{ мг/м}^3$.

Аммиак (NH_3) бесцветный газ с резким запахом при нормальных условиях. Вдвое легче, чем воздух. Относится к 4 классу опасности. По физиологическому действию на организм относится к группе веществ удушающего и нейротропного действия. Предельная допустимая концентрация в жилых помещениях: $0,3 \text{ мг/м}^3$. Предельная допустимая концентрация рабочей зоны: 20 мг/м^3 .

Бензол (C_6H_6) бесцветная жидкость со специфическим сладковатым запахом. В больших дозах бензол оказывает сильное действие на организм человека, в некоторых тяжелых случаях может повлечь летальный исход. Предельная допустимая концентрация 5 мг/м^3 .

Сероводород (сернистый водород, сульфид водорода, дигидросульфид) – бесцветный газ со сладковатым вкусом, имеющий резкий запах. Относится ко второму классу опасности. Ядовит в больших концентрациях, огнеопасен. Сильно воздействует на организм человека. При значительных концентрациях во вдыхаемом воздухе может привести к судорогам, коме и смерти. Предельная допустимая концентрация: 10 мг/м^3 .

Таким образом, используемые в практической деятельности летучие вещества обладают различными признаками и свойствами, а так же, по-разному воздействуют на организм человека.

Для изучения летучих веществ используется газоаналитическое оборудование с самым разнообразным набором сенсоров, основанным на разных принципах работы.

Обзор принципов работы датчиков запахов

Принцип работы датчика является одним из важнейших свойств, так как от него зависят спектр определяемых веществ, время определения, пороговые концентрации, стоимость и др. параметры. Будем ориентироваться на данную классификацию датчиков по принципу работы¹:

- 1) инфракрасные (оптические);
- 2) термохимические (каталитические);
- 3) полупроводниковые;
- 4) фотоионизационные;
- 5) электрохимические.

Работа инфракрасных датчиков основана по принципу не дисперсионного инфракрасного метода (NDIR). Принцип работы датчика, определяющего тип и концентрацию газа, основан на изменении интенсивности ИК излучения до и после поглощения в инфракрасном детекторе с избирательной чувствительностью. Детекторы используют две волны, одна из которых (активная) поглощается газом, а вторая (опорная) – нет. Для активной длины волны измеряется уровень сигнала, который затем сравнивается с эталонным значением. Эта информация обрабатывается с использованием современных алгоритмов. Результатом такой обработки является линейный выходной сигнал концентрации газа.

Работа датчиков такого типа не зависит от состояния окружающей среды. Они устойчивы к вибрациям, помехам, силикатам. Так же, датчики обладают высокой точностью, чувствительностью, надежностью и быстрым откликом. Датчик не подвержен «перенасыщению», т. е. при больших концентрациях не происходит сбоя работы датчика или смещение пороговых значений. Обслуживание датчиков, при правильной установке, минимально – проверка нулевого значения без калибровки необходима один раз в год, что значительно упрощает техническое обслуживание устройств с сенсорами такого типа, но не исключает вовсе. Недостатками использования инфракрасных датчиков являются первоначальные затраты на их покупку, идентификация только конкретных газов (метан и CO₂).

Работа термохимических датчиков основана на измерении реакции окисления газа. Применяются для нахождения концентраций горючих газов в пространстве. Воздействие газа на каталитический датчик приводит к горению газа без образования пламени, вследствие чего изменяется температура шарикового датчика, что влечет за собой изменение сопротивления. Далее полученное значение сопротивления сравнивается с эталонным значением сопротивления датчика, не подвергавшегося воздействию окружающей среды. Концентрация газа линейно зависит от значения сопротивления, т. е. чем выше значение, тем выше концентрация. Концентрацию газа вычисляют путем отслеживания изменений сопротивления.

Принцип работы термохимических датчиков имеет ряд преимуществ: широкий спектр идентифицируемых веществ (метан, сжиженные углеводородные

¹ Датчики газа. URL: <http://gas-sensor.ru/>

газы (LPG), пропан и другие горючие газы), работа датчиков не зависит от состояния окружающей среды, невысокая стоимость. Так же, есть ряд существенных недостатков: подвержены воздействию силикатов, возможно перенасыщение детектируемым газом вследствие воздействия больших концентраций, в результате чего датчик может выйти из строя, либо могут быть смещены пороговые значения. Из-за существенных недостатков рекомендуется проводить калибровку нуля и пороговых значений датчика один раз в квартал, что существенно увеличивает стоимость обслуживания.

Полупроводниковые датчики предназначены для определения сероводородных соединений. Отличительная конструкторская особенность датчиков в том, что на кремниевую подложку наносятся слои нагревательной пленки. Также как и у каталитических датчиков, их действие основано на свойствах поглощения газа поверхностью нагретого оксида. В рабочем состоянии, когда присутствует другой газ, вызывающий окислительно-восстановительную реакцию, концентрация отрицательных ионов кислорода уменьшается. Это приводит к уменьшению порогового напряжения, и, как следствие, к уменьшению сопротивления датчика. Чувствительный материал датчика имеет низкую проводимость в присутствии чистого воздуха. При появлении детектируемого горючего газа, проводимость датчика растет с ростом концентрации этого газа. Имеют широкий спектр детектируемых веществ: горючий газ, природный газ, LPG, коксовый газ, водород, пары спирта, озон, оксид углерода, аммиак, бензол, сероводород, летучие органические вещества (VOC). Полупроводниковые датчики просты, надежны и обладают высокой степенью чувствительности. Широко используются в детекторах бытового газа. В промышленности не применяются, так как не достаточно точны при определении отдельных газов, чувствительны к атмосферной температуре и влажности, медленно проходит процесс очистки после идентификации газа. Рекомендуется проводить проверку датчиков и калибровку пороговых значений один раз в квартал.

Детектирование веществ фотоионизационными сенсорами осуществляется под действием ультрафиолетового излучения. Газ проходит через сенсоры датчика и молекулы органических и неорганических веществ ионизируются. Работа фотоионизационных датчиков (ФИД) основана на измерении тока, вызванного ионизацией молекул газов и паров фотонами, излучаемыми источником вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения – ВУФ-лампы.

ВУФ-излучение через окно лампы выходит в ионизационную камеру, где установлены два электрода, один из которых соединен с источником питания, а другой с электрометром. В ионизационную камеру подается проба. Под действием излучения компоненты с энергией ионизации, меньшей энергии фотонов, испускаемых ВУФ-лампой, ионизируются. В ионизационной камере протекает ток, величина которого пропорциональна концентрации примесей. При этом компоненты чистого воздуха, имеющие более высокие потенциалы ионизации, не ионизируются. Фотоионизационные датчики могут детектировать небольшое количество газов: метан, n-алканы C1–C5 и диоксид углерода.

Электрохимические датчики позволяют определять концентрацию газов в смеси по значению электрической проводимости раствора, поглотившего этот газ. Датчики данного типа применяются для обнаружения токсичного газа (водород, фосфин, аммиак, угарный газ, оксид серы, оксид азота, хлор, сероводород

и др.) в производственных процессах. Определение концентрации газа происходит путем измерения тока по электрохимическому принципу. На рабочем электроде внутри электрической ячейки проходит процесс электрохимического окисления. Ток, который вырабатывается при реакции детектируемого газа, прямо пропорционален концентрации газа. Датчики отличаются высокой эффективностью, надежностью, чувствительностью и небольшой стоимостью. Так же, датчики не реагируют на изменения влажности, не требуют нагрева, за счет этого имеют малое потребление и возможность батарейного питания.

Все принципы работы датчиков имеют свои положительные и отрицательные стороны. В зависимости от сферы применения выбирают тот или иной тип датчика.

Методы детекции развиваются, в последние несколько лет появились датчики на основе нанотрубок, которые способны обнаружить вещества в малейших концентрациях. Исследования в этом направлении продолжаются. Сенсорика, в частности сенсоры летучих веществ, относится к одному из приоритетных направлений национальной технологической инициативы.

Обзор рынка и технических решений датчиков запахов

На сегодняшний день существует большое количество производителей датчиков и газоаналитического оборудования. Явного мирового лидера в данной области нет, так как компании ориентируются на определенные рынки и группы покупателей, некоторые специализируются и выпускают сенсоры исключительно под собственные продукты и в определенных узкоспециализированных областях.

Некоторые из производителей, которые успешно производят и поставляют датчики запахов для многих стационарных и переносных газоанализаторов: Alphasense (Великобритания), Dynament (Великобритания), DDScientific (Великобритания), Membrapor (Швейцария), Nemoto & Co. Ltd. (Япония), Sixth Sense (Великобритания), SmartGAS Mikrosensorik (Германия), Экотоп (Россия)².

Alphasense – независимый разработчик и производитель газовых сенсоров и датчиков кислорода и токсичных газов под собственной торговой маркой и дизайном. Предлагает широкий ассортимент электрохимических датчиков газа. Все сенсоры имеют гарантию от протечки и возможность проверки сенсора по штрих-коду (табл. 2).

Dynament (Великобритания) – специализируется в области разработки и производства инфракрасных (оптических) газовых датчиков и сенсоров.

В отличие от Alphasense специализируется только на оптических датчиках газов. Продукция Dynament представлена в трех основных категориях: газовые сенсоры метана, газовые сенсоры углекислого газа, газовые сенсоры диоксида азота (табл. 3).

Membrapor (Швейцария) – инновационно-технологическое предприятие, расположенное в городе Цюрих, Швейцария. Датчики производятся в Швейцарии и применяются в самых различных областях по всему миру (табл. 4).

Является прямым конкурентом Alphasense, но уступает по рабочему диапазону. Изготавливаются для различных сфер деятельности, таких как: неподвижные системы обнаружения, личные мониторы безопасности, анализаторы дыма и аппараты дыхания.

² Газовые датчики и сенсоры. URL: <http://www.gassensor.ru/ru/sensors>

Таблица 2.

Сенсоры производства компании Alphasense

Принцип работы	Детектируемое вещество	Название сенсора	Рабочий диапазон, (ppm)	Время отклика, (сек.)	Значение перенасыщения датчика, (ppm)	Срок службы, (мес.)
Электрохимический	Монооксид углерода	CO-D4	до 1 000	< 25	2 000	>24
		CO-CX	до 2 000	< 40	4 000	
		CO-CF	до 5 000	< 30	20 000	
		CO-CE	до 10 000	< 75	100 000	
		CO-BX	до 2 000	< 25	5 000	
	Водород	H2-AF	до 2 000	< 30	5 000	
		H2-BF	до 10 000	< 100	20 000	
	Фосфин	PH3-A1	до 10	< 25	75	
		PH3-B1	до 10	< 20	150	
		PH3-BE	до 2 000	< 30	5 000	
	Озон	O3-B4	до 2	< 30	-	
	Аммиак	NH3-B1	до 100	< 30	200	

Таблица 3.

Сенсоры производства компании Dynament

Принцип работы	Детектируемое вещество	Название сенсора	Диапазон измерений, (%)	Время отклика, (сек.)	Значение перенасыщения датчика, (%)	Срок службы, (мес.)
Оптический	Метан	MSH-P/HR	0–100	< 30	-	> 60
		MSH-P/HC	0–100	< 30		
	Пропан	MSH-P/HHC	0–100	< 30		
	Пропилен	MSH-P/HC	0–2	< 45		
	Бутан		0–5			
	Пентан		0–2			
	Гексан		0–3			
	Этилен		0–3			
	Этанол		0–5			

Таблица 4.

Сенсоры производства компании Membrapor

Принцип работы	Детектируемое вещество	Название сенсора	Диапазон измерений, (ppm)	Время отклика, (сек.)	Значение перенасыщения датчика, (ppm)	Срок службы, (мес.)
Электрохимический	Угарный газ	CO/SF-1000	до 1 000	< 40	2 000	36
		CO/S-1000	до 1 000	< 35	2 000	
		CO/SF-2E	до 300	< 40	500	
		CO/SF-2000-S	до 2 000	< 40	4 000	
		CO/SF-4000-S	до 4 000	< 40	20 000	
		CO/SF-2E-S	до 300	< 40	500	
	Водород	H2/S-1000	до 1 000	< 45	2 000	24
		H2/SA-1000	до 1 000	< 50	2 000	
	Сероводород	H2S/S-50	до 50	< 60	500	
		H2S/S-200	до 200	< 60	500	
	Аммиак	NH3/SR-200	до 200	< 60	200	
		NH3/SR-1000	до 1 000	< 50	2 000	
	Озон	O3/S-5	до 5	< 60	50	
	Фосфин	PH3/S-5	до 5	< 25	25	

Таблица 5.

Сенсоры производства компании Nemoto & Co. Ltd.

Принцип работы	Детектируемое вещество	Название сенсора	Диапазон измерений, (ppm)	Время отклика, (сек.)	Значение перенасыщения датчика, (ppm)	Срок службы, (мес.)
Электрохимический	Угарный газ	NT-CO	до 1 000	< 30	2 000	> 60
		NT-CO-2F				
		NAP-505-R				
		NAP-505-S				
		NAP-505-RS				
		NAP-505-SS				
	Сероводород	NT-H2S-1	до 100	< 20	500	> 24
		NT-H2S-2	до 200		1 000	
		NT-H2S-3	до 500		2 000	
		Аммиак	NT-NH3	до 100	< 90	
NT-NH3-1000			до 1 000	< 120	2 500	
Каталитический	Метан и горючие газы	NAP-55A	0–50 % LEL*	8	4 000	> 60
		NAP-50A	0–50 % LEL*			
		NAP-66A	0–50 % LEL*			

*LEL – lower explosive limit (нижний предел взрываемости)

Nemoto & Co. Ltd. (Япония) – группа компаний, специализируется на производстве недорогих датчиков и сенсоров для детектирования концентрации токсичных и горючих веществ. Применяются в областях обеспечения безопасности труда, контроля технологических параметров, пожарно-охранной безопасности, контроле качества воздуха и других областях. Получили мировую известность благодаря качественным датчикам угарного газа для промышленного и бытового применения (табл. 5).

Пример использования датчиков запахов

На сегодняшний день есть большое количество приборов, использующих датчики летучих веществ. Примеры таких устройств: ручной газоанализатор «Асе-ID», газоанализатор «Гриф-1М», электронный нос «суганосе 320» и др. Все эти приборы объединяет то, что они используются только на физическом уровне различными службами безопасности, для определения концентрации в конкретном месте и не нацелены на обеспечение безопасности широкого круга лиц.

При помощи интеграции датчиков запахов и Интернета Вещей [1, 2] можно создать программно-аппаратный комплекс мониторинга среды обитания человека – мест массового скопления людей, к примеру, здания аэропорта. Такая система обеспечения безопасности будет отличаться от известных систем следующими признаками [3, 4, 5]:

- физическим принципом наблюдения, в соответствии с которым состояние среды контролируются при помощи химических датчиков, обнаруживающих запахи опасных веществ, такие как угарный газ, метан, пропан, аммиак, этанол, а не видео- или звукоаппаратуры;
- нацеленностью на обеспечение безопасности всех людей, свободно перемещающихся в пространстве аэропорта;
- концепцией построения, в соответствии с которой подсистемы фиксации запахов, анализа возможных угроз человеку, связанных с существованием таких запахов, базы данных и др. разнесены в пространстве, взаимодействуют друг с другом при помощи технологий Интернета Вещей и облачных сервисов и используются для организации целостного процесса обеспечения безопасности людей, перемещающихся в пределах здания;
- использованием технологий навигации для постоянного контроля над координатами всех разнесенных в пространстве подсистем;
- системной интеграцией всех компонентов и процессов деятельности, что позволяет сформировать единое информационное пространство под управлением руководителей, службы безопасности здания и муниципальных органов власти.

Заключение

В статье приводится анализ летучих веществ и их связь с угрозами безопасности человека. Рассмотрены принципы действия и построения датчиков летучих веществ, а так же произведен обзор рынка и технических решений датчиков. Приведен пример интеграции датчиков с Интернетом Вещей.

Литература

1. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
2. Kirichek R., Koucheryavy A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. pp. 485–494.
3. Быстряков Д. С., Ипатов О. С., Колбанёв М. О. Система аромобезопасности // Технологии информационно-экономической безопасности: сб. СПб.: СПбГЭУ. 2016. С. 16–22.
4. Советов Б. Я., Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Технологии инфокоммуникации и их роль в обеспечении информационной безопасности // Геополитика и безопасность. 2014. № 1 (25). С. 69–77.
5. Советов Б. Я., Колбанев М. О., Татарникова Т. М. Диалектика информационных процессов и технологий // Информация и Космос. 2014. № 3. С. 98–106.

References

1. Koucheryavy, A. E. Internet of Things // Electrosvyaz'. 2013. No. 1. pp. 21–24.
2. Kirichek, R., Koucheryavy, A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. pp. 485–494.
3. Bystryakov, D. S., Ipatov, O. S., Kolbanyov, M. O. AROMO Safety System // Technologies of information and economic security: Proceedings. SPb.: SPbGEU. 2016. pp. 16–22.
4. Sovetov, B. Ya., Kolbanyov, M. O., Tatarnikova, T. M. Infocommunication Technologies and their Role in Information Security // Geopolitica i bezopasnost'. 2014. No. 1 (25). pp. 69–77.
5. Sovetov, B. Ya., Kolbanyov, M. O., Tatarnikova, T. M. Dialectics of Information Processes and Technology // Informatsiya i kosmos. 2014. No. 3. pp. 98–106.

Афанасьев Дмитрий Сергеевич

– аспирант, СПбГЭТУ, Санкт-Петербург, 197376,
Российская Федерация, dmitr-afanas@yandex.ru

Бардакова Елена Андреевна

– студентка, СПбГЭУ, Санкт-Петербург, 191023,
Российская Федерация, bardakova.elena95@mail.ru

Быстряков Денис Сергеевич

– аспирант, СПбГЭТУ, Санкт-Петербург, 197376,
Российская Федерация, bystryakov.denis@gmail.com

Afanasiev Dmitriy

– postgraduate, SPbGETU, St. Petersburg, 197376,
Russian Federation, dmitr-afanas@yandex.ru

Bardakova Elena

– student, SPbGEU, St. Petersburg, 191023,
Russian Federation, bardakova.elena95@mail.ru

Bystryakov Denis

– postgraduate, SPbGETU, St. Petersburg, 197376,
Russian Federation, bystryakov.denis@gmail.com