

Детектирование корпусированных радиочастотных меток на воде при обследовании канализационных систем

В. П. Дашевский^{✉1}, В. Г. Ржимский¹, С. М. Пономаренко²

¹Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук

199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39

²Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии
123242, Россия, Москва, ул. Большая Грузинская, 8, стр. 2А

Аннотация. Обсуждаются проблемы и возможности технологии пассивной радиочастотной идентификации (RFID) для выявления несанкционированных подключений сточных вод промышленных предприятий в ливневую канализацию городов и поселений. Выполнена оценка практической применимости методов радиочастотной идентификации для выявления незаконных подключений промышленных стоков к ливневой канализации. Проведены экспериментальные лабораторные исследования, направленные на выявление технических характеристик и возможностей пассивных RFID-меток и считывателей в условиях ливневой канализации. Установлено, что пассивные RFID-метки устойчиво читаются на расстояниях до 1,5 метра при мощности считывателя 0,15–1,4 Вт, если они находятся над поверхностью воды, чтобы уменьшить эффект экранирования радиоволн водой. Для обеспечения поднятия метки над водой она может быть размещена в объемном легком корпусе из полистирола, обеспечивающем положительную плавучесть. Проведенные исследования подтверждают возможность использования технологий пассивной RFID для решения актуальных задач государственного экологического контроля (надзора) и охраны окружающей среды.

Ключевые слова: радиочастотная идентификация, RFID, пассивная радиочастотная идентификация, направленная антенна, несанкционированные подключения, государственный экологический контроль, сбросы промышленных предприятий

Поступила 07.08.2024, одобрена после рецензирования 30.08.2024, принята к публикации 10.09.2024

Для цитирования. Дашевский В. П., Ржимский В. Г., Пономаренко С. М. Детектирование корпусированных радиочастотных меток на воде при обследовании канализационных систем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 5. С. 29–39. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-29-39

MSC: 90C27; 90C90

Original article

Detection of encapsulated radio frequency tags on water during sewer systems inspection

V.P. Dashevsky^{✉1}, V.G. Rzhimsky¹, S.M. Ponomarenko²

¹St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
199178, Russia, St. Petersburg, 39, 14th line of Vasilyevsky Island

²State Scientific Research Institute of Industrial Ecology
123242, Russia, Moscow, 8/2A Bolshaya Gruzinskaya street

Abstract. The problems and possibilities of passive radio frequency identification (RFID) technology for detecting unauthorized connections of industrial wastewater to storm sewers of cities and towns are discussed. The practical applicability of radio frequency identification methods for detecting illegal connections of industrial wastewater to storm sewers is assessed. Experimental laboratory studies were conducted to identify the technical characteristics and capabilities of passive RFID tags and readers in storm sewer conditions. It was found that passive RFID tags are reliably read at distances of up to 1.5 meters with a reader power of 0.15–1.4 W, if they are located above the water surface in order to reduce the effect of radio wave shielding by water. To ensure that the tag rises above the water, it can be placed in a voluminous lightweight polystyrene case, providing positive buoyancy. The studies conducted confirm the possibility of using passive RFID technologies to solve urgent problems of state environmental control (supervision) and environmental protection.

Keywords: radio frequency identification, RFID, passive radio frequency identification, directional antenna, unauthorized connections, state environmental control, industrial discharges

Submitted 07.08.2024,

approved after reviewing 30.08.2024,

accepted for publication 10.09.2024

For citation. Dashevsky V.P., Rzhimsky V.G., Ponomarenko S.M. Detection of encapsulated radio frequency tags on water during sewer systems inspection. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 5. Pp. 29–39. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-29-39

ВВЕДЕНИЕ

Имеют место случаи незаконного подключения промышленными предприятиями своих сточных вод к ливневой канализации, которая предназначена для отвода дождевой воды. Эти сточные воды часто содержат токсичные химикаты, тяжелые металлы, масла и другие загрязнители, которые без должной очистки попадают в водоемы. Это негативно влияет на качество воды и здоровье экосистем. Загрязненная вода может стать источником различных заболеваний у людей, которые используют эту воду для питья, сельского хозяйства или рекреационных целей. Высокие концентрации вредных веществ могут привести к массовой гибели рыбы и других водных организмов, разрушая экосистемы и нарушая пищевые цепи.

Одним из путей решения этой проблемы являются регулярные проверки промышленных предприятий для выявления незаконных подключений и предотвращения загрязнений [1–4]. Выявление незаконных подключений промышленных стоков к ливневой канализации является сложной задачей, требующей применения различных методов и технологий. К известным методам выявления таких подключений относятся следующие:

– Визуальный осмотр и инспекция (метод теледиагностики). Использование специальных телекамер, вводимых в трубы, позволяет визуально обследовать внутреннюю часть канализационной системы и обнаруживать аномалии или незарегистрированные подключения.

– Дымовые тесты. В трубы канализации вводится дым, который помогает выявить незарегистрированные выходы дыма в местах незаконных подключений.

– Тесты с подмешиванием красителя в воду. Появление в ливневой канализации воды с красителем, залитой ранее в контрольный сток промышленного предприятия, позволяет обнаружить факт наличия незаконного подключения.

– Анализ воды и сточных вод. Исследование проб воды на наличие специфических загрязнителей (тяжелых металлов, химикатов и т. д.), микроорганизмов и биомаркеров, характерных для промышленных стоков, позволяет выявить факты незаконного подключения.

– Анализ потоков и мониторинг. Установка датчиков и устройств мониторинга на ключевых участках канализационной системы для отслеживания изменений в потоке и составе воды. Измерение и анализ параметров потока (скорость, объем) могут помочь выявить несоответствия и указать на наличие незаконных подключений.

Перечисленные методы либо дороги, как, например, применение специализированных телекамер и обследование труб канализации, либо недостаточно универсальны, как анализ специфических составляющих, чтобы выявить любые виды загрязнений. Подмешивание тестовых красителей в воду также может вызывать ложные обращения населения с жалобами на чистоту воды. Таким образом, задача оперативного определения факта незаконного подключения промышленных стоков к ливневой канализации с минимальными затратами средств является актуальной.

В рамках данного исследования изучалась возможность применения технологий пассивной RFID (Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) для создания датчиков, пригодных для оперативного выявления несанкционированных подключений выпусков неочищенных сточных вод предприятий в ливневую канализацию городов и поселений для целей государственного экологического контроля.

Технология RFID достаточно давно используется не только для идентификации и маркировки объектов, но также для решения задач локализации и отслеживания перемещения объектов [5–8]. В работе [9] использовались пассивные интегрированные транспондерные метки, которые имплантировались в тела рыб для отслеживания их перемещений. В работе [10] описаны два типа антенн, используемых для обнаружения и оценки численности рыб с метками в реках: антенная система на плоту и береговая плавающая антенная система. В статье [11] описаны антенны и метки, используемые для отслеживания морских осадочных пород с помощью технологии RFID. В работе [12] использовались метки размером 12 мм (100 мг), которые вводились под кожу лягушек. В прудах с меньшей глубиной и площадью обнаружение меток происходит быстрее и эффективнее, что позволяет проводить мониторинг на большом количестве объектов за короткое время. В исследовании [13] используются пассивные метки и мобильные антенны для отслеживания рыбы в мелких потоках. Основные проблемы при применении RFID в воде включают низкую эффективность обнаружения из-за взаимодействия наблюдателя, поведения рыбы и окружающей среды, а также физические параметры, такие как скорость течения и глубина.

В работе [14] предлагается экономичная и эффективная антенна UHF RFID для идентификации бутылок с различными жидкостями. В работе [15] описано применение пассивных UHF RFID-меток для обнаружения засоров и незаконных подключений в канализационных сетях. Эксперименты показали чувствительность меток к их положению относительно антенны считывателя, материала оболочки и объема воздуха внутри оболочки. В результате в качестве оболочки был выбран PLA-пластик с размерами внутренней области, оптимизированной под типы меток, и были проведены полевые испытания с антенной 9 dBiC из-за ее размеров и легкости установки. Оптимальная дальность обнаружения составила 0,6–3,5 метра. Сенсоры показали хорошую устойчивость к условиям потока и твердым отходам в бытовых сточных водах. Исследование показывает, что UHF RFID-сенсоры могут предоставлять высокопроизводительный, надежный и неинвазивный метод мониторинга канализационных систем в реальном времени.

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПАССИВНОЙ RFID ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Общая схема методики применения технологии пассивной RFID UHF диапазона показана на рисунке 1. Автомобиль может быть любой контролирующей службой, не только метрологической. Метка проходит начальную инициализацию, в процессе которой:

- 1) фиксируется ее EPC (Electronic Product Code);

- 2) при необходимости в EPC метки заносится информация о месте и времени сброса;
- 3) при необходимости информация о метке дополнительно заносится в журнал мониторинга для анализа процента потерянных меток в дальнейшем.

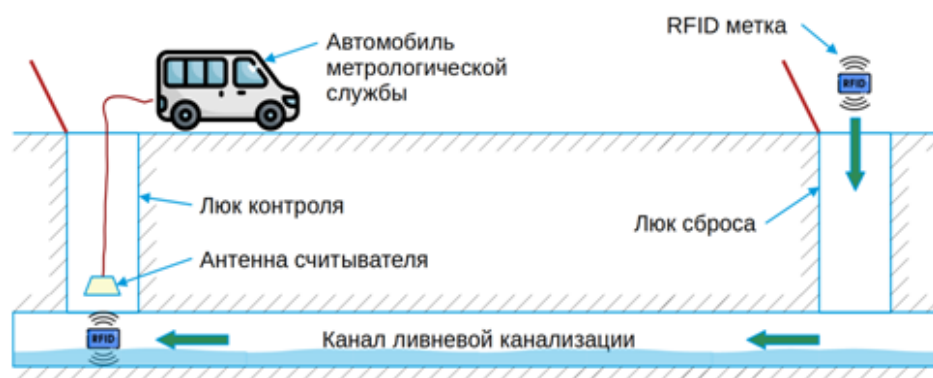


Рис. 1. Схема применения RFID-меток для определения несанкционированных врезок

Fig. 1. Scheme of application of RFID tags for detection of unauthorized tapplings

После прохождения начальной инициализации метка опускается в люк сброса, где она начинает движение по канализационной системе вместе с потоком воды. Поскольку технология RFID имеет алгоритм антиколлизии меток, считыватели могут считывать более одной метки одновременно, что позволяет проводить параллельный мониторинг нескольких промышленных объектов на предмет незаконных врезок (рис. 2).

Несколько меток могут быть сброшены одновременно в смотровые колодцы разных предприятий, после чего антенна считывателя опускается в люк контроля таким образом, чтобы расстояние от антенны до поверхности воды в люке составило от 0,5 до 1,5 метра.

Считыватель и управляющая ЭВМ (ноутбук) метрологической службы размещаются в автомобиле. Антенна подключается к считывателю кабелем, длина которого позволяет опустить антенну в люк контроля и разместить на расстоянии порядка 1 метра от воды. Такое решение позволит снизить требования к мощности и чувствительности считывателя, а также применять более дешевые метки для сброса в колодцы.

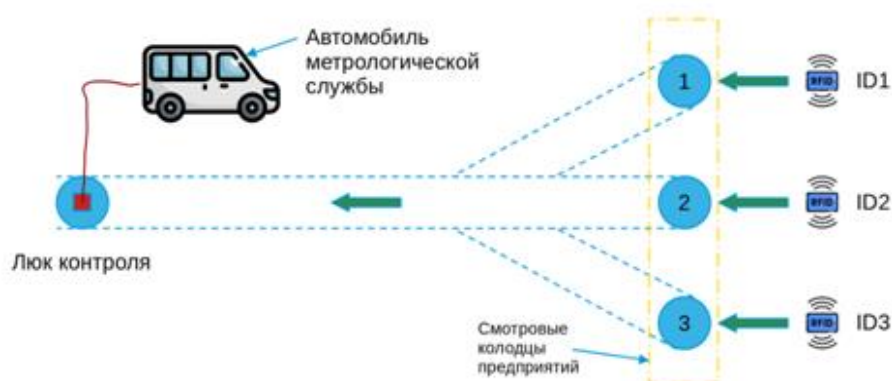


Рис. 2. Схема параллельного отслеживания нескольких стоков

Fig. 2. Scheme of parallel tracking of several drains

На рисунке 3 представлена общая схема эксперимента по измерению дальности считывания метки стандарта UHF EPC Class 1 Gen2 в воде.

Стенд для проведения эксперимента состоит из следующих основных компонентов:

- 1) ЭВМ с ПО для управления считывателем RFID;
- 2) считыватель RFID;
- 3) антенна, закрепленная над опорной поверхностью на расстоянии 150 см;
- 4) емкость с водой и погруженной в нее меткой, располагаемая на необходимом расстоянии до антенны при помощи прокладок высотой 25 см;
- 5) метка в водонепроницаемом корпусе из легкого материала.

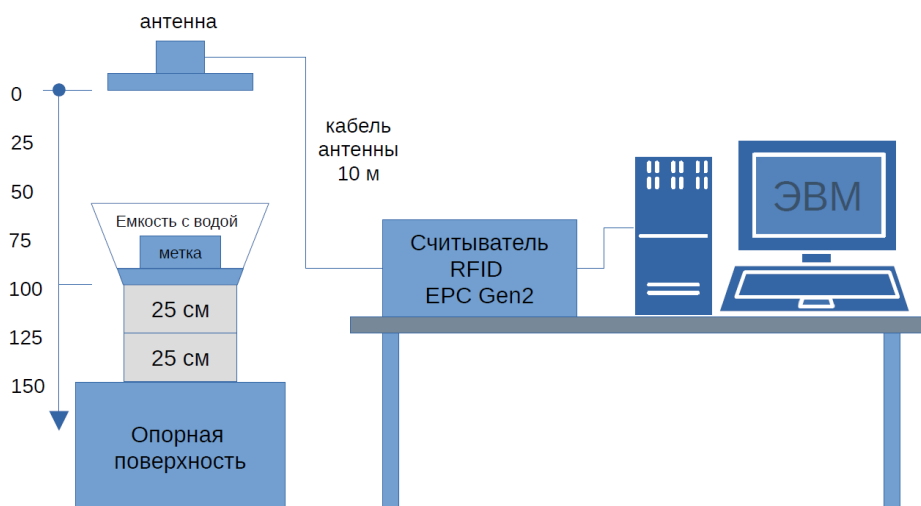


Рис. 3. Схема стенда для эксперимента по оценке дальности считывания RFID-меток в воде

Fig. 3. Scheme of the stand for experiment for assessing the reading range of RFID tags in water

Антенна закреплена под потолком помещения на высоте около 2,2 метра над полом. Под антенной размещается опорная поверхность на максимально возможном исследуемом удалении, равном 150 см. Далее на эту поверхность ставится емкость с водой, куда закладывается исследуемая метка в корпусе. С этой меткой на поверхности воды проводятся измерения принимаемого сигнала, после чего эксперимент повторяется для следующей дистанции. Дистанция от антенны до метки регулируется при помощи прокладок толщиной 25 см, которые подкладываются под емкость с водой друг на друга. Метки были изготовлены из серийных вкладышей путем вклеивания их в корпус из полистирола, подробнее этот процесс описан ниже.

Для экспериментов был использован считыватель ThingMagic M6-EU (UHF EPC GEN2) [8]. Считыватель может излучать до 1,4 Вт мощности, обеспечивая дальность до 10–15 метров в свободном пространстве.

Данный считыватель использовался с антенной MT-242014/NRH/K (865-870MHz 8.5dBic RHCP), которая также оптимизирована для работы с большими расстояниями считывания. Антенна была подключена к считывателю кабелем RG58 длиной 10 метров, чтобы учесть возможные потери в кабеле, связанные с необходимостью опускать антенну в люк на удалении от измерительного комплекса.

Для проведения экспериментов использовались три типа меток одного стандарта EPC Class 1 Gen 2 разных размеров и форм. Основная задача при исследовании нескольких типов меток заключалась в том, чтобы понять зависимость дальности и ориентации считывания метки от размеров и топологии антенны.

Вкладыши (2) были вклеены в защитный корпус (1), изготовленный из полистирола, путем оформления клеевого шва 3 по периметру вкладыша, как показано на рисунке 4. Толщина половинок корпуса была выбрана 20 мм исходя из минимальной толщины листа полистирола.

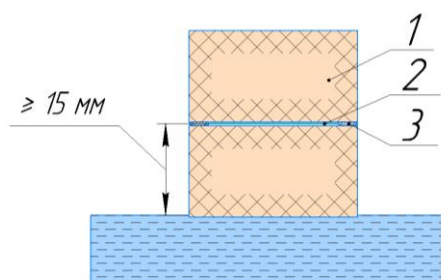


Рис. 4. Структура датчика для эксперимента (в разрезе)

Fig. 4. Structure of the sensor for the experiment (cross-sectioned)

Для изготовления корпусов меток был использован листовый экструдированный полистирол марки Пеноплекс Основа толщиной 20 мм. Материал легко режется и склеивается, что удешевляет процесс изготовления меток для использования в канализации. Яркий оранжевый цвет делает его легко заметным в природных условиях. Экструдированный полистирол является легким (в 30–40 раз легче воды) радиопрозрачным материалом, поверхность которого при контакте с водой не смачивается полностью, благодаря чему антенна метки не испытывает существенного экранирования водой. Осадка корпуса из полистирола в воде очень мала, поэтому расстояние от плоскости вкладыша метки до воды остается сравнительно большим, более 15 мм, что также снижает влияние подстилающей поверхности воды на чтение метки.

В процессе экспериментальных работ были проведены три серии измерений для каждого типа используемого вкладыша. Эксперименты каждой серии проводились с варьированием двух параметров:

1. Мощность излучения считывателя варьировала от +30 до +10 dBm с шагом в 5 dBm. 0 dBm соответствует мощности 1 мВт, таким образом: 1) +30 dBm = 1Вт; 2) +20 dBm = 0.1 Вт; 3) +10 dBm = 10 мВт.

2. Расстояние от плоскости антенны до метки изменялось от 50 до 150 см с шагом в 25 см.

Для оценки достоверности чтения в каждой серии измерялись две характеристики:

1. Уровень принимаемого от метки сигнала (RSSI), измеряется также в dBm, однако в силу слабого отраженного сигнала от метки значения RSSI обычно ниже – 35 dBm.

2. Частота считывания меток. Данный показатель дает представление о том, насколько надежно считывается метка и на каком расстоянии начинается ухудшение сигнала от нее, приводящее к возрастанию количества ошибок в принимаемом сигнале.

В процессе экспериментов с чтением корпусированных меток в емкости с водой получены следующие данные для трех типов меток (рис. 5): а) метка 01: NXP ISBC UCODE8, размер без корпуса 87 x 27 мм; б) метка 02: Raftalac UPM Web, размер без корпуса 54 x 34 мм; в) метка 03: Raftalac Frog 3D, размер без корпуса 53 x 53 мм.

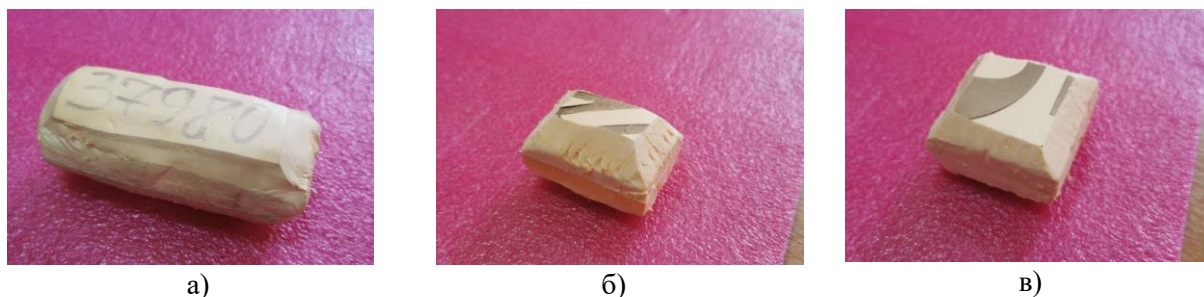


Рис. 5. Корпусированные радиочастотные метки:

а) метка 01: NXP ISBC UCODE8; б) метка 02: Raftalac UPM Web; в) метка 03: Raftalac Frog 3D

Fig. 5. Encapsulated RFID tags:

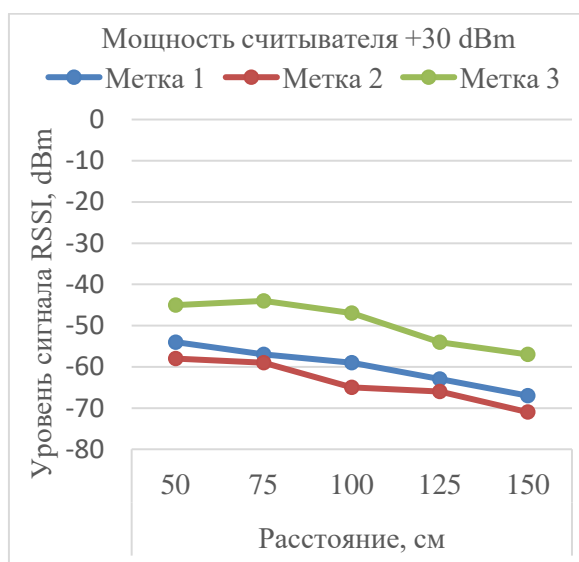
а) tag 01: NXP ISBC UCODE8; б) tag 02: Raftalac UPM Web; в) tag 03: Raftalac Frog 3D

Затем была проведена серия экспериментов. Вначале было проведено тестирование чтения меток по одной. Результаты измерений после усреднения и обработки сведены в таблицу 1 и показаны на рисунках 6, 7.

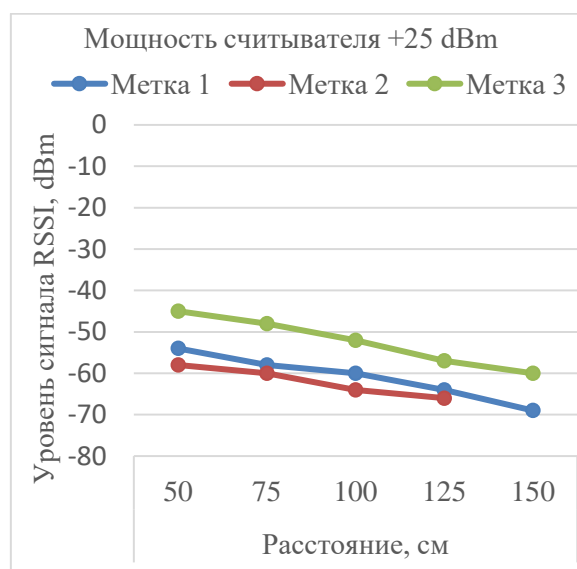
Таблица 1. Измеренные значения уровня сигналов RSSI от меток разных типов

Table. 1. Measured RSSI signal levels from different types of tags

Мощность считывателя, dBm	Расстояние, см	Уровень принимаемого от метки сигнала RSSI, dBm			Частота считывания меток, Гц		
		Метка 01	Метка 02	Метка 03	Метка 01	Метка 02	Метка 03
+30	50	-54	-58	-45	19,70	19,97	19,91
	75	-57	-59	-44	20,09	19,90	19,90
	100	-59	-65	-47	20,10	19,95	19,90
	125	-63	-66	-54	19,99	19,96	19,99
	150	-67	-71	-57	19,96	19,92	19,87
+25	50	-54	-58	-45	20,15	20,06	19,90
	75	-58	-60	-48	20,11	20,05	20,04
	100	-60	-64	-52	20,11	20,05	19,99
	125	-64	-66	-57	20,10	20,10	20,08
	150	-69	-	-60	20,10	-	19,97



а)



б)

Рис. 6. Уровень принимаемого от метки сигнала RSSI при мощности считывателя: а) +30 dBm; б) +25 dBm

Fig. 6. The level of the RSSI signal received from the tag at the reader power: а) +30 dBm; б) +25 dBm

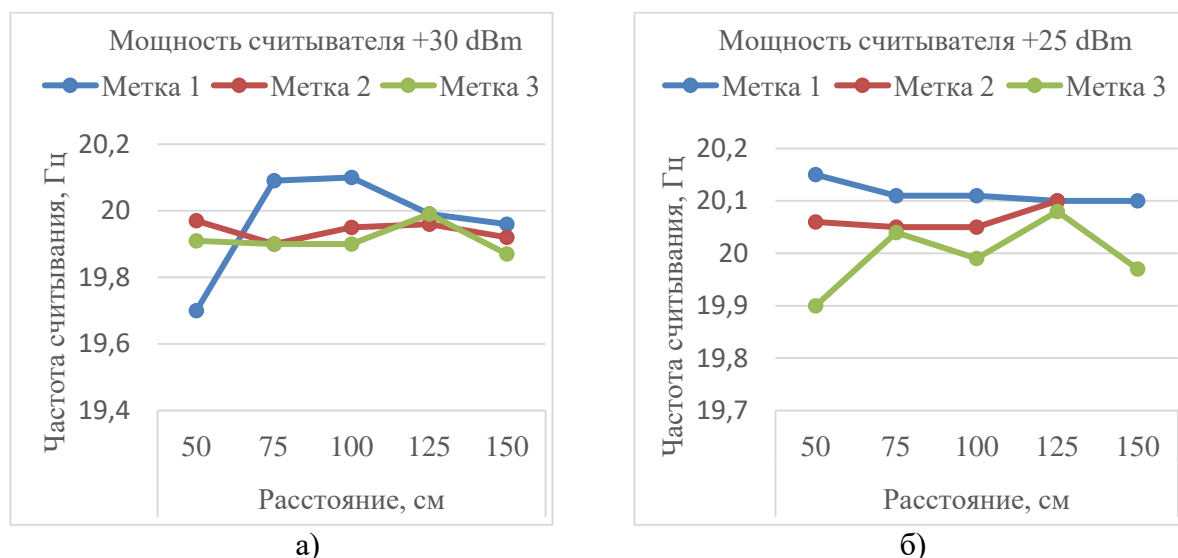


Рис. 7. Частота считывания меток при мощности считывателя: а) +30 dBm; б) +25 dBm

Fig. 7. Frequency of reading tags at reader power: a) +30 dBm; b) +25 dBm

Затем был проведен эксперимент по чтению трех меток одновременно. Для оценки влияния коллизий меток все образцы были помещены в емкость с водой одновременно. Результаты измерений для двух наивысших уровней мощности, при котором читаются все три метки практически на любом расстоянии, представлены в таблице 2. Для большей наглядности данные приведены совместно с данными из таблицы 1.

Таблица 2. Измеренные значения уровня сигналов RSSI меток при чтении их одновременно (тест на коллизии)

Table. 2. Measured RSSI signal levels of tags when reading them simultaneously (collision test)

Мощность, dBm	Расстояние, см	Измеренные значения уровня сигналов RSSI, dBm					
		Метка 01		Метка 02		Метка 03	
		вместе	одна	вместе	одна	вместе	одна
+30	50	-55	-54	-59	-58	-47	-45
	75	-58	-57	-66	-59	-50	-44
	100	-63	-59	-68	-65	-49	-47
	125	-65	-63	-64	-66	-57	-54
	150	-68	-67	-66	-71	-65	-57
+25	50	-57	-54	-58	-58	-50	-45
	75	-63	-58	-64	-60	-56	-48
	100	-66	-60	-69	-64	-56	-52
	125	-66	-64	-67	-66	-61	-57
	150	-71	-69	–	–	-64	-60

Результаты двух выполненных экспериментов показывают, что при достаточной мощности излучения считывателя все виды меток успешно считываются на заданных расстояниях с достаточной скоростью. В ходе экспериментов установлено, что метки с большой антенной читаются с любой дистанции при мощности чтения 20 dBm и выше, что соответствует мощности излучения 100 мВт. Количество чтений всех меток примерно соответствует естественной скорости работы считывателя, чтение одной метки гарантированно

происходит 16-20 раз в секунду и практически не зависит от расстояния. Коллизии при одновременном считывании радиочастотных меток стандарта EPC Class 1 Gen2 могут влиять на достоверность и полноту принимаемых данных. При одновременном появлении нескольких меток в поле антенны энергия излучения считывателя распределяется между несколькими метками, в результате чего сигнал от них ослабевает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлены результаты оценки практической применимости методов радиочастотной идентификации для выявления незаконных подключений в ливневую канализацию для сбросов неочищенных сточных вод в водные объекты федерального и регионального значения. Для достижения этой цели были проведены экспериментальные лабораторные исследования, направленные на выявление технических характеристик и возможностей пассивных RFID-меток и считывателей в условиях ливневой канализации. Оценивалось влияние таких факторов, как мощность излучения считывателя и расстояние от антенны считывателя до метки.

Исследования показали, что пассивные RFID-метки обладают достаточной эффективностью для применения в задачах мониторинга ливневой канализации. Установлено, что метки устойчиво читаются на расстояниях до 1,5 метра при мощности считывателя 0,15–1,4 Вт, если они находятся над поверхностью воды, чтобы уменьшить эффект экранирования радиоволн водой. Для обеспечения поднятия метки над водой она может быть размещена в объемном легком корпусе из полистирола, обеспечивающем положительную плавучесть. В этом случае высокая мощность считывателя не требуется для стабильного чтения меток, что позволяет использовать менее мощные и более экономичные считыватели и антенны.

В продолжение исследований планируется провести моделирование использования методов радиочастотной идентификации для выявления источников несанкционированного сброса неочищенных сточных вод в водные объекты федерального и регионального значения, в том числе через ливневую канализацию городов и поселений, а также оперативного обнаружения несанкционированных подключений выпусков сточных вод предприятий в ливневую канализацию городов и поселений, близких к реальным условиям.

Технология RFID EPC Class 1 Gen2 может применяться для оперативного выявления незаконных подключений и сбросов неочищенных сточных вод в ливневую канализацию, что способствует предотвращению загрязнения водных объектов из-за сброса неочищенных сточных вод в водные объекты, снижению риска причинения вреда водным объектам вследствие их загрязнения, профилактике нарушений природоохранного законодательства и улучшению экологической ситуации в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Abazokov M.B., Kudaev V.Ch. Tracing of large branched pipeline hydraulic networks of high optimality rank with graph presentation. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 4(114). Pp. 39–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-39-54

Абазоков М. Б., Кудаев В. Ч. Трассировка больших разветвленных трубопроводных гидравлических сетей высокого ранга оптимальности на динамическом базовом графе // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4(114). С. 39–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-4-114-39-54. (In Russian)

2. Stepanov S.V., Strelkov A.K., Panfilova O.N. Removal of heavy metals from wastewater with natural and modified sorbents. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. No. 111(3). Article No. 11110. DOI: 10.34910/MCE.111.10
3. Il'ina Kh.V., Gavrilova N.M., Bondarenko E.A. et al. Express-techniques of polluted suburban stream waters study. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 8. Pp. 241–254. DOI: 10.18720/MCE.76.21
4. Dudakova D., Anokhin V., Dudakov M., Ronzhin A. On theoretical foundations of aerolimnology: study of fresh water bodies and coastal territories using air robot equipment. *Informatics and Automation*. 2022. No. 6 (21). Pp. 1359–1393. DOI: 10.15622/ia.21.6.10
5. Dashevskiy V., Budkov V., Ronzhin A. Survey of modular robots and developed embedded devices for constructive and computing components. *Lecture Notes in Computer Science*. 2017. Vol. 10459 LNAI. Pp. 50–58. DOI: 10.1007/978-3-319-66471-2_6
6. Ivanov D., Sokolov B., Dashevsky V. RFID-based adaptive feedbacks between supply chain scheduling and execution control. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*. 2011. Pp. 435–440.
7. Rajanarayana M., Sasikala B., Geethavani B. A Review on RFID technology and applications. *International Journal of Engineering and Computer Science*. 2018. Vol. 7. Pp. 24099–24105. DOI: 10.18535/ijecs/v7i6.12
8. ThingMagic Mercury RFID Readers. https://www.barcode-uk.com/files/admin/product_groups/thingmagicmercury.pdf
9. Peterson D.P., Twibell R.G., Piteo M.S. Retention of passive integrated transponder tags in hatchery brook trout: Effect of tag size, implantation site, and double tagging. *Fisheries Management and Ecology*. 2023. Vol. 30. No. 3. Pp. 240–256. DOI: 10.1111/fme.12616
10. Fetherman E.R., Avila B.W., Winkelman D.L. Raft and Floating Radio Frequency Identification (RFID) Antenna Systems for Detecting and Estimating Abundance of PIT-tagged Fish in Rivers. *North American Journal of Fisheries Management*. 2014. Vol. 34. No. 6. Pp. 1065–1077. DOI: 10.1080/02755947.2014.943859
11. Pozzebon A., Bertoni D. A wireless waterproof RFID reader for marine sediment localization and tracking. *2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA)*. 2014. DOI:10.1109/rfid-ta.2014.6934225
12. Duret C., Pille F., Denoël M. Efficiency of aquatic PIT-tag telemetry, a powerful tool to improve monitoring and detection of marked individuals in pond environments. *Hydrobiologia*. 2022. Vol. 849. No. 11. Pp. 2609–2619. DOI: 10.1007/s10750-022-04888-8
13. Saboret G., Dermond P., Brodersen J. Using PIT-tags and portable antennas for quantification of fish movement and survival in streams under different environmental conditions. *Journal of Fish Biology*. 2021. Vol. 99. No. 2. Pp. 581–595. DOI: 10.1111/jfb.14747
14. Sharif A., Kumar R., Ouyang J. et al. Making assembly line in supply chain robust and secure using UHF RFID. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. No. 1. DOI: 10.1038/s41598-021-97598-5
15. Tatiparthi S.R., De Costa Y.G., Whittaker C.N. et al. Development of radio-frequency identification (RFID) sensors suitable for smart-monitoring applications in sewer systems. *Water Research*. 2021. Vol. 198. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117107

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Дашевский Владимир Павлович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук;

199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39;

vladimir.dashevsky@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2285-1936>, SPIN-код: 7675-2463

Ржимский Василий Георгиевич, инженер, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук;

199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39;

vladimir.dashevsky@strategic-it.ru

Пономаренко Сергей Михайлович, канд. хим. наук, вед. науч. сотр., Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии;

123242, Россия, Москва, ул. Большая Грузинская, 8, стр. 2А;

s.ponomarenko@promeco-inst.ru

Information about the authors

Vladimir P. Dashevsky, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences;

199178, Russia, St. Petersburg, 39, 14th line of Vasilyevsky Island;

vladimir.dashevsky@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2285-1936>, SPIN-код: 7675-2463

Vasily G. Rzhimsky, Engineer, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences;

199178, Russia, St. Petersburg, 39, 14th line of Vasilyevsky Island;

vladimir.dashevsky@strategic-it.ru

Sergey M. Ponomarenko, Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, State Scientific Research Institute of Industrial Ecology;

123242, Russia, Moscow, 8/2A Bolshaya Gruzinskaya street;

s.ponomarenko@promeco-inst.ru