

**И. Г. Анцев<sup>1</sup>, С. В. Богословский<sup>1</sup>, Г. А. Сапожников<sup>1</sup>, Е. А. Бакин<sup>2</sup>,  
М. Н. Шелест<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Санкт-Петербург, Россия, <sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

## **ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ УСТРОЙСТВ СБОРА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

*Предложена методика расчета потенциальной дальности работы системы обнаружения пострадавших в результате чрезвычайной ситуации, оснащенных пассивными радиометками. Проведен расчет для трех моделей канала: открытые пространства, лесистая местность, заснеженная территория. Для каждой из моделей оценен уровень принимаемого радиометкой опросного сигнала при различных значениях расстояния до считывателя (ридера). На основе характеристик лучших на сегодняшний день образцов систем на кристалле, использующихся для построения радиометок, оценивается средний уровень энергопотребления устройств при различных значениях темпа опроса. При помощи электрической модели устройства сбора и преобразования энергии (харвестера) рассчитаны количественные показатели накапливаемой радиометкой энергии за счет внешних электромагнитных полей, создаваемых в дальней зоне ридером. Расчет показывает, что при построении системы на основе устройств, использующих технологию харвестинга, дальность обнаружения пострадавшего не превышает 50 м для типовых сценариев применения.*

**Ключевые слова:** устройства сбора энергии, харвестинг, система обнаружения пострадавших, бюджет канала.

Для цитирования: Оценка применимости устройств сбора и преобразования энергии для построения системы обнаружения пострадавших в результате чрезвычайных ситуаций / И. Г. Анцев, С. В. Богословский, Г. А. Сапожников, Е. А. Бакин, М. Н. Шелест // Радиопромышленность. 2018. № 2. С. 11–17.

**I. G. Anzev<sup>1</sup>, S. V. Bogoslovsky<sup>1</sup>, G. A. Sapozhnikov<sup>1</sup>, E. A. Bakin<sup>2</sup>,  
M. N. Shelest<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Research and Production Enterprise Radar mms JSC, Saint-Petersburg, Russia, <sup>2</sup> Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

## **ON APPLICABILITY OF ENERGY HARVESTING TECHNOLOGIES FOR EMERGENCY VICTIMS DETECTION SYSTEM BUILDING**

*In this paper we propose a technique for a potential distance calculation for a system of detection emergency situation victims equipped with passive radio-tags. This calculation is performed for three channel models: open territories, forest and snowy field. For every model a level of a reader signal received by radio-tag is estimated as a function of distance. Basing on characteristics of state-of-art systems-on-crystal used for radio-tags building an average energy consumption is estimated with a few polling rates. An quantitative characteristics of harvested electromagnetic energy generated by*

reader in a far field is calculated via electric model of harvester. Our study shows that a potential distance of investigated system based on energy harvesting technology doesn't exceed 50 meters for typical scenarios.

**Keywords:** devices for energy collection, harvesting, victim detection system, channel budget.

For citation: Anzev I. G., Bogoslovsky S. V., Sapozhnikov G. A., Bakin E. A., Shelest M. N. On applicability of energy harvesting technologies for emergency victims detection system building. Radiopromyshlennost, 2018, no. 2, pp. 11–17. (In Russian).

DOI 10.21778/2413-9599-2018-2-11-17

## Введение

Основу всех автоматизированных систем обработки информации и управления технологическими процессами составляют чувствительные элементы, первичные преобразователи и датчики на их базе. Задачу построения системы принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) можно рассматривать как частный случай технологического процесса в системе мониторинга ЧС. Одним из перспективных направлений в разработке систем мониторинга является создание пассивных беспроводных датчиков [1].

Основными проблемами при создании таких устройств являются повышение дальности действия датчиков и обеспечение требуемой точности. Дальность действия зависит от мощности и формы запросного сигнала, излучаемого ридером (считывателем), отношения спектральных плотностей переизлучаемого датчиком сигнала и помех, формы импульсной переходной функции чувствительного элемента и т.д. [2].

Можно выделить два конкурирующих направления, развивающихся в области создания систем дистанционного мониторинга:

- системы, использующие полупроводниковые датчики (чиповые датчики, метки);
- системы на основе датчиков, реализующих принципы функциональной электроники (бесчиповые датчики, метки) [3].

Одним из важных элементов полупроводникового датчика, как правило, является харвестер – устройство сбора и преобразования энергии внешних электромагнитных полей для питания датчика.

Каждое из направлений имеет свои специфические достоинства и недостатки, которые разработчики системы принимают в расчет в зависимости от особенностей ее применения. Важным критерием качества является дальность действия работы метки при различных условиях распространения сигналов.

Далее в работе применительно к полупроводниковым датчикам (радиометкам) будут рассмотрены три различных сценария применения, типовые для случая ЧС:

- открытые пространства (поля, равнины);
- лесистая местность;

- заснеженные территории.

Для каждого из сценариев будет произведен расчет дальности работы системы при стандартных параметрах полупроводниковой метки.

## Модели канала передачи энергии от ридера к харвестеру

### Распространение сигнала вдоль земли на открытых пространствах

Наиболее часто встречающейся формулой, описывающей затухание сигнала при распространении вдоль земной поверхности в отсутствие дополнительных преград, является модель PE (Plane Earth), проанализированная, например, в работе [4]:

$$L_{PE}^{dB} = 40 \lg(d) - 20 \lg(h_T) - 20 \lg(h_R). \quad (1)$$

Здесь  $L_{PE}^{dB}$  – затухание, дБ;  $d$  – расстояние между точками передачи и приема, м;  $h_T$ ,  $h_R$  – высота подвеса антенны соответственно передатчика и приемника, м.

### Лесистая местность

В данных условиях для расчетов параметров радиосигнала использована модель затухания в лесистой местности LITU-R, предложенная в работе [5]. Эта модель основана на модели PE и отличается от нее добавлением в формулу (1) слагаемого, учитывающего дополнительное затухание, вносимое затенением стволами деревьев и переотражениями:

$$L_{LITU}^{dB} = 0,48 f^{0,43} d^{0,13} + 40 \lg(d) - 20 \lg(h_T) - 20 \lg(h_R). \quad (2)$$

Здесь  $L_{LITU}^{dB}$  – затухание, дБ;  $f$  – частота, ГГц.

### Заснеженные территории

В работе [6] была проведена серия экспериментов с целью построения модели распространения сигнала над снежной поверхностью (модель SNOW). Было показано, что наличие снежного покрова значительно влияет на затухание в канале. За основу взята стандартная лог-модель распространения [7], коэффициенты которой подобраны для трех значений высоты подвеса антенн:

$$L_{LG}^{dB} = L(d_0) + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right).$$

Здесь  $L_{LG}^{dB}$  – затухание, дБ;  $L(d_0)$  – постоянный коэффициент, дБ;  $n$  – безразмерный коэффициент.

Результаты подбора коэффициентов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты модели из работы [7]

Высота, м	$L(d_0)$	$n$
0,25	65,83	3,51
1,00	66,76	1,26
1,50	65,16	1,87

Таблица 2. Параметры системы

Параметр	Значение
Несущая частота, МГц	433
Мощность, излучаемая считывателем, Вт	2
Коэффициент усиления антенны считывателя, дБ	10
Коэффициент усиления антенны метки, дБ	0
Высота подвеса антенны считывателя, м	1
Высота подвеса антенны метки, м	1

**Оценка средней мощности, принимаемой радиометкой**

На основании указанных моделей проведем оценку мощности, принимаемой радиометкой. Параметры системы, выбранные для данного расчета, приведены в табл. 2.

Графики зависимости принимаемой мощности от расстояния для трех моделей распространения приведены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что на расстоянии, например, 100 м уровень мощности принимаемого сигнала составляет от -45 до -35 дБм в зависимости от выбранного сценария.

**Расчет мощности, потребляемой радиометкой**

Для расчета воспользуемся типовыми параметрами маломощных систем на кристалле,

оснащенных микроконтроллером и беспроводным трансивером [8] (табл. 3).

Из приведенных данных следует, что при стандартном напряжении питания 3,3 В в активном режиме энергопотребление радиометки составляет  $P_a = 3,3 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 52,8 \cdot 10^{-3}$  Вт (17,2 дБм). Если существует необходимость поддерживать метку в рабочем состоянии в интервалах между опросами (например, для непрерывного мониторинга биометрических показателей подобно тому, как было описано в [1]), то для расчета среднего энергопотребления необходимо учитывать также энергозатраты в спящем режиме  $P_s = 3,3 \cdot 0,3 \cdot 10^{-6} \approx 10^{-6}$  Вт (-30 дБм).

Результирующее энергопотребление устройства  $P_{avg}$ , Вт, будет зависеть от периода выдачи пакетов:

$$P_{avg}(T) = \frac{\tau}{T} P_a + \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) P_s,$$

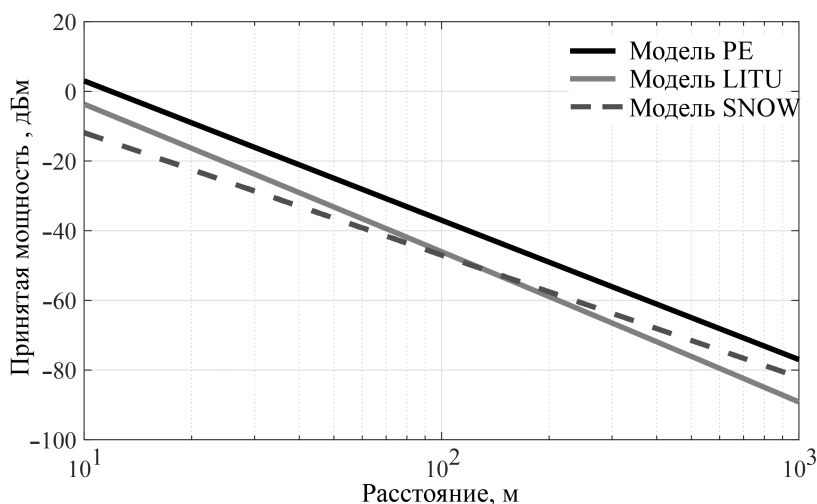


Рисунок 1. Зависимость принимаемой мощности от расстояния для трех моделей распространения сигнала

Таблица 3. Параметры цифровой части радиометки

Параметр	Значение
Потребляемый ток в режиме передачи (при $-6$ дБм излучаемой мощности), мА	16
Потребляемый ток в спящем режиме, мкА	0,3
Скорость передачи данных, Кб/с	2,4
Размер преамбулы и синхропоследовательности, биты	64
Размер сообщения, биты	96
Длительность сообщения, мс	67

где  $T$  – общее время получения информации, с;  $\tau$  – длительность процесса считывания, с.

На рис. 2 показана зависимость мощности, потребляемой радиометкой, от периода выдачи сообщения для следующих случаев:

- радиометка пребывает в спящем режиме в паузах между сообщениями;
- радиометка выключена в паузах между сообщениями.

Заметим, что в случае поддержания метки во включенном состоянии при увеличении периода выдачи сообщений результирующее энергопотребление стремится к энергопотреблению спящего режима ( $-30$  дБм). Из приведенного расчета следует, что при периоде опроса метки в 5 мин среднее энергопотребление составит  $-20$  дБм. Тогда из рис. 1 следует, что дальность действия системы равна 15–40 м даже при 100% КПД харвестера. При периоде выдачи сообщений, составляющем 3 ч, энергопотребление будет от  $-35$  дБм (при выключении метки в паузах между опросами) до  $-25$  дБм (при поддержании спящего режима в паузах между опросами), а дальность действия – соответственно от 20 до 100 м в зависимости от сценария.

Следует иметь в виду, что данный расчет является приближенным, т.к. не учитывает реальный КПД харвестера, существенно влияющий на результирующие характеристики системы [9, 10]. Более точные вычисления будут проведены далее.

### Эффективность харвестера

Как правило, современные высокоэффективные харвестеры строят на основе диодов Шоттки со сверхнизким напряжением отсечки (порядка 30–40 мВ). В обзорах [11, 12] были указаны следующие основные факторы, влияющие на эффективность харвестинга.

Напряжение отсечки напрямую воздействует на минимальный уровень выпрямляемого сигнала. Соответствующие графики КПД харвестера приведены на рис. 3, который построен по методике, рассмотренной в [12]. Стоит отметить, что значение напряжения отсечки 0,04 В является типовым для современных высококачественных диодов Шоттки, в то время как график, характеризуемый напряжением отсечки 0,004 В, является на современном уровне техники гипотетическим. Уровень входного сигнала  $P_{\min}$ , Вт, при котором КПД харвестера достигает значений 50–60%, можно приближенно оценить по формуле

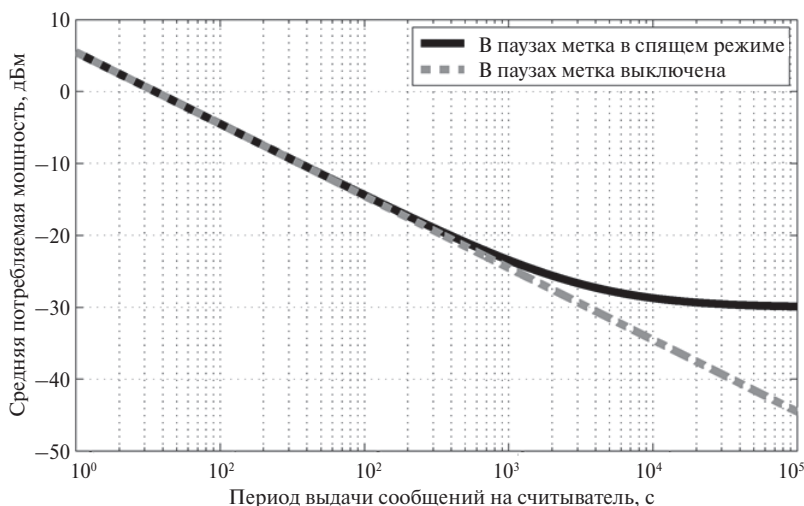


Рисунок 2. Зависимость мощности, потребляемой меткой, от периода следования пакетов

$$P_{\min} = 2 \frac{V_T^2}{R},$$

где 2 – множитель, характеризующий потери на антенне при идеальном согласовании;  $V_T$  – напряжение отсечки, В;  $R$  – сопротивление антенны, Ом.

Минимальная мощность, при которой КПД становится отличным от нуля (на уровне долей процента), как правило, на 30 дБ ниже. Таким образом, при  $V_T = 0,005$  В минимальная мощность составит –63 дБм, при  $V_T = 0,05$  В будет равно –43 дБм, при  $V_T = 0,5$  В – порядка –23 дБм (что согласуется с результатами моделирования, приведенными на рис. 3).

Значительная зависимость сопротивления выпрямителя, построенного на основе диода Шоттки, от уровня входного сигнала и его несущей частоты приводит к сложностям в согласовании харвестера и антенны. В сущности разработчику приходится заранее выбирать один наиболее вероятный уровень запитывающего сигнала и ориентироваться на него, проектируя согласующие каскады. При прочих значениях мощности входного сигнала КПД снижается.

Еще один фактор эффективности харвестинга – паразитные емкости и индуктивности корпуса диодов Шоттки, используемых при построении харвестеров. Зависимости КПД идеализированного харвестера от уровня входной мощности при трех значениях частоты принимаемого сигнала приведены на рис. 4. Видно, что при частотах порядка 10 ГГц и выше КПД харвестера начинает значительно уменьшаться с ростом частоты.

### Количественные выводы

По имеющимся зависимостям проведем количественный анализ дальности работы системы при различных требованиях к темпу выдачи сообщений от метки.

Например, допустимым уровнем задержки на накопление энергии при отклике является 10 мин.

Из рис. 2 следует, что требуемая на работу метки мощность при этом составит –25 дБм. Такой уровень полезной (накапливаемой) мощности может быть обеспечен, например, при уровне входного сигнала –21 дБм и КПД 40%, что соответствует потерям в –4 дБ (см. рис. 3, напряжение отсечки 0,04 В). Из графика на рис. 1 следует, что подобная мощность может быть обеспечена при расстоянии 15–40 м в зависимости от сценария.

Аналогично при времени накопления 10 с средняя потребляемая мощность составит –5 дБм (см. рис. 2), что обеспечивается при входной мощности –4 дБм и КПД 90% (см. рис. 3). Тогда дальность действия системы не превысит 20–30 м.

Приведенные значения полностью согласуются с характеристиками образца метки, являющейся до сих пор одной из лучших среди построенных с использованием технологии харвестинга. В серии натуральных экспериментов, описанных в [13], было достигнуто расстояние в 25 м при мощности передатчика ридера 1,78 Вт.

Заметим, что в рассматриваемых сценариях дальность действия в 100 м является практически недостижимой: так, принятая мощность не превысит –35 дБм (см. рис. 1) и, как следствие, КПД 5% (рис. 3 для  $V_T = 0,04$  В), что приводит к тому, что полезная накапливаемая мощность не будет выше –48 дБм (уровень, недостаточный для работы полупроводниковых устройств).

### Результаты исследования

Проведенный расчет показывает, что полупроводниковые датчики имеют существенные ограничения по дальности действия. Ожидаемое значение этого параметра системы не превышает 50 м для типовых сценариев применения.

При необходимости увеличения радиуса действия до 100 м и более рекомендуется рассматривать варианты бесчиповых устройств, построенных,

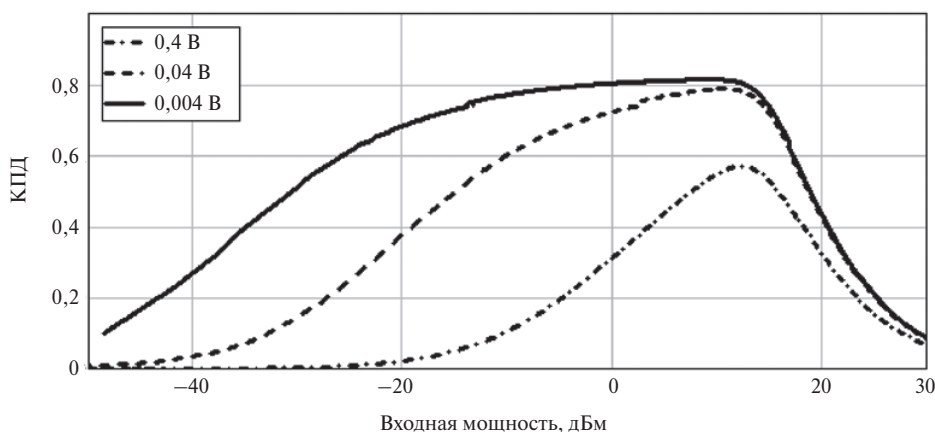


Рисунок 3. Зависимость КПД харвестера от входной мощности при различных значениях напряжения отсечки

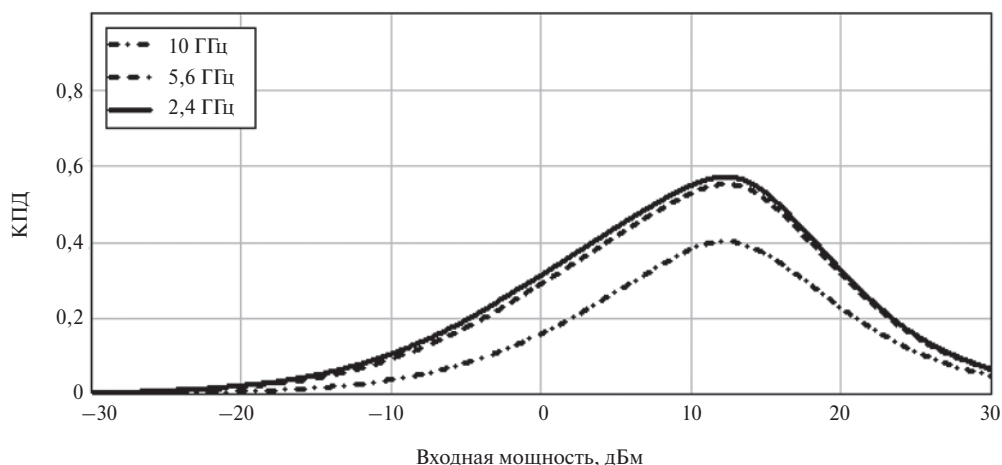


Рисунок 4. Зависимость КПД харвестера от входной мощности при различных значениях частоты запитывающего сигнала

например, на основе технологии поверхностных акустических волн [14, 15].

### Выводы

В работе найдены важные зависимости между дальностью действия сети сбора информации о состоянии лиц, попавших в зону ЧС, и такими параметрами системы, как характеристики среды распространения сигнала, эффективность харвестера, темп обновления информации на пункте сбора и пр.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании подобных сетей (например, для выбора элементной базы, мощности передатчика ридера, оптимального темпа опроса).

Дальнейшим продолжением работы могут быть получение замкнутых выражений, связывающих указанные выше характеристики, и постановка оптимизационных задач, направленных на максимизацию выбранного основного показателя качества работы сети в зависимости от конструктивных и технологических ограничений.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16–37–00197мол\_а.

### ACKNOWLEDGEMENT

This research was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research grant № 16-37-00197 mol\_a.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deivasigamani A., Daliri A., Wang Ch. H., John S. A review of passive wireless sensors for structural health monitoring. *Modern Applied Science*, 2013, vol. 7, no. 2, p. 57.
2. Knight Ch., Davidson J., Behrens S. Energy options for wireless sensor nodes. *Sensors*, vol. 8, 2008, pp. 8037–8066.
3. Hartmann C. S., Claiborne L. T. Fundamental limitations on reading range of passive IC-based RFID and SAW-based RFID. *IEEE International Conference on RFID*, 2007, 26–28 March, pp. 41–48.
4. Parsons J. D. *The mobile radio propagation channel*. 2<sup>nd</sup> ed. N. Y.: Wiley, 2000, 433 p.
5. Meng Y. S., Lee Y. H., Ng B. Ch. Empirical near ground path loss modeling in a forest at VHF and UHF bands. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2009, vol. 57, iss. 5, pp. 1461–1468.
6. Cheffena M., Mohamed M. Empirical path loss models for wireless sensor network deployment in snowy environments. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2017, vol. 16, pp. 2877–2880.
7. Rappaport T. *Wireless communications: Principles & Practice*. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice Hall, 2015, 736 p.
8. CC2510Fx / CC2511Fx: CC2510Fx / CC2511Fx Low-Power SoC (System-on-Chip) with MCU, Memory, 2.4 GHz RF Transceiver and USB Controller, 236 p.
9. Bakin E., Ivanov I., Shelest M., Turlikov A. Analysis of energy harvesting efficiency for power supply of WBAN nodes in heterogeneous scenarios. *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, 2016.
10. Алгоритм управления антенной системой базовой станции для сенсорной сети с пополняемыми источниками энергии / Е. А. Бакин, Н. В. Апанасенко, И. С. Иванов, М. Н. Шелест // *Научно-технический вестник ИТМО*. 2017. Вып. 4 (110). С. 670–676.
11. Valenta Ch. R., Durgin G. D. Harvesting wireless power. *IEEE Microwave magazine*, 2014, June, pp. 108–120.

12. Valenta Ch. R. Fundamental limitations for Schottky diode RF energy harvesting. Proceedings of IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA), Tokio, Japan, 2015, 16–18 September, pp. 188–193.
13. Press release: Long-range RF energy harvester with record sensitivity. *Energy Harvesting Journal*, 2013. Available at: <https://www.energyharvestingjournal.com/articles/5560/long-range-rf-energy-harvester-with-record-sensitivity> (accessed 31.01.2018).
14. Barton R. J., Kennedy T. F., Williams R. M., Fink P. W., Ngo Ph. H., Ingle R. R. Detection, identification, location, and remote sensing using SAW RFID sensor tags. IEEE Aerospace Conference, BigSky, MT, USA, 2010, 6–13 March.
15. Анцев И. Г., Богословский С. В., Сапожников Г. А. Датчики на ПАВ большой дальности. Актуальные задачи и варианты их решения // Компоненты и технологии. 2016. № 1 (174). С. 14–19.

## REFERENCES

1. Deivasigamani A., Daliri A., Wang Ch. H., John S. A review of passive wireless sensors for structural health monitoring. *Modern Applied Science*, 2013, vol. 7, no. 2, p. 57.
2. Knight Ch., Davidson J., Behrens S. Energy options for wireless sensor nodes. *Sensors*, vol. 8, 2008, pp. 8037–8066.
3. Hartmann C. S., Claiborne L. T. Fundamental limitations on reading range of passive IC-based RFID and SAW-based RFID. *IEEE International Conference on RFID*, 2007, 26–28 March, pp. 41–48.
4. Parsons J. D. *The mobile radio propagation channel*. 2<sup>nd</sup> ed. N. Y.: Wiley, 2000, 433 p.
5. Meng Y. S., Lee Y. H., Ng B. Ch. Empirical near ground path loss modeling in a forest at VHF and UHF bands. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2009, vol. 57, iss. 5, pp. 1461–1468.
6. Cheffena M., Mohamed M. Empirical path loss models for wireless sensor network deployment in snowy environments. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2017, vol. 16, pp. 2877–2880.
7. Rappaport T. *Wireless communications: Principles & Practice*. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice Hall, 2015, 736 p.
8. *CC2510Fx / CC2511Fx: CC2510Fx / CC2511Fx Low-Power SoC (System-on-Chip) with MCU, Memory, 2.4 GHz RF Transceiver and USB Controller*, 236 p.
9. Bakin E., Ivanov I., Shelest M., Turlikov A. Analysis of energy harvesting efficiency for power supply of WBAN nodes in heterogeneous scenarios. *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, 2016.
10. Bakin E. A., Apanasenko N. V., Ivanov I. S., Shelest M. N. Beamforming algorithm for base station in sensor network with energy harvesting. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, no. 4 (110), pp. 670–676. (In Russian).
11. Valenta Ch. R., Durgin G. D. Harvesting wireless power. *IEEE Microwave magazine*, 2014, June, pp. 108–120.
12. Valenta Ch. R. Fundamental limitations for Schottky diode RF energy harvesting. *Proceedings of IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA)*, Tokio, Japan, 2015, 16–18 September, pp. 188–193.
13. Press release: Long-range RF energy harvester with record sensitivity. *Energy Harvesting Journal*, 2013. Available at: <https://www.energyharvestingjournal.com/articles/5560/long-range-rf-energy-harvester-with-record-sensitivity> (accessed 31.01.2018).
14. Barton R. J., Kennedy T. F., Williams R. M., Fink P. W., Ngo Ph. H., Ingle R. R. Detection, identification, location, and remote sensing using SAW RFID sensor tags. IEEE Aerospace Conference, BigSky, MT, USA, 2010, 6–13 March.
15. Anzev I. G., Bogoslovsky S. V., Sapozhnikov G. A. Long-range SAW sensors. Actual problems and decision. *Components and technologies*, 2016, no. 1 (174), pp. 14–19. (In Russian).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Анцев Иван Георгиевич**, к.т.н., исполнительный директор, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А, e-mail: radar@radar-mms.com.

**Богословский Сергей Владимирович**, д.т.н., профессор, заместитель директора НПК, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А, тел.: +7 (911) 772-08-20, e-mail: bogoslovsky\_sv@radar-mms.com.

**Сапожников Геннадий Анатольевич**, заместитель генерального директора, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А, e-mail: sapozhnikov\_ga@radar-mms.com.

**Бакин Евгений Александрович**, к.т.н., доцент кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, тел.: +7 (905) 252-54-81, e-mail: jenyb@vu.spb.ru.

**Шелест Мария Николаевна**, инженер кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, тел.: +7 (931) 271-07-09, e-mail: maria.shelest@vu.spb.ru.

## AUTHORS

**Anzev Ivan**, PhD, executive director, Research and Production Enterprise Radar mms JSC, 37A, Novoselkovskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 197375, Russia, e-mail: radar@radar-mms.com.

**Bogoslovsky Sergey**, Dr., professor, vice director, Research and Production Enterprise Radar mms JSC, 37A, Novoselkovskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 197375, Russia, tel.: +7 (911) 772-08-20, e-mail: bogoslovsky\_sv@radar-mms.com.

**Sapozhnikov Gennady**, Dr., deputy general director, Research and Production Enterprise Radar mms JSC, 37A, Novoselkovskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 197375, Russia, e-mail: radar@radar-mms.com.

**Bakin Evgeny**, PhD, associate professor of the Department of Problem-Oriented Computing Complexes, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67A, Bolshaya Morskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 190000, Russia, tel.: +7 (905) 252-54-81, e-mail: jenyb@vu.spb.ru.

**Shelest Maria**, engineer of the Department of Problem-Oriented Computing Complexes, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67A, Bolshaya Morskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 190000, Russia, tel.: +7 (931) 271-07-09, e-mail: maria.shelest@vu.spb.ru.