



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-6-45-51>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.382

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДАТЧИКА ИСКУССТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

А. О. ЗЕНЕВИЧ, С. В. ЖДАНОВИЧ, Т. А. МАТКОВСКАЯ, Е. В. НОВИКОВ

Белорусская государственная академия связи (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 17.07.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Показана возможность использования телекоммуникационного оптического волокна как основы для создания датчика освещенности. Датчик освещенности представляет собой отрезок оптического волокна, намотанный на цилиндрическую основу виток к витку. К выходному торцу этого отрезка волокна подключен фотоприемник. При сопоставлении возможности использования в датчике одномодового и многомодового телекоммуникационного оптического волокна отмечено, что для создания такого датчика наиболее подходит многомодовое оптическое волокно. Установлено, что чувствительность датчика к световому потоку возрастает с уменьшением радиуса изгиба оптического волокна и с увеличением количества витков датчика. Получены зависимости чувствительности датчика к световому потоку от количества витков и их диаметра, которые позволяют разрабатывать конкретные конструктивные решения таких датчиков.

Ключевые слова: датчик освещенности, одномодовое и многомодовое оптические волокна, световой поток, лампы освещенности.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Оптическое волокно как основа для создания датчика искусственной освещенности / А. О. Зеневич [и др.] // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22, № 6. С. 45–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-6-45-51>.

OPTICAL FIBER AS A BASIS FOR CREATION LIGHT SENSOR

ANDREY O. ZENEVICH, SERGEY V. ZHDANOVICH,
TATIANA A. MATKOVSKAIA, EVGENEY V. NOVIKOV

Belarusian State Academy of Communications (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 17.07.2024

Abstract. The possibility of using telecommunication optical fiber as a basis for creating a light sensor is shown. The light sensor is a section of optical fiber wound on a cylindrical base turn to turn. A photodetector is connected to the output end of this fiber section. When comparing the possibility of using single-mode and multimode telecommunication optical fiber in the sensor, it is noted that multimode optical fiber is most suitable for creating such a sensor. It is established that the sensitivity of the sensor to the luminous flux increases with a decrease in the bending radius of the optical fiber and with an increase in the number of turns of the sensor. Dependences of the sensitivity of the sensor to the luminous flux on the number of turns and their diameter are obtained, which allow developing specific design solutions for such sensors.

Keywords: light sensor, single-mode and multimode optical fibers, luminous flux, light lamps.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Zenevich A. O., Zhdanovich S. V., Matkovskaia T. A., Novikov E. V. (2024) Optical Fiber as a Basis for Creation Light Sensor. *Doklady BGUIR*. 22 (6), 45–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-6-45-51> (in Russian).

Введение

В настоящее время датчики освещенности используются для автоматического контроля работы систем, в которых предполагаются включение, выключение, настройка и регулировка уровня освещения, а также в приборах с функцией автоматической регулировки яркости изображений для оптимального восприятия последних человеком. Большинство таких датчиков являются электрическими устройствами [1–5] и не могут применяться в пожаро- и взрывоопасных помещениях.

Для использования в пожаро- и взрывоопасных помещениях подходят волоконно-оптические датчики, в которых фоточувствительный элемент сопрягается с оптическим волокном, а последнее служит только для передачи информационного сигнала [6]. Помимо этого, информацию о состоянии таких датчиков можно определять на достаточно больших расстояниях (до 25 км). Поэтому цель исследований авторов – определение возможности использования оптического волокна для создания датчиков освещенности, в которых чувствительным элементом является непосредственно волокно.

Экспериментальная установка и методика измерений

В качестве объектов исследования использовались одномодовое и многомодовое оптические волокна. Исследования были выполнены на экспериментальной установке, структурная схема которой показана на рис. 1.

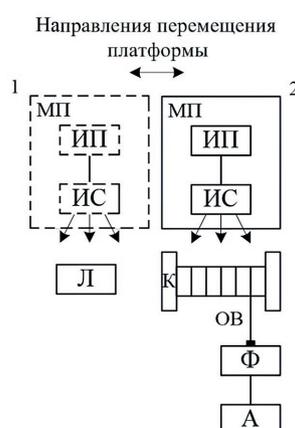


Рис. 1. Экспериментальная установка: ИП – источник питания; ИС – источник света; МП – механическая платформа; Л – люксметр; К – катушка; ОВ – оптическое волокно; Ф – фотоприемник; А – амперметр; 1, 2 – положения механической платформы
Fig. 1. Experimental setup: ИП – power supply; ИС – light source; МП – mechanical platform; Л – luxmeter; К – optical fiber reel; ОВ – optical fiber; Ф – photodetector; А – ammeter; 1, 2 – mechanical platform position

Экспериментальная установка функционирует следующим образом. На механической платформе МП размещены сменный источник света ИС, подключенный к источнику питания ИП. Механическая платформа обеспечивает перемещение источника света относительно люксметра Л и катушки датчика К и имеет два фиксированных положения. В положении 1 световой поток источника подается на люксметр, который измеряет величину освещенности, а в положении 2 источник света освещает катушку, и производятся измерения параметров датчика. При перемещении механической платформы сохраняется одинаковая величина светового потока. На цилиндрическую катушку наматывается отрезок оптического волокна ОВ виток к витку в один слой. К выходному торцу этого отрезка оптического волокна подключен фотоприемник Ф. Электрический ток, протекающий через фотоприемник, измеряется амперметром А.

Определение фототока, создаваемого при освещении фотоприемника источником света, выполняется следующим образом: вначале измеряется электрический ток I_p , протекающий через

фотоприемник в отсутствие освещения катушки, затем измеряется электрический ток I , протекающий через фотоприемник при наличии освещения катушки, после чего вычисляется значение фототока по формуле $I_{\phi} = I - I_r$.

В качестве фотоприемника используется фотодиод InGaAs с диапазоном спектральной чувствительности 0,5–1,7 мкм. Такой широкий спектральный диапазон был выбран для того, чтобы регистрировалось как видимое, так и ближнее инфракрасное излучение, создаваемое источником света. Также в данном спектральном диапазоне находятся «окна прозрачности» исследуемых оптических волокон [7–9].

Диаметр катушки может изменяться в пределах от 5 до 40 мм, его изменение приводит к изменению диаметра витка оптического волокна. Диапазон диаметров выбран таким потому, что при диаметрах менее 5 мм может наступить излом оптического волокна, а при более 40 мм фототок фотоприемника достигает некоторого минимального значения, которое уже не изменяется с дальнейшим увеличением диаметра.

В экспериментальной установке использовались следующие источники света: лампа накаливания, светодиодные лампы (теплый белый и нормальный белый свет), галогенная и люминесцентная лампы. Эти лампы были выбраны для исследований, поскольку они достаточно часто используются для освещения помещений.

Для оценки влияния изменения числа витков на фототок при постоянном диаметре витка использовалась величина S , которая определялась по следующей формуле:

$$S = \frac{\Delta I_{\phi}}{\pi d \Delta N} = \frac{I_{2\phi} - I_{1\phi}}{\pi d (N_2 - N_1)}, \quad (1)$$

где d – диаметр витка; ΔI_{ϕ} – изменение фототока; ΔN – изменение числа витков оптического волокна; $I_{1\phi}$, $I_{2\phi}$ – фототоки для числа витков оптического волокна N_1 и N_2 соответственно.

Все измерения, результаты которых представлены в статье, выполнялись в соответствии с требованиями [10]. При этом обеспечивались следующие условия окружающей среды: температура от 20 до 25 °С, влажность до 70 %, атмосферное давление от 975 до 1025 гПа.

Результаты исследований и их обсуждение

В процессе исследования получены значения фототоков при одинаковой величине освещенности катушки различными лампами с минимальным из исследуемых диаметром витка 5 мм. При этом число витков составляло 10. Данные о фототоках, полученные при значении освещенности 4000 лк, представлены в табл. 1. Такая достаточно большая освещенность характерна для зрительной работы наивысшей точности [11]. Кроме того, это минимальная освещенность, при которой удавалось зарегистрировать фототок для всех типов ламп, используемых при проведении исследований, для 10 витков диаметром 5 мм. Далее в исследованиях использовалась эта величина освещенности.

Таблица 1. Значения фототоков при использовании разных типов ламп освещения
Table 1. The values of the photocurrents when using different types of lighting lamps

Тип волокна	Фототок, нА, для лампы				
	накаливания	галогенной	светодиодной		люминесцентной
			нормальный белый	теплый белый	
Одномодовое	0,41	0,14	0,02	0,01	0,03
Многомодовое	14,50	5,00	0,05	0,04	0,23

Как следует из табл. 1, наибольшее значение фототока получено для ламп накаливания, а наименьшее – для светодиодных ламп (теплый белый), независимо от вида оптического волокна. Такое отличие в значениях фототока для разных ламп освещения связано с различным спектральным составом излучения этих ламп. Для спектра ламп накаливания и галогенных ламп характерно наличие излучения ближнего инфракрасного диапазона от 0,8 до 1,7 мкм [12]. В спектре излучения других исследуемых ламп этот диапазон практически отсутствует [13]. Следует отметить, что для диапазона 0,8–1,7 мкм наблюдались меньшие потери мощности оптического излучения в оптическом волокне, чем для волн видимого спектра излучения. Также для видимого

спектра излучения чувствительность фотоприемника была несколько меньше, чем для инфракрасного диапазона 0,8–1,7 мкм.

Для всех видов освещенности большее значение фототока наблюдалось для многомодовых оптических волокон, чем для одномодовых. Это связано с тем, что диаметр сердцевины многомодового волокна больше, чем у одномодового. Поэтому при одинаковых значениях освещенности на фотоприемник поступают разные значения светового потока оптического излучения при использовании одномодового и многомодового оптических волокон. Это приводит к возникновению разных фототоков в фотоприемнике. Бigger значение фототока наблюдается для большего светового потока оптического излучения, характерного для многомодового оптического волокна.

Для постоянного значения освещенности увеличение диаметра витка при одном и том же количестве витков приводит к уменьшению фототока, что связано с ростом коэффициента отражения света от боковой поверхности оптического волокна при увеличении диаметра витка этого волокна. Увеличение количества витков без изменения их диаметра ожидаемо приводит к росту величины фототока при постоянном значении освещенности, что связано с расширением площади освещаемой поверхности чувствительного элемента оптического датчика. Это наблюдалось для всех типов исследуемых оптических волокон.

В табл. 2 приведены значения S для одномодового и многомодового оптических волокон для всех рассматриваемых видов ламп при диаметре витка 5 мм. Для многомодового оптического волокна при одних и тех же диаметре и количестве витков значения фототоков превосходили значения фототоков для одномодового оптического волокна, так как диаметр многомодового оптического волокна, как уже отмечалось, больше, чем одномодового. Поэтому общая площадь боковой поверхности оптического волокна, через которую оптическое излучение проникает в сердцевину этого волокна, больше для многомодовых, чем для одномодовых оптических волокон.

Таблица 2. Значения параметра S при использовании разных типов ламп освещения
Table 2. The values of the S parameter when using different types of lighting lamps

Тип волокна	Значение S , нА/мкм, для лампы				
	накаливания	галогенной	люминесцентной	светодиодной	
				нормальный белый	теплый белый
Одномодовое	0,86	0,27	0,04	0,02	0,01
Многомодовое	38,54	10,67	0,64	0,14	0,13

С учетом того, что для создания датчиков освещенности использовалось многомодовое оптическое волокно, на рис. 2 показаны зависимости фототока от диаметра витка d для этого волокна. Зависимости получены при постоянном значении освещенности 4000 лк и 15-ти витках оптического волокна. Как следует из графиков, увеличение диаметра витка приводит к уменьшению значения фототока для всех исследуемых ламп. Для других значений освещенности и количества витков оптического волокна вид зависимостей сохранялся.

Характер зависимостей I_{ϕ} от d для одномодового и многомодового оптических волокон был одинаковым. Однако для многомодового оптического волокна значения фототоков для одинаковых диаметров d превосходили значения фототоков для одномодового оптического волокна.

Как видно из рис. 2, наибольшее значение фототока регистрировалось при освещении лампой накаливания, наименьшее – светодиодной лампой (теплый белый свет) во всем исследуемом интервале d . Как было отмечено выше, при увеличении диаметра витка более 40 мм зависимость фототока от диаметра витка принимает постоянные значения. В таком случае величина фототока меньше по сравнению с наличием витков с диаметром от 5 до 40 мм. Это свидетельствует о том, что оптическое излучение может проникать в оптическое волокно через его боковую поверхность даже в отсутствие витков.

На рис. 3 показаны зависимости величины S от диаметра катушки при освещении лампой накаливания для одномодового и многомодового оптических волокон. Как видно из графиков, уменьшение диаметра витка приводит к росту S . Это связано с тем, что при меньших диаметрах витка наблюдаются большие значения фототока для одинаковой освещенности (рис. 2) и изменения фототока ΔI_{ϕ} . Во всем исследуемом диапазоне диаметров витка значение S для многомодовых оптических волокон превосходило это же значение для одномодовых. Для других ламп освещения характер зависимостей величины S от диаметра катушки был аналогичным.

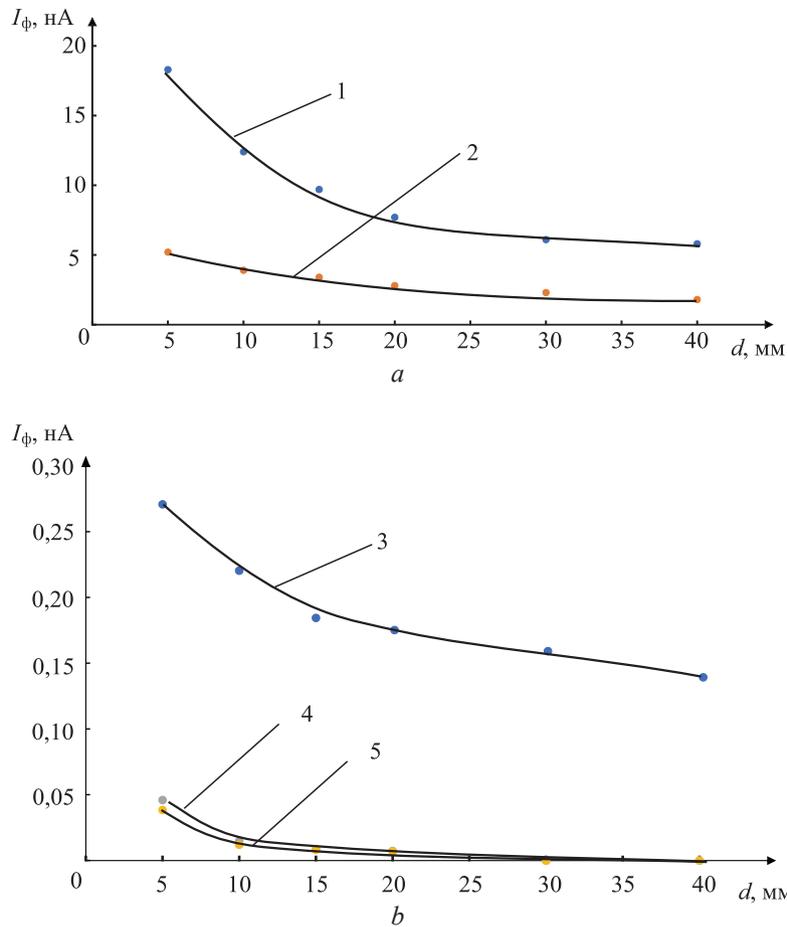


Рис. 2. Зависимость фототока от диаметра витка для многомодового оптического волокна для разных видов ламп: 1 – накаливания; 2 – галогенная; 3 – люминесцентная; 4, 5 – светодиодная, нормальный белый и теплый белый соответственно
Fig. 2. Dependence of photocurrent on the diameter of the turn for multimode optical fiber for different types of lamps: 1 – incandescent; 2 – halogen; 3 – fluorescent; 4, 5 – LED, normal white and warm white respectively

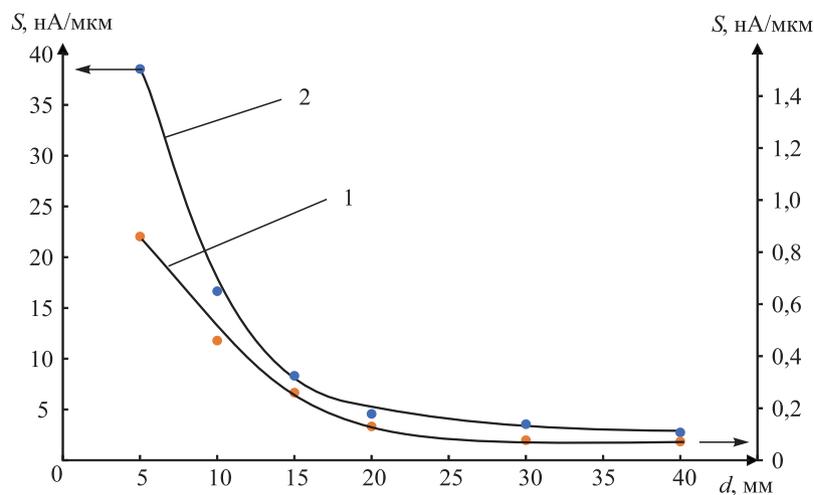


Рис. 3. Зависимость S от диаметра катушки при освещении лампой накаливания для одномодового (1) и многомодового (2) оптических волокон
Fig. 3. Dependence of the S on the diameter of the coil under illumination with an incandescent lamp for single-mode (1) and multimode (2) optical fibers

Заключение

1. Показана возможность применения телекоммуникационного оптического волокна как основы для создания датчика освещенности, который представляет собой оптическое волокно, намотанное на цилиндрическую поверхность виток к витку. Для создания такого датчика лучше всего подходит многомодовое телекоммуникационное оптическое волокно.

2. Установлено, что величина фототока, формируемого датчиком, зависит от количества витков и их диаметра. Значение фототока возрастает при постоянной освещенности с уменьшением радиуса изгиба оптического волокна и с увеличением числа витков.

3. Зависимости чувствительности датчика к световому потоку от количества витков и их диаметра позволяют разрабатывать конкретные конструктивные решения таких датчиков.

Список литературы

1. Панкрашкин, А. Датчики уровня освещенности, приближения и цвета от компании Avago Technologies / А. Панкрашкин // Компоненты и технологии. 2006. № 7. С. 68–72.
2. Сысоева, С. Датчики окружающего света от компании ROHM Semiconductor – готовое решение для оптимальных систем / С. Сысоева // Компоненты и технологии. 2010. № 8. С. 138–144.
3. Papalias, T. A. Making Sense of Light Sensors / T. A. Papalias, M. Wong // Intersil Corp. 2007. <https://www.eetimes.com/making-sense-of-light-sensors>.
4. Верхулевский, К. Датчики видимого света компании Microsemi / К. Верхулевский, Ю. Шаропин // Компоненты и технологии. 2007. № 6. С. 56–60.
5. Котюк, А. Ф. Датчики в современных измерениях / А. Ф. Котюк. М.: Радио и связь, Горячая линия – Телеком, 2006.
6. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоши [и др.]; пер. с япон. Л.: Энергоатомиздат, 1990.
7. Дмитриев, С. А. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы / С. А. Дмитриев, Н. Н. Слепов. М.: Техносфера, 2010.
8. Govind, P. Agrawal Fiber-Optic Communication Systems / P. Govind. New York: Wiley-Interscience, 2002.
9. Скляр, О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи / О. К. Скляр. СПб.: Лань, 2021.
10. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий: ГОСТ ISO/IEC 17025–2019.
11. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-153–2009 (02250).
12. Биске, К. Субъективные оценки цветопередачи в зависимости от спектра излучения источников света / К. Биске, К. Вандаал, К. Юнгнич // Светотехника. 2007. № 5. С. 14–17.
13. Бугров, В. Е. Оптоэлектроника светодиодов / В. Е. Бугров, К. А. Виноградова. СПб.: НИУ ИТМО, 2013.

References

1. Pankrashkin A. (2006) Light, Proximity and Color Sensor from Avago Technologies. *Components and Technologies*. (7), 68–72 (in Russian).
2. Sysoeva S. (2010) Ambient Light Sensors from ROHM Semiconductor – a Ready-Made Solution for Optimal Systems. *Components and Technologies*. (8), 138–144 (in Russian).
3. Papalias T. A., Wong M. (2007) Making Sense of Light Sensors. *Intersil Corp.* <https://www.eetimes.com/making-sense-of-light-sensors>.
4. Verhulevsky K., Sharopin Y. (2007) Visible Light Sensors from Microsemi. *Components and Technologies*. (6), 56–60 (in Russian).
5. Kotyuk A. F. (2006) *Sensors in Modern Measurements*. Moscow, Radio i Svyaz, Goryachaya Liniya – Telekom Publ. (in Russian).
6. Okoshi T., Okamoto K., Otsu M., Nishihara H., Kyuma K., Hatate K. (1990) *Fiber Optic Sensors*. Leningrad, Energoatomizdat Publ. (in Russian).
7. Dmitriev S. A., Slepov N. N. (2010) *Fiber Optic Technology: Current State and New Prospects*. Moscow, Technosphere Publ. (in Russian).
8. Govind P. (2002) *Agrawal Fiber-Optic Communication Systems*. New York, Wiley-Interscience.
9. Sklyarov O. K. (2021) *Fiber-Optic Networks and Communication Systems*. St. Petersburg, Lan Publ. (in Russian).
10. GOST ISO/IEC 17025–2019. *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories* (in Russian).
11. Technical Code of Established Practice 45-2.04-153–2009 (02250). *Natural and Artificial Lighting. Building Design Standards* (in Russian).

12. Biske K., Vandaal K., Jungnich K. (2007) Subjective Assessments of Color Rendering Depending on the Emission Spectrum of Light Sources. *Lighting Engineering*. (5), 14–17 (in Russian).
13. Bugrov V. E., Vinogradova K. A. (2013) *LED Optoelectronics*. St. Petersburg, NRU ITMO Publ. (in Russian).

Вклад авторов

Зеневич А. О. осуществил научное руководство исследованием, сформулировал научные гипотезы, проверенные посредством эксперимента, принял участие в интерпретации результатов исследования.

Жданович С. В. принял участие в разработке методики проведения исследования, анализе и интерпретации результатов исследования.

Матковская Т. А. произвела настройку экспериментальной установки, провела измерение и обработку результатов, подготовила статью к опубликованию.

Новиков Е. В. разработал методику проведения исследования, принял участие в интерпретации его результатов, подготовил статью к опубликованию.

Authors' contribution

Zenevich A. O. carried out scientific management of the research, formulated scientific hypotheses tested by experiment, took part in the interpretation of the research results.

Zhdanovich S. V. took part in the development of research methodology, analysis and interpretation of research results.

Matkovskaia T. A. adjusted the experimental setup, measured and processed results, and prepared the article for publication.

Novikov E. V. developed the methodology for conducting the study, took part in the interpretation of its results, prepared the article for publication.

Сведения об авторах

Зеневич А. О., д-р техн. наук, проф., ректор Белорусской государственной академии связи (БГАС)

Жданович С. В., канд. техн. наук, доц., зав. отраслевой лабораторией перспективных информационно-коммуникационных технологий, БГАС

Матковская Т. А., асп. БГАС

Новиков Е. В., канд. техн. наук, доц., дир. Института современных технологий связи

Адрес для корреспонденции

220114, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Ф. Скорины, 8/2
Белорусская государственная академия связи
Тел.: +375 29 509-02-29
E-mail: tandem7m@gmail.com
Матковская Татьяна Александровна

Information about the authors

Zenevich A. O., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Rector of the Belarusian State Academy of Communications (BSAC)

Zhdanovich S. V., Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Industry Laboratory of Perspective Information and Communication Technologies, BSAC

Matkovskaia T. A., Postgraduate, BSAC

Novikov E. V., Cand. of Sci., Associate Professor, Director of the Institute of Modern Communication Technologies

Address for correspondence

220114, Republic of Belarus,
Minsk, F. Skorina St., 8/2
Belarusian State Academy of Communications
Tel.: +375 29 509-02-29
E-mail: tandem7m@gmail.com
Matkovskaia Tatiana Alexandrovna