

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

**Е. А. Бадеева<sup>1</sup>, К. Д. Целикин<sup>2</sup>,  
А. Г. Кабанов<sup>3</sup>, Г. С. Куклин<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия  
<sup>1</sup> badeeva\_elena@mail.ru, <sup>2</sup> kdts777@yandex.ru,  
<sup>3</sup> kaban300699@mail.ru, <sup>4</sup> kuklingeorg@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Военно-политическая ситуация в современном миропорядке претерпевает значительные изменения. Военные конфликты затрагивают национальные интересы Российской Федерации. В сложившихся условиях есть необходимость создания качественно новых приборов для отечественных образцов военной и специальной техники на базе использования безопасных, надежных, энергосберегающих технологий. К таким перспективным технологиям относятся волоконно-оптические технологии и разрабатываемые на их базе измерительные устройства. Целью данного исследования является адаптация, обобщение и классификация конструктивных исполнений приборов и элементов информационно-измерительных и управляющих систем на основе волоконной оптики для военных целей. *Материалы и методы.* Оцениваются перспективы применения волоконно-оптических технологий и средств в войсках России. Раскрыты их назначение, тактико-технические характеристики и возможности. Для проведенного исследования были избраны комбинации следующих методов: анализ научно-технической литературы, статистические данные, деконструкция. *Результаты.* Раскрыты волоконно-оптические системы военного назначения и их конструктивные элементы, отличительной особенностью которых является простота и надежность конструкции, безопасность применения, точность измерения, долговечность. *Выводы.* Новые технические решения средств измерений и управления на основе волоконно-оптического принципа действия позволят обеспечить безопасное, точное и надежное измерение требуемых физических величин на объектах военного назначения в разных условиях эксплуатации.

**Ключевые слова:** оптическое волокно, волоконно-оптическая технология, волоконно-оптическая система военного назначения, измерительный прибор, система связи, система контроля, гироскоп, интегрированная система безопасности управления

**Для цитирования:** Бадеева Е. А., Целикин К. Д., Кабанов А. Г., Куклин Г. С. Волоконно-оптические системы военного назначения и их элементы // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 106–120. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-10

## FIBER-OPTIC SYSTEMS FOR MILITARY PURPOSES AND THEIR ELEMENTS

**E.A. Badeeva<sup>1</sup>, K.D. Tselikin<sup>2</sup>,  
A.G. Kabanov<sup>3</sup>, G.S. Kuklin<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Penza State University, Penza, Russia  
<sup>1</sup> badeeva\_elena@mail.ru, <sup>2</sup> kdts777@yandex.ru,  
<sup>3</sup> kaban300699@mail.ru, <sup>4</sup> kuklingeorg@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The military-political situation in the modern world order is undergoing significant changes. Military conflicts affect the national interests of the Russian Federation. Under the current conditions, it has become an objective necessity to create qualitatively new domestic models of military and special equipment devices based on the use of safe, reliable, energy-saving technologies. Such modern promising methods and measuring instruments include fiber-optic technologies and measuring devices developed on their basis. The purpose of this study is to adapt, generalize and classify the designs of devices and elements of information-measuring and control systems based on fiber optics for military purposes. *Materials and methods.* Prospects of application of fiber-optic technologies and means in the Russian troops are evaluated. Their purposes, tactical and technical characteristics and capabilities are disclosed. Combinations of methods were chosen for the study: analysis of scientific literature and statistical data, deconstruction. *Results.* The models of fiber-optic systems for military purposes and their structural elements are grouped, the distinctive feature of which is the simplicity and reliability of the design, safety of use, measurement accuracy, durability. *Conclusions.* New technical solutions of measuring and control devices based on the fiber-optic principle of operation will ensure safe, accurate and reliable measurement of the required physical quantities at military facilities in different operating conditions.

**Keywords:** optical fiber, fiber-optic technology, military fiber-optic system, measuring instrument, communication system, control system, gyroscope, integrated control security system

**For citation:** Badeeva E.A., Tselikin K.D., Kabanov A.G., Kuklin G.S. Fiber-optic systems for military purposes and their elements. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2021;(4):106–120. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-10

### **Введение**

Современная военная техника, вооруженные комплексы Российской Федерации (РФ) оснащены различными радиоэлектронными автоматизированными информационно-измерительными системами контроля и управления. К вооруженным силам РФ (ВС РФ) относятся сухопутные войска, воздушно-космические силы, военно-морской флот. Военно-политическая ситуация в современном миропорядке претерпевает значительные изменения. Военные конфликты затрагивают и национальные интересы России. В сложившихся условиях для России стало объективной необходимостью создание качественно новых образцов вооружений и военной техники [1–7]. К основным направлениям в развитии радиоэлектронных приборов и средств измерений образцов вооружения, военной и специальной техники относятся: снижение их массогабаритных характеристик, увеличение сроков службы до 15 лет при непрерывном функционировании в условиях воздействия внешних агрессивных факторов среды, повышение точности действия оружия, увеличение скорости и объемов обработки и передачи информации по военным каналам связи, снижение энергопотребления [7]. Тенденции дальнейшего развития военной техники России диктуют требования внедрения безопасных, надежных, точных, энергосберегающих, экономичных отечественных технологий для обеспечения противодействия внешним угрозам и защите национальных интересов. На службу вооруженных сил РФ приходят волоконно-оптические приборы и системы, интегрированные или совместимые с различными радиоэлектронными объектами [6, 9–10].

### Материал и методика

Преимущества волоконно-оптических технологий основаны на качествах, присущих оптическому волокну (ОВ) – основному элементу волоконно-оптических приборов и систем, это хорошая пропускная способность, возможность получения высоких скоростей передачи информации, безопасность передачи данных, стойкость к химическому влиянию и пожаробезопасность, нечувствительность к электромагнитным помехам, отсутствие электромагнитного излучения, малый вес. Расстояния, на которые можно передавать данные посредством ОВ, достигают 1000 км. С практической стороны оптическое волокно легкое, компактное, гибкое, надежное, недорогое, сращиваемое, прочное и коммерчески доступно [11–15, 17, 18, 20]. Национальный проект «Цифровая экономика РФ» диктует развитие производства отечественного оптоволокна. Так, в рамках программы импортозамещения в 2015 г. в Саранске открылся завод «Оптиковолоконные Системы», который стал 60-м заводом, открытым в структуре «Роснано», первым в России промышленным производителем оптоволокна [16]. Завод «Оптиковолоконные Системы» помимо стандартных ОВ также выпускает световоды с улучшенными характеристиками, повышенными прочностными характеристиками и устойчивостью к механическим нагрузкам, ОВ диаметром 200 мкм, позволяющее уменьшить сечение кабеля, тем самым облегчая его прокладку. Оптоволоконная продукция формируется как сегмент рынка уже порядка 15–20 лет. Технология изготовления и технико-физическое качество волокна растут. В табл. 1 приведены некоторые характеристики ОВ, производимых в РФ [17–19].

Таблица 1

#### Характеристики ОВ

№	Характеристики ОВ	Значения
<i>Геометрические</i>		
1	Диаметр оболочки, мкм	125 ± 0,7
2	Диаметр вторичного покрытия, мкм	243,5 ± 3,0
3	Собственный изгиб волокна, радиус кривизны в м	≥4
4	Стандартные длины, км	25,2 / 50,4
<i>Оптические</i>		
5	Максимальный коэффициент затухания, дБ/км – на 1310 нм; – на 1625 нм	≤0,34 ≤0,25
6	Длина волны отсечки в кабеле (лсс), нм	≤1260
7	Коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм*км) – на 1625 нм	≤22
<i>Механические</i>		
8	Натяжение при перемотке волокна, ГПа	≥0,69
9	Стойкость к коррозии в напряженном состоянии (Nd)	≥20
<i>Параметры влияния окружающей среды</i>		
10	Прирост затухания (дБ/км) на длинах 1310 нм, 1625 нм минус 60 °С ... +85 °С температурный цикл +23 °С погружение в воду +85 °С температурное старение +85 °С/85 % влажное тепло	≤0,05
<i>Эксплуатационные</i>		
11	Эффективный показатель преломления на длине волны: – 1310 нм; – 1625 нм	1,4660 1,4670

Новые разработки позволяют делать новые предложения потребителям разного уровня. Вышеуказанные свойства приводят к многочисленным военным приложениям, которые можно сгруппировать по функциональному назначению (рис. 1).

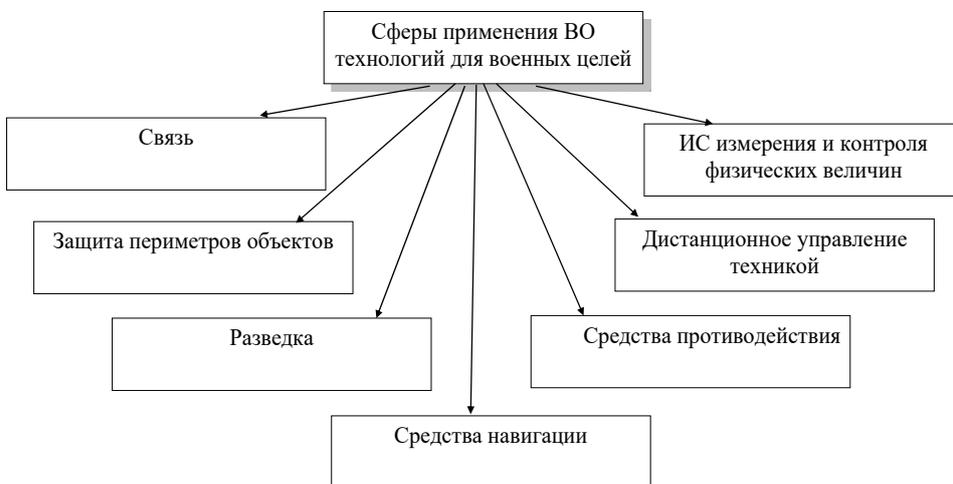


Рис. 1. Сферы применения волоконно-оптических технологий в приборах информационно-измерительных и управляющих систем военного назначения

Применение волоконно-оптических систем военного назначения и их элементов регулируется такими стандартами, как [21–25]:

- ГОСТ 2.761–84 «ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Компоненты волоконно-оптических систем передачи»;
- ГОСТ Р 59088–2020 «Оптика и фотоника. Датчики волоконно-оптические. Классификация»;
- ГОСТ РВ 6040-001–2007 «Преобразователи измерительные волоконно-оптических датчиков. Общие технические условия»;
- ГОСТ РВ 50899–96 «Сети сбора данных волоконно-оптические на основе ВО "Общие технические требования"»;
- ГОСТ РВ 51949–2002 «Компоненты волоконно-оптических систем передачи. Общие технические условия» и другими.

## **Обсуждение**

### *1. Связь*

Войска связи – специальные войска, предназначенные для развертывания системы связи и обеспечения управления объединениями, соединениями и подразделениями Сухопутных войск в мирное и военное время. Обеспечение выполнения основных задач данным родом войск базируется на создании и развертывании объединенной автоматизированной цифровой системы связи на основе применения последних отечественных разработок в области волоконной оптики [1, 6, 8].

Отечественная военная система связи оборудована с помощью волоконно-оптических кабелей, пришедших на замену медным проводам. Их

применение позволило увеличить объем передаваемой информации, расширить спектр передаваемых сигналов по управляющим системам. В отличие от медных проводов по волоконно-оптическому кабелю возможна передача звука, видеосигнала и пакета цифровых данных. В отличие от медных кабелей современные кабели из оптического волокна имеют высокую помехозащищенность, позволяют передавать сигналы на большие расстояния (в 10...12 раз) без усилительных пунктов [6, 8].

В военных образовательных центрах активно ведут подготовку специалистов в области волоконно-оптической связи. Регулярно проводятся тренировочные учения связистов в развертывании полевой волоконно-оптической линии связи, восстановлении поврежденных участков, измерении параметров линий связи и проверке кабелей, настройке IT-оборудования с организацией видео-конференц-связи между участниками [9].

## *2. Защита периметров объектов*

Для защиты периметров важнейших военных объектов применяются новейшие комплексы на основе волоконно-оптических технологий [26–29].

Разработаны отечественные охранные волоконно-оптические линии мониторинга состояния и охраны периметров объектов (ВОЛМ) с протяженными периметрами, позволяющие фиксировать приближение к охраняемой зоне и пересечение ее границ. Волоконно-оптический кабель в них играет роль распределенного датчика виброакустических возмущений окружающей среды. Чувствительным элементом кабель-датчика является стандартное телекоммуникационное оптическое одномодовое волокно, что обуславливает электрическую пассивность чувствительного элемента [26–29]. В него подается лазерный импульс, при этом световая волна отражается от неоднородности волокна, система реагирует на отраженный сигнал, причем по всей длине кабеля, и оповещает о происходящих событиях на периметре охраняемой зоны. Данные системы способны обнаружить движение пешехода, транспортного средства, пересекающего рубеж охраны, движение техники, а также надводных судов и др. [26–29].

ВОЛМ могут быть интегрированы с различными автоматическими системами: видеонаблюдения, тепловидения, объектовой сигнализацией, управления беспилотными летательными аппаратами, системой контроля доступа, охранным освещением и другими. Они не требуют сложных строительно-монтажных работ. Волоконно-оптический кабель, выполняющий функцию датчика, не требует особых условий по его размещению, так как не содержит проводников электрического тока. Длина такого кабель-датчика может достигать до 4–6 км за счет соединений волокон кабелей при помощи специальных муфт. Соединение оптических волокон и при необходимости их ремонт в случае разрыва производятся путем технологической сварки стандартным оборудованием [26–29].

## *3. Разведка*

Разведывательная деятельность является составной частью сил обеспечения безопасности РФ и призвана защищать безопасность личности, общества и государства от внешних угроз с использованием определенных методов и средств добывания информации для принятия руководством страны

оперативных стратегически важных политических, военных, научно-технических и экономических решений [30–34].

Гласные и негласные методы и средства разведывательной деятельности для защиты и/или добывания информации не должны причинять вред жизни и здоровью людей и наносить ущерб окружающей среде. А так как добывание информации осуществляется с использованием технических средств, то к данным приборам предъявляются требования безопасности, экологичности, скрытости, оперативности, возможности незаметного визуального наблюдения, непрерывности работы, простоты использования. К таким устройствам можно отнести волоконно-оптические технические средства разведки (ВОТСР), которые позволят добывать информацию по месту расположения аппаратуры в космосе, в воздухе, на море и в наземных условиях [30–34].

С помощью ВО технологий можно производить скрытое видеонаблюдение на большие расстояния, не обнаруживаемое стандартной электронной поисковой аппаратурой, при этом разрешение (качество) визуального сигнала будет определяться параметрами волоконно-оптического кабеля (ВОК) и регистрирующей электронной аппаратурой далеко за пределами контролируемой зоны (рис. 2) [32].

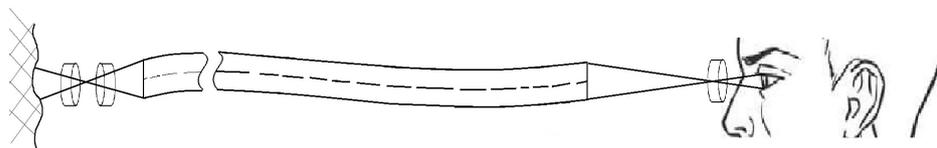


Рис. 2. Структурная схема скрытого наблюдения посредством волоконно-оптической системы

В состав ВОТСР входят волоконно-оптические устройства (ВОУ), представляющие собой совокупность последовательно включенных излучателя, среды передачи излучения (кабеля), фотоприемника и электронной схемы обработки информации [36]. Разведывательная деятельность добывания информации при помощи таких устройств ВОТСР осуществляется за счет приема электромагнитных колебаний инфракрасного, видимого и ультрафиолетового диапазонов, излученных или отраженных объектами и местными предметами.

Один из примеров применения ВО технологий для военной сферы – волоконно-оптические технические эндоскопы (ВОТЭ). ВОТЭ позволяют производить обследование труднодоступных мест, обеспечивают возможность осмотра емкостей с жидкостями, в том числе агрессивными, неразрушающий контроль внутренних полостей различных объектов, контроль работоспособности сложных технических систем, таможенный и полицейский досмотр транспортных средств и грузов, осмотр без разборки двигателя и трансмиссии автомобиля в автосервисе, скрытое наблюдение и мониторинг [30–34].

#### 4. Средства навигации

Навигационное обеспечение войск является одним из видов оперативных мероприятий, которое осуществляется в целях определения скорости пе-

ремещения мобильных объектов, направления и места их дислокации, реализуемое путем оснащения войск специальными комплексами доведения и обработки информации. Основой существующего навигационного обеспечения ВС РФ является Глобальная навигационная спутниковая система России (ГЛОНАСС). Одним из базовых элементов данной навигационной системы являются гироскопы – устройства, способные реагировать на изменение углов ориентации объекта [36]. Совершенствование автоматизированных систем управления войсками требует использования гироскопов – датчиков угловой скорости с повышенным показателем чувствительности преобразования контролируемого сигнала. Для этих целей рекомендовано использование гироскопов на базе применения волоконно-оптических технологий.

Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ) — это совершенно новый вид инерциальных датчиков угловых перемещений, измеряющий углы поворота объекта и его угловую скорость. Принцип действия ВОГ основан на вихревом (вращательном) эффекте Саньяка, который заключается в том, что во вращающемся кольцевом интерферометре одна встречная волна приобретает фазовый сдвиг относительно другой встречной волны, который прямо пропорционален угловой скорости вращения, площади, охватываемой интерферометром и частоте волны. Преимущество ВОГ перед механическими гироскопами заключается в том, что они способны работать в широком динамическом диапазоне измеряемых скоростей, в отсутствии вращающихся элементов, в отсутствии вибрации и акустического шума, они имеют приемлемые массогабаритные характеристики, их параметры и конструктивное исполнение просты в расчетах [37–39]. ВОГ нашли свое применение в разработках одного из ведущих оборонных предприятий России – Московского научно-исследовательского института «Агат». Для ракет, применяемых в системах борьбы со средствами воздушного нападения, разработана усовершенствованная активная радиолокационная головка самонаведения (АРГС), в конструкцию которой на замену механического гироскопа пришел волоконно-оптический, благодаря чему значительно сократилось время подготовки ракеты к пуску [40].

### *5. Средства противодействия*

Борьба с системами и средствами управления противника предполагает прямое или косвенное воздействие на все этапы управления. Особая роль при этом принадлежит противодействию техническим средствам. В военной сфере в качестве средства противодействия волоконно-лазерный излучатель можно применять как лазерный радар или дальномер. Он способен зондировать атмосферу, обнаруживая в воздухе вредные примеси [41, 42].

Конструктивные исполнения волоконно-оптического кабеля предлагаются для внедрения в целях радиоэлектронной борьбы для обеспечения защиты систем передачи военной информации. Элементы волоконно-оптических систем могут применяться как средства противодействия противоракетной обороне (ПРО) противника, включая средства искажения характеристик боевых блоков ракеты, ложные цели и станции активных помех.

### *6. Дистанционное управление техникой*

Свойства волоконно-оптических технологий позволяют обеспечить реализацию развивающегося направления – роботизацию военной техники и

вооружения ВС РФ [43–46]. Элементы волоконно-оптических систем могут быть успешно внедрены для управления дистанционными боевыми военными модулями, что позволит обеспечить требуемый уровень безопасности экипажа и повысить эффективность боевых действий. Дистанционно управляемый боевой модуль может содержать в своем составе прицел с оптическим каналом, лазерный дальномер с передачей сигнала по оптическому волокну. По волоконно-оптической линии связи также возможно дистанционное управление наземной радиолокационной станцией (РЛС) – радиотехнической системой обнаружения объектов, определения их дальности, скорости и геометрических параметров, размещенной на двух бронированных автомобилях повышенной проходимости.

#### *7. Информационные системы измерения и контроля физических величин*

К современным отечественным средствам измерения военного назначения относятся измерительные приборы, датчики физических величин, измерительные установки, измерительные системы и комплексы, подвижные лаборатории и комплексы измерительной техники [47, 48]. При возникновении задачи непрерывного мониторинга состояния различных военных объектов открываются перспективы для использования волоконно-оптических датчиков (ВОД) в информационно-измерительных системах (ИИС) сбора и контроля данных для измерения распределения различных физических величин в пространстве (температуры, давления, перемещения и прочие). ВОД являются компонентами волоконно-оптических ИИС, отличительными особенностями которых являются высокая метрологическая точность, долговечность, стойкость, низкая себестоимость, простота конструктивного исполнения [11], что позволяет обеспечивать требуемые характеристики к средствам измерения военного назначения.

#### *Заключение*

В настоящее время противодействие современным угрозам безопасности страны должно быть обеспечено за счет разработки и поставки во все подразделения ВС РФ новых образцов техники и вооружения, радиоэлектронных приборов и средств измерений, основанных на передовых инновационно-технологических решениях, обеспечивающих ответ на возможные вызовы и намерения со стороны агрессоров. Применение волоконно-оптических информационно-измерительных и управляющих систем позволяет решать возникающие задачи. Новые технические решения средств измерений и управления на основе волоконно-оптического принципа действия позволят обеспечить безопасное, точное и надежное измерение требуемых физических величин на объектах военного назначения в разных условиях эксплуатации – в космосе, в воздухе, на море и на суше, обеспечивая высокий срок службы, снижение энергопотребления при малом весе.

#### *Список литературы*

1. Вооруженные силы РФ. URL: <https://structure.mil.ru/structure/forces/type.htm> (дата обращения: 16.11.2021).
2. Синюков В. В., Шипко Ю. В., Ерин О. Л. Анализ подходов отнесения технических устройств к средствам измерений военного назначения // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 6. С. 102–111.

3. Гусеница Я. Н., Кравцов А. Н., Малахов А. В. Метод оценивания влияния метрологического обеспечения на эффективность применения вооружения, военной и специальной техники // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. № 5. С. 33–41.
4. Леонтьев А. Г., Котович В. В., Кузнецов Д. А. Метрологические комплексы военного назначения : учеб. пособие. СПб., 2010. 269 с.
5. Новейшая техника и вооружения: чем армия сможет защитить Россию. URL: <https://ria.ru/20200223/1565111582.html> (дата обращения: 01.12.2021).
6. Арсланов Х. А. Система связи и управления в Вооруженных Силах Российской Федерации строится на основе последних достижений науки и техники // Минобороны России. URL: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12200524%40cmsArticle](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12200524%40cmsArticle) (дата обращения: 16.11.2021).
7. Афанасьев А. С., Матюхин Д. В. Реалии современного пути развития военной радиоэлектроники // Вооружение и экономика. Электронный научный журнал 2021. № 3. С. 35–44. URL: <http://www.viek.ru>
8. Войска ЦВО получили более 400 сотовых телефонов повышенной защищенности и аппаратов режимной связи. URL: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12257310@egNews](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12257310@egNews) (дата обращения: 16.11.2021).
9. Военные связисты из восьми стран провели первые тренировки перед стартом международного этапа конкурса «Уверенный прием». URL: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12378059@egNews](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12378059@egNews) (дата обращения: 16.11.2021).
10. Метьюс М. Волоконно-оптические решения повышенной устойчивости в системах военного назначения // Вестник электроники. 2015. № 2. С. 6–8.
11. Мурашкина Т. И., Бадеева Е. А. Волоконно-оптические приборы и системы: научные разработки НТЦ «Нанотехнологии волоконно-оптических систем» Пензенского государственного университета. Часть I. СПб., 2018. 187 с.
12. Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И., Бадеев А. В. Микро-оптико-механические системы волоконно-оптических датчиков давления : монография. Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. 268 с.
13. Полякова Е. А., Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И. [и др.]. Улучшение технических характеристик волоконно-оптических измерительных преобразователей // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2020. № 1. С. 126–135.
14. Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И., Полякова Е. А. Реализация принципа двухканальности в волоконно-оптических информационно-измерительных системах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 2. С. 87–98.
15. Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И., Мещеряков В. А. Волоконно-оптические датчики давления отражательного типа для летательных аппаратов // Датчики и системы. 2001. № 9. С. 14–18.
16. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (дата обращения: 02.12.2021).
17. Российское оптическое волокно. Простыми словами о сложном производстве. URL: <https://vols.expert/useful-information/rossiyskoe-opticheskoe-voлокно-prostyimi-slovami-o-slozhnom-proizvodstve/> (дата обращения: 02.12.2021).
18. Сами мы местные: как производят оптоволокно в России. URL: [https://incrussia.ru/specials/optovolokno\\_v\\_rossii/](https://incrussia.ru/specials/optovolokno_v_rossii/) (дата обращения: 02.12.2021).
19. «Оптическое волокно» освоили 5 типов оптического волокна за 5 лет. URL: <https://rusfiber.ru/press-tsenter/news/news-98-texnicheskij-zapusk.html> (дата обращения: 02.12.2021).
20. Российские производители оптических кабелей. URL: <https://fabricators.ru/produkt/opticheskie-kabelya/> (дата обращения: 02.12.2021).

21. ГОСТ 2.761–84 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Компоненты волоконно-оптических систем передачи. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007019> (дата обращения: 02.12.2021).
22. ГОСТ Р 59088–2020. Оптика и фотоника. Датчики волоконно-оптические. Классификация. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566108851> (дата обращения: 02.12.2021).
23. Преобразователи измерительные волоконно-оптических датчиков. Общие технические условия: государственный военный стандарт ГОСТ РВ 6040-001-2007: введен впервые: введен 2008-07-01. М. : Стандартинформ, 2008. 45 с.
24. ГОСТ РВ 50899–96. Сети сбора данных волоконно-оптические на основе волоконно-оптических датчиков. Общие требования. М. : Изд-во стандартов, 1997. 117 с.
25. ГОСТ РВ 51949–2002 «Компоненты волоконно-оптических систем передачи. Общие технические условия» : [принято и введено в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 мая 2018 г. № 23-ст ; дата введения 01.01.2019]. М. : Стандартинформ, 2018. 6 с.
26. ГОСТ Р 57562–2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы охраны оптико-волоконные. Термины и определения. Fiber-optic security system. Terms and definitions. ОКС 13.320. Дата введения 01.06.2018. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146360> (дата обращения: 02.12.2021).
27. Комплекс «ВОЛК», волоконно-оптическая линия контроля. URL: <https://www.arms-expo.ru/armament/samples/1782/84293/> (дата обращения: 02.12.2021).
28. Руководство по применению системы охраны периметра СОКОЛ для объектов военного и специального назначения. Федеральный информационный фонд отечественных и иностранных каталогов на промышленную продукцию. М., 2013. 37 с.
29. Рекомендации по использованию технических средств обнаружения, основанных на различных физических принципах, для охраны огражденных территорий и открытых площадок. М. : ФКУ «НИЦ «Охрана» Росгвардии ; Саратов : Амирит, 2017. 110 с.
30. О внешней разведке : федер. закон № 5-ФЗ от 10 января 1996 г. URL: <https://base.garant.ru/10135745/> (дата обращения: 02.12.2021).
31. Об оперативно-розыскной деятельности : федер. закон № 144-ФЗ от 12 августа 1995 г. URL: <https://base.garant.ru/10104229/> (дата обращения: 02.12.2021).
32. Гришачев В. В. Фотоника в системах безопасности и защиты информации // Фотоника. 2011. № 6. С. 58–63.
33. Технические характеристики средств оптической разведки. URL: [https://studopedia.ru/7\\_139956\\_tehnicheskie-harakteristiki-sredstv-opticheskoy-razvedki.html](https://studopedia.ru/7_139956_tehnicheskie-harakteristiki-sredstv-opticheskoy-razvedki.html) (дата обращения: 02.12.2021).
34. Титов А. А. Технические средства защиты информации : учеб. пособие. Томск : Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2010. 77 с.
35. Гречишников В. М. Схемотехника волоконно-оптических устройств : учеб. пособие. Самара : Изд-во Самарск. ун-та, 2018. 72 с.
36. Елюшкин В. Г., Долгов Е. И., Вдовин В. С. Топогеодезическое и навигационное обеспечение войск: вопросы реформирования // Военная мысль. 2000. № 4. С. 34–39.
37. Горохов С. Л. Волоконно-оптические гироскопы (обзор) // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2005. № 20. С. 60–67.
38. Матрехин Д. А., Тыныныка А. Н. Простая схема волоконно-оптического датчика угловой скорости // Известия Вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 2. С. 117–122.
39. Коптенков М. И. Основы проектирования измерительных устройств на базе волоконно-оптического гироскопа // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2015. № 3. С. 63–70.

40. Ребров А. С., Утенков А. Ю. Новая элементная база современных систем наведения // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2016. № 25-1. С. 166–171.
41. Разработка ученых Военной академии РВСН на международной выставке «Интерполитех-2011» получила специальный приз. URL: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=10766901@egNews](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=10766901@egNews) (дата обращения: 02.12.2021).
42. Министр обороны России генерал армии Сергей Шойгу осмотрел экспозиции иностранных государств на форуме «Армия-2017». URL: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12139542 %40egNews&\\_print=true](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12139542%40egNews&_print=true) (дата обращения: 02.12.2021).
43. Митрофанов А. Дистанционно управляемые комплексы: автоматизированные огневые точки. URL: <https://topwar.ru/154236-distancionno-upravlyaemye-kompleksy-avtomatizirovannye-ognevye-tochki.html> (дата обращения: 02.12.2021).
44. Домаников М. Г., Рябов М. В., Пикалов А. А. Наземные дистанционно-управляемые боевые модули. Основные определения и классификационные признаки // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. № 12-3. С. 52–60.
45. Соловьев Д. В., Фролков В. Н. Системы управления на основе оптического волокна // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2007. № 44. С. 129–133.
46. Елисеев О. В., Соловьев Д. В., Фролков В. Н., Гатчин Ю. А. Перспективы применения оптического волокна в системах управления // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2007. № 40. С. 189–193.
47. ГОСТ РВ 8.560-95. Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений военного назначения. Испытания и утверждение типа. Госстандарт России. М., 1995. 31 с.
48. Оптоволоконные измерительные каналы для автоматизированных систем контроля и управления // ИСУП. 2018. № 4. URL: <https://isup.ru/articles/45/13270/> (дата обращения: 02.12.2021).

### References

1. *Vooruzhennye sily RF = The Armed Forces of the Russian Federation.* (In Russ.). Available at: <https://structure.mil.ru/structure/forces/type.htm> (accessed 16.11.2021).
2. Sinyukov V.V., Shipko Yu.V., Erin O.L. Analysis of approaches for attributing technical devices to military measuring instruments. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika = Aerospace forces. Theory and practice.* 2018;(6):102–111. (In Russ.)
3. Gusenitsa Ya.N., Kravtsov A.N., Malakhov A.V. Method of assessing the impact of metrological support on the effectiveness of the use of weapons, military and special equipment. *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli = High-tech technologies in space research of the Earth.* 2017;(5):33–41. (In Russ.)
4. Leont'ev A.G., Kotovich V.V., Kuznetsov D.A. *Metrologicheskie komplekсы voennogo naznacheniya: ucheb. posobie = Metrological complexes for military purposes : a textbook.* Saint Petersburg, 2010:269. (In Russ.)
5. *Noveyshaya tekhnika i vooruzheniya: chem armiya smozhet zashchitit' Rossiyu = The latest equipment and weapons: how the army will be able to protect Russia.* (In Russ.). Available at: <https://ria.ru/20200223/1565111582.html> (accessed 01.12.2021).
6. Arslanov Kh.A. The communication and control system in the Armed Forces of the Russian Federation is built on the basis of the latest achievements of science and technology. *Minoborony Rossii = Ministry of Defense of Russia.* (In Russ.). Available at: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12200524%40cmsArticle](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12200524%40cmsArticle) (accessed 16.11.2021).
7. Afanas'ev A.S., Matyukhin D.V. Realities of the modern way of development of military radio electronics. *Vooruzhenie i ekonomika. Elektronnyy nauchnyy zhurnal =*

- Armament and economy. Electronic scientific journal.* 2021;(3):35–44. (In Russ.). Available at: <http://www.viek.ru>
8. *Voyska TsVO poluchili bolee 400 sotovykh telefonov povyshennoy zashchishchennosti i apparatov rezhimnoy svyazi = The Central Military District troops received more than 400 high-security cell phones and high-security communication devices.* (In Russ.). Available at: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12257310@egNews](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12257310@egNews) (accessed 16.11.2021).
  9. *Voennye svyazisty iz vos'mi stran proveli pervye trenirovki pered startom mezhdunarodnogo etapa konkursa «Uverenny priem» = Military signalmen from eight countries conducted the first training sessions before the start of the international stage of the "Confident Reception" competition.* (In Russ.). Available at: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12378059@egNews](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12378059@egNews) (accessed 16.11.2021).
  10. Met'yus M. Fiber-optic solutions of increased stability in military systems. *Vestnik elektroniki = Bulletin of Electronics.* 2015;(2):6–8. (In Russ.)
  11. Murashkina T.I., Badeeva E.A. *Volokonno-opticheskie pribory i sistemy: nauchnye razrabotki NTTs «Nanotekhnologii volokonno-opticheskikh sistem» Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta. Chast' I = Fiber-optic devices and systems: scientific developments of the Scientific Research Center "Nanotechnologies of fiber-optic systems" of Penza State University. Part I.* Saint Petersburg, 2018:187. (In Russ.)
  12. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Badeev A.V. *Mikro-optiko-mekhanicheskie sistemy volokonno-opticheskikh datchikov davleniya: monografiya = Micro-optical-mechanical systems of fiber-optic pressure sensors : monograph.* Penza: Izd-vo PGU, 2020:268. (In Russ.)
  13. Polyakova E.A., Badeeva E.A., Murashkina T.I. [et al.]. Improving the technical characteristics of fiber-optic measuring converters. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2020;(1):126–135. (In Russ.)
  14. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Polyakova E.A. The implementation of the principle of two-nality in fiber-optic information and measurement systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = News of higher educational institutions. Volga region.* 2021;(2):87–98. (In Russ.)
  15. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Meshcheryakov V.A. Fiber-optic pressure sensors of reflective type for aircraft. *Datchiki i sistemy = Sensors and systems.* 2001;(9):14–18. (In Russ.)
  16. *Natsional'naya programma «Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii» = National program "Digital Economy of the Russian Federation".* (In Russ.). Available at: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/> (accessed 02.12.2021).
  17. *Rossiyskoe opticheskoe volokno. Prostymi slovami o slozhnom proizvodstve = Russian optical fiber. In simple words about complex production.* (In Russ.). Available at: <https://vols.expert/useful-information/rossiyskoe-opticheskoe-volokno-prostyimi-slovami-o-slozhnom-proizvodstve/> (accessed 02.12.2021).
  18. *Sami my mestnye: kak proizvodyat optovolokno v Rossii = We are local ourselves: how optical fiber is produced in Russia.* (In Russ.). Available at: [https://incrussia.ru/specials/optovolokno\\_v\\_rossii/](https://incrussia.ru/specials/optovolokno_v_rossii/) (accessed 02.12.2021).
  19. *«Optikovolokonnye Sistemy» osvoili 5 tipov opticheskogo volokna za 5 let = "Optical Fiber Systems" have mastered 5 types of optical fiber in 5 years.* (In Russ.). Available at: <https://rusfiber.ru/press-tsenter/news/news-98-texnicheskij-zapusk.html> (accessed 02.12.2021).
  20. *Rossiyskie proizvoditeli opticheskikh kabeley = Russian manufacturers of optical cables.* (In Russ.). Available at: <https://fabricators.ru/produkt/opticheskie-kabelya> (accessed 02.12.2021).
  21. *GOST 2.761–84 ESKD. Oboznacheniya uslovnye graficheskie v skhemakh. Komponenty volokonno-opticheskikh sistem peredachi = GOST 2.761-84ESKD. Conventional*

- graphic designations in diagrams. Components of fiber-optic transmission systems.* (In Russ.). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200007019> (accessed 02.12.2021).
22. *GOST R 59088–2020. Optika i fotonika. Datchiki volokonno-opticheskie. Klassifikatsiya = GOST R 59088-2020. Optics and photonics. Fiber-optic sensors. Classification.* (In Russ.). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/566108851> (accessed 02.12.2021).
  23. *Preobrazovateli izmeritel'nye volokonno-opticheskikh datchikov. Obshchie tekhnicheskies usloviya: gosudarstvennyy voennyi standart GOST RV 6040-001-2007: vveden v pervyye: vveden 2008-07-01 = Measuring transducers of fiber-optic sensors. General technical conditions: state military standard GOST RV 6040-001-2007: introduced for the first time: introduced 2008-07-01.* Moscow: Standartinform, 2008:45. (In Russ.)
  24. *GOST RV 50899–96. Seti sbora dannykh volokonno-opticheskie na osnove volokonno-opticheskikh datchikov. Obshchie trebovaniya = GOST RV 50899-96. Fiber-optic data collection networks based on fiber-optic sensors. General requirements.* Moscow: Izd-vo standartov, 1997:117. (In Russ.)
  25. *GOST RV 51949–2002 «Komponenty volokonno-opticheskikh sistem peredachi. Obshchie tekhnicheskies usloviya»: [prinyato i vvedeno v deystvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 29 maya 2018 g. № 23-st; data vvedeniya 01.01.2019] = GOST RV 51949-2002 "Components of fiber-optic transmission systems. General technical conditions": [adopted and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated May 29, 2018 No. 23-st; date of introduction 01.01.2019].* Moscow: Standartinform, 2018:6. (In Russ.)
  26. *GOST R 57562–2017. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Sistemy okhrany optiko-volokonnye. Terminy i opredeleniya. Fiber-optic security system. Terms and definitions. OKS 13.320. Data vvedeniya 01.06.2018 = GOST R 57562-2017. National Standard of the Russian Federation. Fiber-optic security systems. Terms and definitions. Fiber-optic security system. Terms and definitions. OKS 13.320. Date of introduction 01.06.2018.* (In Russ.). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200146360> (accessed 02.12.2021).
  27. *Kompleks «VOLK», volokonno-opticheskaya liniya kontrolya = Complex "WOLF", fiber-optic control line.* (In Russ.). Available at: <https://www.arms-expo.ru/armament/samples/1782/84293/> (accessed 02.12.2021).
  28. *Rukovodstvo po primeneniyu sistemy okhrany perimetra SOKOL dlya ob'ektov voennogo i spetsial'nogo naznacheniya. Federal'nyy informatsionnyy fond otechestvennykh i inostrannykh katalogov na promyshlennuyu produkciyu = Guidelines for the use of the SOKOL perimeter security system for military and special purpose facilities. Federal Information Fund of Domestic and Foreign catalogs for industrial products.* Moscow, 2013:37. (In Russ.)
  29. *Rekomendatsii po ispol'zovaniyu tekhnicheskikh sredstv obnaruzheniya, osnovannykh na razlichnykh fizicheskikh printsipakh, dlya okhrany ograzhdennykh territoriy i otkrytykh ploshchadok = Recommendations on the use of technical means of detection based on various physical principles for the protection of fenced areas and open areas.* Moscow: FKU «NITs «Okhrana» Rosgvardii; Saratov: Amirit, 2017:110. (In Russ.)
  30. *O vneshney razvedke: feder. zakon № 5-FZ ot 10 yanvarya 1996 g. = About foreign intelligence: feder. Law No. 5-FZ of January 10, 1996.* (In Russ.). Available at: <https://base.garant.ru/10135745/> (accessed 02.12.2021).
  31. *Ob operativno-rozysknoy deyatel'nosti: feder. zakon № 144-FZ ot 12 avgusta 1995 g. = On operational investigative activities : feder. Law No. 144-FZ of August 12, 1995.* (In Russ.). Available at: <https://base.garant.ru/10104229/> (accessed 02.12.2021).

32. Grishachev V.V. Photonics in information security and protection systems. *Fotonika = Photonics*. 2011;(6):58–63. (In Russ.)
33. *Tekhnicheskie kharakteristiki sredstv opticheskoy razvedki = Technical characteristics of optical reconnaissance equipment*. (In Russ.). Available at: [https://studopedia.ru/7\\_139956\\_tekhnicheskie-kharakteristiki-sredstv-opticheskoy-razvedki.html](https://studopedia.ru/7_139956_tekhnicheskie-kharakteristiki-sredstv-opticheskoy-razvedki.html) (accessed 02.12.2021).
34. Titov A.A. *Tekhnicheskie sredstva zashchity informatsii: ucheb. posobie = Technical means of information protection : a textbook*. Tomsk: Tomsk. gos. un-t sistem upravleniya i radioelektroniki, 2010:77. (In Russ.)
35. Grechishnikov V.M. *Skhemotekhnika volokonno-opticheskikh ustroystv: ucheb. posobie = Circuitry of fiber-optic devices : a textbook*. Samara: Izd-vo Samarsk. un-ta, 2018:72. (In Russ.)
36. Elyushkin V.G., Dolgov E.I., Vdovin V.S. Topogeodetic and navigation support of troops: issues of reform. *Voennaya mysl' = Military thought*. 2000;(4):34–39. (In Russ.)
37. Gorokhov S.L. Fiber-optic gyroscopes (review). *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Bulletin of information technologies, Mechanics and optics*. 2005;(20):60–67. (In Russ.)
38. Matrekhin D.A., Tynnyka A.N. Simple scheme of fiber-optic angular velocity sensor. *Izvestiya Vuzov. Priborostroenie = News of Universities. Instrumentation*. 2019;62(2):117–122. (In Russ.)
39. Koptenkov M.I. Fundamentals of designing measuring devices based on a fiber-optic gyroscope. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik = MGUL Bulletin – Forest Bulletin*. 2015;(3):63–70. (In Russ.)
40. Rebrov A.S., Utenkov A.Yu. New element base of modern guidance systems. *Priortetnye nauchnye napravleniya: ot teorii k praktike = Priority scientific directions: from theory to practice*. 2016;(25-1):166–171. (In Russ.)
41. *Razrabotka uchenykh Voennoy akademii RVSN na mezhdunarodnoy vystavke «Interpolitech-2011» poluchila spetsial'nyy priz = The development of scientists of the Military Academy of the Strategic Missile Forces at the international exhibition "Interpolitech-2011" received a special prize*. (In Russ.). Available at: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=10766901@egNews](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=10766901@egNews) (accessed 02.12.2021).
42. *Ministr oborony Rossii general armii Sergey Shoygu osmotrel ekspozitsii inostrannykh gosudarstv na forume «Armiya-2017» = The Minister of defence of the Russian Federation General of the army Sergei Shoigu inspected the exhibition of foreign States on the forum "Army-2017"*. (In Russ.). Available at: [https://function.mil.ru/news\\_page/country/more.htm?id=12139542\\_%40egNews&\\_print=true](https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12139542_%40egNews&_print=true) (accessed 02.12.2021).
43. Mitrofanov A. *Distsionno upravlyaemye komplekсы: avtomatizirovannyye ognevye tochki = Remote control complexes: automated gun emplacements*. (In Russ.). Available at: <https://topwar.ru/154236-distancionno-upravlyaemye-komplekсы-avtomatizirovannyye-ognevye-tochki.html> (accessed 02.12.2021).
44. Domanikov M.G., Ryabov M.V., Pikalov A.A. Ground-based remote-controlled combat modules. Basic definitions and classification features. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki = News of TulSU. Technical sciences*. 2017;(12-3):52–60. (In Russ.)
45. Solov'ev D.V., Frolkov V.N. Control systems based on optical fiber. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Bulletin of information Technologies, Mechanics and Optics*. 2007;(44):129–133. (In Russ.)
46. Eliseev O.V., Solov'ev D.V., Frolkov V.N., Gatchin Yu.A. Prospects for the use of optical fiber in control systems. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2007;(40):189–193. (In Russ.)

47. *GOST RV 8.560-95. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Sredstva izmereniy voennogo naznacheniya. Ispytaniya i utverzhdenie tipa. Gosstandart Rossii = GOST RV 8.560-95. The state system of ensuring the uniformity of measurements. Measuring instruments for military purposes. Type testing and approval. Gosstandart of Russia.* Moscow, 1995:31. (In Russ.)
48. Fiber-optic measuring channels for automated control and management systems. *ISUP*. 2018;(4). (In Russ.). Available at: <https://isup.ru/articles/45/13270/> (accessed 02.12.2021).

**Информация об авторах / Information about the authors**

**Елена Александровна Бадеева**

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры радиотехники  
и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: badeeva\_elena@mail.ru

**Elena A. Badeeva**

Doctor of technical sciences,  
associate professor, professor  
of the sub-department of radio engineering  
and radio electronic systems,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Кирилл Дмитриевич Целикин**

студент,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: kdts777@yandex.ru

**Kirill D. Tselikin**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Артем Геннадьевич Кабанов**

студент,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: kaban300699@mail.ru

**Artem G. Kabanov**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Георгий Сергеевич Куклин**

студент,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: kuklingeorg@mail.ru

**Georgiy S. Kuklin**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 06.10.2021**

**Поступила после рецензирования/Revised 03.12.2021**

**Принята к публикации/Accepted 17.12.2021**