

# ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ И СИСТЕМ / RESEARCH AND DEVELOPMENT OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT AND SYSTEMS

DOI: 10.21778/2413-9599-2020-30-4-8-13

УДК 621.39; 629.05; 629.735

## Построение бортовых информационных сетей с использованием волоконно-оптических кабелей

**В.А. Андреев<sup>1</sup>, А.В. Бурдин<sup>1, 2</sup>, В.А. Бурдин<sup>1</sup>**<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, Россия<sup>2</sup> АО «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия

**Постановка проблемы.** В последние годы проблема замены медножильных бортовых кабелей оптическими волокнами стала особенно актуальной. Это обусловлено двумя факторами: во-первых, перспективой внедрения беспилотных аппаратов и разработкой электромагнитного оружия на базе СВЧ-установок, способных выводить из строя электронное оборудование практически любой цели на расстоянии до 10 км и более, во-вторых, ростом потребности в уменьшении задержек передаваемых сигналов на сети и увеличении объемов передаваемой в этих сетях информации. В статье описано построение бортовых кабельных сетей с использованием волоконно-оптических кабелей. Отмечается преимущество и недостатки построения бортовых сетей с их использованием.

**Цель.** Разработка решений по использованию волоконно-оптических кабелей связи в бортовых информационных сетях, обеспечивающих высокую технологичность прокладки оптических кабелей, требуемую скорость передачи информации, удобство в эксплуатации и модернизацию информационных сетей.

**Результаты.** Предлагается комплексное решение построения бортовых информационных сетей на основе волоконно-оптических кабелей с оптическими волокнами, имеющими увеличенный диаметр сердцевины, и оптимизированным профилем показателя преломления, проложенных в трубопроводах с использованием технологии пневмопрокладки.

**Практическая значимость.** Предлагаемое комплексное решение для бортовых волоконно-оптических информационных сетей, включающее способ прокладки оптических кабелей на борту, применение специально разработанного оптического волокна с увеличенным диаметром сердцевины и уменьшенной дифференциальной модовой задержкой и разработку телекоммуникационного оборудования модульного типа, позволяет удовлетворить предъявляемым к бортовым сетям требованиям по обеспечению надежности и безопасности, экономической эффективности, снижению трудоемкости, а также удобству обслуживания, демонтажа и замены компонентов.

**Ключевые слова:** бортовые кабели, многомодовые оптические волокна, бортовые сети, прокладка волоконно-оптических кабелей, защитные трубопроводы, пневмопрокладка

Для цитирования:

Андреев В.А., Бурдин А.В., Бурдин В.А. Построение бортовых информационных сетей с использованием волоконно-оптических кабелей // Радиопромышленность. 2020. Т. 30, № 4. С. 8–13. DOI: 10.21778/2413-9599-2020-30-4-8-13

© Андреев В.А., Бурдин А.В., Бурдин В.А., 2020



# Comprehensive solution for onboard fiber-optic information networks

V.A. Andreev<sup>1</sup>, A.V. Bourdine<sup>1,2</sup>, V.A. Burdin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

<sup>2</sup> S.I. Vavilov State Optical Institute, Saint Petersburg, Russia

**Problem statement.** In recent years, the problem of replacing copper-core fiber-optic cables has become particularly relevant. This is due to two factors: first, the prospect of introducing unmanned vehicles and the development of electromagnetic microwave weapons that can disable electronic equipment for almost any target at a distance of 10 km or more, and second, the growing need to reduce the delay of transmitted signals on the network and increase the volume of information transmitted in these networks. The article describes the construction of onboard cable networks using fiber-optic cables. The advantages and disadvantages of fiber-optic based onboard networks are described.

**Objective.** Development of solutions for the use of fiber-optic communication cables in onboard information networks that provide high technology for laying optical cables, the required speed of information transmission, ease of operation and modernization of information networks.

**Results.** A comprehensive solution for building onboard information networks based on fiber-optic cables having an increased core diameter and an optimized refractive index profile in pipelines using pneumatic laying technology is proposed.

**Practical implications.** The proposed integrated solution for onboard fiber-optic information networks, including a method for onboard laying optical cables, the use of specially developed optical fiber with an increased core diameter and reduced differential modal delay, and the development of modular telecommunications equipment, allows meeting the requirements for onboard networks to ensure reliability and safety, economic efficiency, reduce labor intensity, and ease of maintenance, components dismantling and replacement.

**Keywords:** onboard cables, multimode optic fibers, onboard networks, fiber-optic cable laying, protective pipelines, pneumatic laying

*For citation:*

Andreev V. A., Bourdine A. V., Burdin V. A. Comprehensive solution for onboard fiber-optic information networks. Radio industry (Russia), 2020, vol. 30, no. 4, pp. 8–13. (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2020-30-4-8-13

## Введение

Задача замены медножильных кабелей бортовых информационных сетей на оптические волокна была актуальна практически с этапа разработки оптических волокон с приемлемыми потерями. Так, еще до ввода в эксплуатацию в мае 1977 года в Чикаго Bell System – первой волоконно-оптической линии связи между телефонными станциями – в 1973 году Военно-морские силы США внедрили волоконно-оптическую линию на борту корабля Little Rock [1, 2]. А в 1976 г. в рамках программы ALOFI Военно-воздушные силы заменили кабельную оснастку самолета A-7 (Ling-Temco-Vought A-7 Corsair II) на волоконно-оптическую [1]. При этом вес информационных изделий уменьшился более чем в 20 раз (с 40 кг до 1,7 кг).

Интерес к данной проблеме сохраняется и сейчас. Причем в последние годы проблема замены медножильных бортовых кабелей оптическими волокнами стала особенно актуальной. Это обусловлено двумя факторами. Во-первых, перспективой внедрения беспилотных аппаратов и разработкой электромагнитного оружия на базе СВЧ-установок, способных выводить из строя электронное оборудование практически любой цели на расстоянии 10 км и более. Эффективность воздействия такого

оружия вынуждены были оценить моряки эсминца Donald Cook, не имевшие возможности включить систему «Иджис» (Aegis) из-за действий российского Су-24 с комплексом радиоэлектронной борьбы «Хибины» [3]. Даже несмотря на экранирование, возможен выход из строя бортовых электронных систем при действии электромагнитного импульса (ЭМИ). При этом именно металлические проводники кабелей являются тем путем, по которому ЭМИ поступает к электронной аппаратуре. Соответственно, кардинальным средством защиты бортовой электроники от ЭМИ является замена кабелей с металлическими проводниками на волоконно-оптические.

Отказ электронного оборудования под действием ЭМИ делает борт неуправляемым. И если наземный транспорт, плавсредства при воздействии ЭМИ только теряют управление, сохраняя живучесть, то для летательных аппаратов такое воздействие связано с потерей живучести. Неуправляемый летательный аппарат не может держаться в воздухе. Сегодня беспилотные летательные аппараты (БЛА) поставлены на вооружение и все шире применяются как для разведки, так и для атаки на объекты противника. Основным средством защиты от действий БЛА являются средства радиоэлектронной

борьбы. Неслучайно, по оценкам экспертов, беспилотные авиационные системы – самый быстрорастущий рынок военной продукции для волоконной оптики [3]. Согласно прогнозу исследовательского агентства Forecast International, объем мирового рынка БЛА за период 2015–2024 гг. достигнет уровня чуть менее 71 млрд долл. США. Системы fly-by-light (управления полетом по оптоволокну) обсуждались годами, но воплотятся в жизнь в первую очередь благодаря применению на борту БЛА [3].

Следует отметить, что тенденции изменения электромагнитной обстановки, в частности в условиях города и промышленных предприятий, делают актуальной задачу защиты от электромагнитных воздействий и для наземного транспорта, особенно для беспилотных средств передвижения. Увеличение числа различных электронных устройств приводит к увеличению числа электрических цепей бортовых кабельных сетей. Увеличение плотности размещения электронных устройств и цепей кабельных сетей приводит к необходимости решения задачи электромагнитной совместимости различного оборудования и проводных кабельных сетей.

И наконец, вторым фактором, определяющим необходимость перехода к бортовым волоконно-оптическим сетям, является рост потребности в уменьшении задержек передаваемых сигналов на сети и увеличении объемов передаваемой в этих сетях информации. Развитие и совершенствование бортового радиоэлектронного оборудования современных транспортных средств характеризуются широким внедрением информационно-телекоммуникационных технологий. Бортовые сети таких систем, с одной стороны, должны удовлетворять требованиям, касающимся минимизации средних задержек при передаче управляющих команд, с другой стороны, должны обеспечивать передачу по сети исходных видеопотоков на скоростях до десятков Гбит/с без сжатия и с минимальными задержками [4]. Уменьшение средних задержек передачи информации необходимо для обеспечения точности в навигации и управлении радиоэлектронных комплексов. Минимизация времени задержки передаваемой информации необходима также и при передаче видеопотоков без сжатия для обеспечения быстрой обработки видеосигнала и, как следствие, устойчивой работы телевизионной автоматики, обеспечивающей высокую точность привязки целей к координатам в движении.

Вышеперечисленные требования были сформулированы [4] для бортовой сети летательных аппаратов, однако, как показывают тенденции развития современного транспорта, им должны соответствовать бортовые сети и других транспортных средств, в частности автомобилей [5]. Особенно это касается беспилотных аппаратов.

### **Проблемы внедрения волоконной оптики на бортовых сетях и предлагаемое решение**

В настоящее время для построения информационно-телекоммуникационной инфраструктуры бортовых сетей используются следующие стандарты [4]: ARINC664 «Информационные сети летательных аппаратов» и ARINC818 «Цифровой видеоинтерфейс авиационного радиоэлектронного оборудования с высокой скоростью передачи данных». Стандарт ARINC664 построен на базе стандарта IEEE802.3, в основу которого положен протокол AFDX (авиационный полнодуплексный коммутируемый Ethernet). Стандарт ARINC818 ориентирован на передачу несжатого цифрового видео с высокой пропускной способностью и низким временем задержки с использованием оптических волокон. При этом обеспечивается скорость передачи 2,125 Гбит/с. Данный стандарт допускает использование и симметричных витых пар при скорости 1,0625 Гбит/с.

Таким образом, можно отметить основные преимущества волоконно-оптических бортовых сетей перед сетями на основе многожильных кабелей с металлическими проводниками:

- нечувствительность к воздействию электромагнитных импульсов и высокочастотных помех и, как следствие, высокая надежность передачи данных и повышение живучести борта;
- снижение требований по экранированию позволяет упростить задачу размещения оборудования на борту, увеличить долю композиционных материалов в составе корпуса транспортного средства и комплектующих и тем самым уменьшить его массу и стоимость;
- высокая пропускная способность, которую не могут обеспечить симметричные или коаксиальные кабели;
- уменьшение массы и простота конструкции волоконно-оптического кабеля.

Однако, несмотря на столь значимое преимущество, бортовые информационные сети на транспорте до сих пор полностью не перешли на волоконную оптику. В качестве одного из факторов, тормозящих процессы внедрения бортовых волоконно-оптических сетей, помимо организационных проблем эксперты отмечают недоверие специалистов к надежной работе оптического волокна в условиях повышенных нагрузок на борту.

Недоверие к устойчивости оптических волокон к внешним воздействиям пыли, влаги, вибрации, температуры и т. д. на борту может вызвать сомнение в том, возможно ли обеспечить надежность и безопасность функционирования сети. Неслучайно предлагаемая для бортовых медиа сетей автомобилей технология MOST рекомендует применение

лишь полимерных оптических волокон [5]. Недоверие к надежности оптического волокна может вызывать вопросы о возможности его ремонта и восстановлении бортовой кабельной сети. Кроме того, существенные отличия соединений оптических волокон от проводников могут вызывать недоверие к технологиям сращивания оптических волокон.

Распространенные в настоящее время способы прокладки бортовых кабелей требуют доступа к месту укладки кабеля. Как следствие, замена поврежденного кабеля в этом случае требует, как правило, демонтажа оборудования борта и связана со значительными трудозатратами, в частности при прокладке кабелей на судне с герметичными отсеками. Естественно, что чем меньше стойкость кабеля к внешним воздействиям, тем меньше срок службы кабеля и, как следствие, меньше период регламентных работ по замене кабеля и больше трудоемкость. Особенно проблемной полагают эксплуатацию оптических разъемов в условиях повышенной вибрации, колебаниях температуры, высокой концентрации пыли и влаги [3, 6].

Вместе с тем, испытания комплектов оборудования с многомодовым оптическим волокном 50/125 мкм и 62,5/125 мкм под вибрационной нагрузкой, при воздействии термоциклов и т.д. продемонстрировали их высокую надежность и стойкость к внешним воздействиям [7]. Но, как известно, дальность передачи по стандартным многомодовым оптическим волокнам при скорости более 1,0 Гбит/с ограничена дифференциальной модовой задержкой. Так, согласно упомянутому ранее стандарту ARINC818 при радиусах покрытия сети менее 500 м допускается использовать бортовые кабели с многомодовым оптическим волокном на длинах волн около 0,85 мкм. Для сетей с радиусом покрытия до 10 км рекомендуется применение одномодового волокна в диапазоне длин волн 1260–1360 нм. Площадь сечения сердцевин стандартного ступенчатого одномодового оптического волокна более чем в 25 раз меньше площади сечения стандартного многомодового оптического волокна с диаметром сердцевин 50 мкм или 62,5 мкм. Как следствие, при тех же допусках их надежность в условиях повышенных вибрационных и температурных воздействий, высокой концентрации пыли, влаги и т.п. значительно ниже.

Естественно, что требования по надежности предъявляются к бортовой сети в целом, что требует стойкости к внешним воздействиям всех блоков аппаратуры, непрерывного мониторинга параметров каналов в штатном режиме и управления на его основе сетью для обеспечения резервирования оптических волокон и блоков телекоммуникационного оборудования.

В данной работе рассмотрено комплексное решение для бортовых волоконно-оптических

кабельных систем, учитывающее вышеперечисленные проблемы. Решение основано на использовании альтернативного способа прокладки на борту оптического кабеля с многомодовыми оптическими волокнами, имеющими увеличенный диаметр сердцевин, с оптимизированным профилем показателя преломления, обеспечивающим высокую скорость передачи информации. Основные положения предлагаемого решения обсуждались на состоявшейся в конце 2019 г. конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях» [8].

### **Способ прокладки бортовых оптических кабелей**

Предлагается прокладывать оптические кабели в герметизированных кабелепроводах. Для этого на борту по заданным маршрутам прокладываются полимерные или металлические трубопроводы. После того как все оборудование на борту смонтировано, в трубопроводы «задуваются» оптические микрокабели. При такой последовательности монтажа оборудования на борту и прокладки оптического кабеля практически исключается влияние человеческого фактора. При этом способе прокладки оптический кабель с избыточностью свободно укладывается в кабелепровод, который обеспечивает надежную защиту оптических волокон от колебания температуры, вибрации и других механических воздействий. Данный способ позволяет обеспечить герметичность всей информационной оптической сети. Для этого герметичные защитные трубопроводы вводятся непосредственно в герметичные корпуса оборудования, в которых размещаются оптические разъемы. Если возникает необходимость замены оптического кабеля, то это можно сделать без демонтажа бортового оборудования путем простого извлечения оптического кабеля из кабелепровода и задувки нового оптического кабеля. При этом оптические волокна кабеля предварительно могут быть оконцованы требуемыми разъемами, и задувка кабеля, если правильно выбрать геометрические размеры кабелепровода, может производиться с оконцованными оптическими волокнами. Как следствие, данный способ обслуживания кабельной информационной сети снижает трудоемкость ее ремонта и позволяет легко ее модернизировать.

Технология пневмопрокладки достаточно давно известна и отработана. При пневмопрокладке оптических волокон или модульных трубок с оптическими волокнами в микротрубки с внутренним диаметром 10 мм возможна прокладка до 1000 м на одном пролете, а для тяжелых жестких кабелей эта величина достигает 2000 м [9, 10]. Здесь следует отметить, что данным способом могут быть уложены и кабели питания.

### Новое специальное оптическое волокно с увеличенным диаметром сердцевины

Одним из сдерживающих факторов использования оптических волокон в информационных бортовых сетях является сложность обеспечения надежного соединения оптических волокон с бортовым оборудованием. Для решения этой проблемы предлагается использовать оптические волокна с увеличенным диаметром сердцевины 100 мкм. При таком диаметре сердцевины удастся сохранить принятые стандарты величины диаметра оболочки (125 мкм) и диаметра волокна (250 мкм). В этом случае можно использовать стандартные оптические разъемы. Увеличенный диаметр сердцевины оптического волокна позволяет получить надежное соединение, обеспечивающее малое затухание в месте соединения.

Для обеспечения высокой скорости передачи информации по многомодовым волокнам с увеличенным диаметром сердцевины авторами разработан способ оптимизации профиля показателя преломления с целью уменьшения дифференциальной модовой задержки многомодового оптического волокна [11]. На основе данного способа рассчитан профиль показателя преломления и изготовлено оптическое волокно с диаметром сердцевины 100 мкм и профилем показателя преломления, обеспечивающим уменьшение дифференциальной модовой задержки по сравнению со стандартным многомодовым волокном с диаметром сердцевины 50 мкм более чем на 20%.

Экспериментальные исследования на изготовленных образцах показали возможность передачи информационных потоков со скоростью 1 Гбит/с на расстояние до 10 км и со скоростью 10 Гбит/с на расстояние не менее 300 м. Следовательно, данное волокно может быть использовано в высокоскоростных бортовых сетях вместо одномодовых оптических волокон. Так как площадь поперечного сечения сердцевины данного волокна более чем в 100 раз превышает площадь сечения стандартного оптического волокна и в 2,5–4 раза – сечение стандартного многомодового оптического волокна, при соединении оптических волокон разъемные соединения обеспечивают существенно более высокую надежность и меньшее затухание.

В этом случае можно крепить сплайс-пластины со сварными соединениями линейных волокон с оконцованными в заводских условиях пигтейлами вместе с печатными платами, повышая надежность и качество разъемов и упрощая монтаж на борту.

Если же внутри герметичных корпусов оборудования платы электронного оборудования, включая платы с разъемами, крепить на подложках из виброгасящего материала, то весь вышеперечисленный комплекс мероприятий полностью обеспечит требуемую защиту от внешних воздействий бортовой кабельной сети в целом.

### Новое бортовое телекоммуникационное оборудование модульного типа

Для передачи информационных потоков по бортовой информационной сети предлагается новое телекоммуникационное оборудование модульного типа, в котором используется технология синхронной цифровой иерархии (SDH), которая позволяет простым и недорогим способом реализовать непрерывный мониторинг информационной сети, а также организовать управление сетью. Данное оборудование реализовано в виде набора типовых модулей, которые связаны между собой оптическими волокнами. Взаимное расположение таких модулей может быть произвольным. В предлагаемом оборудовании используются не специализированные микросхемы, а программируемая логика. Это позволило ограничить набор типовых модулей с сохранением всех функциональных возможностей оборудования за счет использования специального программного обеспечения (ПО). Использование программируемой логики и собственного ПО, написанного на языке низкого уровня, обеспечивает высокую надежность и защищенность оборудования и сети в целом. Данный подход позволяет перейти от 12-слойных плат к платам с 4–6 слоями, что позволяет снизить стоимость оборудования и повысить его надежность и стойкость к вибрации.

### Выводы

Можно заключить, что предлагаемое комплексное решение для бортовых волоконно-оптических информационных сетей, включающее способ прокладки оптических кабелей на борту, применение специально разработанного оптического волокна с увеличенным диаметром сердцевины и уменьшенной дифференциальной модовой задержкой и разработку телекоммуникационного оборудования модульного типа, позволяет удовлетворить предъявляемым к бортовым сетям требованиям по обеспечению надежности и безопасности, экономической эффективности, снижения трудоемкости, а также удобства обслуживания, демонтажа и замены компонентов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Sterling Ch.H.* Military Communications: From Ancient Times to the 21st Century. ABC–CLIO, 2007. 565 p.
2. *Hecht J.* City of Light: The Story of Fiber Optics. Oxford Univ. Press, 2004. 351 p.
3. *Репин А.В.* Волоконная оптика в авиации: наступившее завтра [Электронный ресурс] // Национальная оборона. 2016. № 1. URL: <http://www.oborona.ru/includes/periodics/defense/2016/0118/143817620/detail.shtml> (дата обращения: 29.09.2020).

4. Никульский И. Е., Овчарова Л. В., Кротов А. В. Особенности построения информационно-телекоммуникационных сетей на борту современных летательных аппаратов // *Информация и Космос*. 2014. № 2. С. 6–11.
5. Perlicki K., Wilczewski G. Fiber optics transmission for vehicle applications // *Measurement Automation Monitoring*, 2015, vol. 61(3), pp. 81–83.
6. Репин В., Шеховцева В. Что нужно знать о волоконной оптике? // *Алгоритм безопасности*. 2005. № 4. С. 50–55.
7. Logan Jr. R. T., Basuita D. Multi-gigabit photonic transceivers for SpaceFibre data networks // *7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS)*, 2017, pp.1–10. DOI: 10.13009/EUCASS2017–677.
8. Андреев В. А., Бурдин А. В., Бурдин В. А. Комплексное решение для бортовых волоконно-оптических информационных сетей // *Материалы XVIII Международной научно-технической конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях» (ОТТ-2019)*. Казань, 2019. С. 21–24.
9. Гриффен В. Прокладка оптических кабелей в трубах. Plumettaz SA, 1993. 138 p.
10. Гаскевич Е., Петренко И. Микротрубочная канализация для сетей FTTH в районах индивидуального жилья // *Первая милья*. 2012. № 4. С. 16–29.
11. Патент RU2458370 С2 Российская Федерация, МПК G02B6/14. Способ уменьшения дифференциальной модовой задержки многомодового оптического волокна / А. В. Бурдин, В. А. Бурдин, О. Р. Дельмухаметов. Заявл. 27.09.10. Опубл. 10.18.12. 10 с.

## REFERENCES

1. Sterling Ch. H. *Military Communications: From Ancient Times to the 21st Century*. ABC–CLIO, 2007. 565 p.
2. Hecht J. *City of Light: The Story of Fiber Optics*. Oxford Univ. Press, 2004. 351 p.
3. Repin A. V. [Fiber optics in aviation: the future is now]. *Natsionalnaya oborona*, 2016, no. 1. (In Russian). Available at: <http://www.oborona.ru/includes/periodics/defense/2016/0118/143817620/detail.shtml> (accessed 29.09.2020).
4. Nikulskii I. E., Ovcharova L. V., Krotov A. V. Features of building information and telecommunications networks onboard the modern aircraft. *Informatsiya i Kosmos*, 2014, no. 2, pp. 6–11. (In Russian).
5. Perlicki K., Wilczewski G. Fiber optics transmission for vehicle applications. *Measurement Automation Monitoring*, 2015, vol. 61(3), pp. 81–83.
6. Repin V., Shekhovtseva V. What do you need to know about fiber optics? *Algoritm bezopasnosti*, 2005, no. 4, pp. 50–55. (In Russian).
7. Logan Jr. R. T., Basuita D. Multi-gigabit photonic transceivers for SpaceFibre data networks. In: *7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS)*, 2017, pp. 1–10. DOI: 10.13009/EUCASS2017–677.
8. Andreev V. A., Burdin A. V., Burdin V. A. Complete solution for onboard fiber-optic information networks. In: *Materialy XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Opticheskie tekhnologii v telekommunikatsiyakh» (OTT-2019)* [Proceedings of the 18th International Scientific and Technical Conference “Optical technologies in telecommunications” (OTT-2019)]. Kazan, 2019, pp. 21–24. (In Russian).
9. Griffen V. *Prokladka opticheskikh kabelei v trubkakh* [Laying of optical cables in tubes]. Plumettaz SA Publ., 1993. 138 p. (In Russian).
10. Gaskevich E., Petrenko I. Microtubular sewerage for FTTH networks in individual housing areas. *Pervaya milya*, 2012, no. 4, pp. 16–29. (In Russian).
11. Patent RF no. RU2458370 S2, МПК G02B6/14. *Sposob umensheniya differentsial'noi modovoi zaderzhki mnogomodovogo opticheskogo volokna* [Method for reducing the differential modal delay of a multimode optic fiber]. A. V. Burdin, V. A. Burdin, O. R. Delmukhametov, declared 27.09.10. published 10.18.12, 10 p. (In Russian).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Андреев Владимир Александрович**, д. т. н., президент, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 443010, Самара, ул. Л. Толстого, д. 23, тел.: +7 (902) 375-77-44, e-mail: andreev@psati.ru.  
**Бурдин Антон Владимирович**, д. т. н., профессор кафедры «Линии связи и измерения в технике связи», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 443010, Самара, ул. Л. Толстого, д. 23; зам. генерального директора, АО «Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова», 192171, Санкт-Петербург, ул. Бабушкина, д. 36, к. 1, тел.: +7 (927) 653-13-44, e-mail: bourdine@yandex.ru.  
**Бурдин Владимир Александрович**, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Линии связи и измерения в технике связи», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 443010, Самара, ул. Л. Толстого, д. 23, тел.: +7 (927) 260-17-99, e-mail: burdin@psati.ru.

## AUTHORS

**Vladimir A. Andreev**, D.Sc. (Engineering), President, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, ulitsa L. Tolstogo, Samara, 443010, Russia, tel.: +7 (902) 375-77-44, e-mail: andreev@psati.ru.  
**Anton V. Bourdine**, D.Sc. (Engineering), professor of the Department “Communication Lines And Measurements In Communication Technology”, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, ulitsa L. Tolstogo, Samara, 443010, Russia; Deputy General Director, S.I. Vavilov State Optical Institute, 36, korp. 1, ulitsa Babushkina, Saint Petersburg, 192171, Russia, (927) 653-13-44, e-mail: bourdine@yandex.ru.  
**Vladimir. A. Burdin**, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the Department “Communication Lines And Measurements In Communication Technology”, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, ulitsa L. Tolstogo, Samara, 443010, Russia, tel.: +7 (927) 260-17-99, e-mail: burdin@psati.ru.

Поступила 18.03.2020; принята к публикации 12.08.2020; опубликована онлайн 04.12.2020  
 Submitted 18.03.2020; revised 12.08.2020; published online 04.12.2020