

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2023, Том 10, № 4 / 2023, Vol. 10, Iss. 4 <https://resources.today/issue-4-2023.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/02INOR423.pdf>

DOI: 10.15862/02INOR423 (<https://doi.org/10.15862/02INOR423>)

2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Рогов, А. О. Специфика построения пассивной оптической сети при плотном расположении абонентов / А. О. Рогов, Д. А. Мишин, С. В. Куровский // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 4. — URL: <https://resources.today/PDF/02INOR423.pdf> DOI: 10.15862/02INOR423

**For citation:**

Rogov A.O., Mishin D.A., Kurovsky S.V. The specifics of building a passive optical network with a dense location of subscribers. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 10(4): 02INOR423. Available at: <https://resources.today/PDF/02INOR423.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/02INOR423

**Рогов Андрей Олегович**

ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет», Москва, Россия  
E-mail: [loyal@inbox.ru](mailto:loyal@inbox.ru)

**Мишин Денис Александрович**

ООО «Высшая Школа Образования», Одинцово, Россия  
Руководитель редакционно-издательского отдела  
E-mail: [9651530@gmail.com](mailto:9651530@gmail.com)

**Куровский Станислав Валерьевич**

ООО «Высшая Школа Образования», Одинцово, Россия  
Руководитель научно-исследовательского подразделения  
E-mail: [8917564@gmail.com](mailto:8917564@gmail.com)

## Специфика построения пассивной оптической сети при плотном расположении абонентов

**Аннотация.** В настоящее время технология пассивной оптической сети является наиболее востребованной для управления городскими организационными системами, обусловленными плотной застройкой (плотным расположением абонентов). В статье приводится информация о пассивной оптической сети. Авторами представлена общая архитектура пассивной оптической сети как элемента технологии «Оптоволокно до точки x», включающая такие составляющие, как терминал оптической линии, блоки оптической сети и оптические распределительные коробки. Описаны основные варианты современного использования пассивной оптической сети на основании таких критериев, как стандарт, скорость передачи данных, рабочая длина волны, коэффициент разделения, совместимость. Также в статье рассмотрены особенности построения пассивной оптической сети и описаны перспективы применения данной технологии в современных городах при плотном расположении абонентов. В рамках эмпирического исследования, авторами проведён социологический опрос в форме анкетирования 175 специалистов среднего и высшего звена, работающих в ведущих отечественных компаниях-провайдерах. Результаты исследования позволили выявить ряд ключевых проблем и перспектив использования технологии пассивной оптической сети, а также установить основные элементы экономической эффективности развертывания пассивной оптической сети. Авторами сделан акцент на необходимости развития инфраструктуры умного города, использующей пассивную оптическую сеть в

качестве магистрали, что особенно перспективно для отдалённых районов Москвы. Предполагается, что пассивная оптическая сеть будет обеспечивать подключение к домам и антенным площадкам и использоваться в качестве недорогой системы агрегирования для передачи данных из облаков на дальней границе в облака на основной периферии.

**Ключевые слова:** пассивная оптическая сеть; оптическое волокно; абонентская сеть; множественное распределение; телекоммуникационная технология; плотном расположении абонентов; широкополосная связь

## Введение

По информации Международного союза электросвязи (ITU) в 2023 г. Интернетом будут пользоваться уже 5,4 млрд человек, что составляет 67 % от всего населения.<sup>1</sup> Сегодня Интернет распространяется очень быстро, и в контексте роста цифровых технологий, обуславливающих ускоренный темп общественного развития, людям требуются всё более надёжные и стабильные организационные системы передачи информации. Вместе с тем по состоянию на 2022 г. на 100 человек в мире насчитывалось лишь 18,43 абонентов фиксированной широкополосной связи,<sup>2</sup> ключевой технологии передачи данных, являющейся в высшей степени необходимой для экономического и человеческого развития как в развитых, так и в развивающихся странах.<sup>3</sup> Сегодня наиболее распространённой средой широкополосного доступа является оптоволокно, общая мировая протяжённость которого составляет 16 410 тыс. км.<sup>4</sup>

Оптическое волокно (оптоволокно) — это волновод с круглым поперечным сечением, по которому передается электромагнитное излучение оптического диапазона (обычно ближний ИК и видимый свет). Оптическое волокно состоит из двух основных частей: сердцевины и оптической оболочки. Используется оно по следующим причинам:

- Возможность передачи больших объемов данных с максимальной скоростью при минимальных допустимых потерях в среде и минимальной двусторонней задержкой. Оператор имеет возможность протянуть кабель на 20–40 км без задействования активного оборудования.
- Низкое энергопотребление. Так как вся часть, которая тянется от провайдера до пользователя, является пассивной, то подключение к электросети нужно только в головной станции и в локации абонента.
- Малая толщина кабеля и возможность использования многожильного оптоволоконного кабеля для уменьшения стоимости прокладки и унификации инфраструктуры. Толщина оптоволоконного кабеля начинается от 3 мм. Его легче провести через забитые разными проводами шахты многоквартирных домов.

<sup>1</sup> Connecting for Inclusion: Broadband Access for All / The World Bank. — URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/digitaldevelopment/brief/connecting-for-inclusion-broadband-access-for-all> (дата обращения: 02.10.2023).

<sup>2</sup> Individuals using the Internet / ITU. Statistics. — URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx> (дата обращения: 02.10.2023).

<sup>3</sup> Проект стратегии «Москва «Умный город — 2030» / Умный город. — URL: [https://www.mos.ru/upload/alerts/file/s/3\\_Tekststrategii.pdf](https://www.mos.ru/upload/alerts/file/s/3_Tekststrategii.pdf) (дата обращения: 02.10.2023).

<sup>4</sup> Current World Population / Worldometer. — URL: <https://www.worldometers.info/world-population/> (дата обращения: 02.10.2023).

Между тем, абонентов становится всё больше: с 1986 г. численность населения увеличилась на 3 млрд человек [1], а с 1950 г. плотность мирового населения увеличилась в 3,2 раза, достигнув к 2023 г. почти 60 чел/км<sup>2</sup>.<sup>5</sup>

В этих условиях для современных провайдеров, предоставляющих абонентам доступ к широкополосной связи, наиболее предпочтительной технологией является пассивная оптическая сеть (PON — passive optical network, далее — PON), которую сегодня часто называют «последней милей» (last mile) [2]. Тем не менее, в контексте всё более уплотняющихся современных городских застроек, трансформируется и специфика построения PON, что требует её научного рассмотрения. Актуальность темы таким образом обусловлена тем, что в связи с растущими требованиями клиентов к высокой скорости и круговым задержкам при передаче данных, потребность в технологиях оптического доступа возрастает [3]. Следовательно, необходимо уделить пристальное внимание изучению технологии PON при плотном расположении абонентов.

### Материалы и методы

Статья основывается на общетеоретических методах исследования (анализ, синтез, обобщение, формализация, дедукция) и методе социологического опроса в форме анкетирования.

Основными источниками информации являются научные статьи зарубежных авторов в области исследования развития и применения технологии PON, а также эмпирическая информация, полученная в ходе опроса IT-специалистов, работающих в компаниях-провайдерах Москвы.

### Результаты и их обсуждения

Оптоволокно — это наиболее востребованный способ обеспечения оптимальной коммуникации, необходимой для управления современными организационными системами. Различные типы волоконно-оптических сетей были спроектированы и построены для удовлетворения широкого диапазона мощностей и скоростей передачи. Длина оптических линий между конечными пользователями может варьироваться от коротких локализованных соединений внутри здания или кампуса до сетей, охватывающих континенты и пересекающих океаны [4]. Оптическое волокно состоит из трех концентрических слоев:

- Ядро: центральный светопередающий слой, волокна которого изготовлены из кремнезема, легированного кремнезема или полимерного волокна, скручены по продуманной схеме и обеспечивают высочайший уровень преломления.
- Оболочка: окружает ядро, представляет собой начальный слой и также состоит из кремнезема. Однако его состав отличается от состава ядра; имеет низкий уровень преломления.
- Покрытие: внешний неоптический слой. Обычно покрытие состоит из одного или нескольких слоев полимерного материала.

<sup>5</sup> Infrastructure Connectivity Map / ITU. — URL: <https://bbmaps.itu.int/bbmaps/> (дата обращения: 02.10.2023).

Можно выделить следующие преимущества оптоволоконна по сравнению с традиционным медным проводом:

- Увеличенная пропускная способность. Оптические волокна обеспечивают значительно большую пропускную способность информации благодаря высокой пропускной способности сигнала. Многомодовые волокна обычно имеют полосу пропускания от 200 до 600 МГц/км, а одномодовые волокна превышают 10 ГГц/км.
- Устойчивость к электромагнитным и радиочастотным помехам. Оптические волокна невосприимчивы к электромагнитным помехам и не излучают электромагнитное излучение.
- Снижение стоимости, размера и веса. Оптоволоконные кабели легче устанавливать, требуют меньше места для воздуховодов, их вес в 10–15 раз меньше, а также они более экономичны по сравнению с медными проводниками с эквивалентной пропускной способностью.
- Меньшая потеря сигнала. Оптическое волокно имеет меньшее затухание, что означает меньшую потерю интенсивности сигнала по сравнению с медными проводниками. Это позволяет использовать более длинные кабели с меньшим количеством повторителей.
- Безопасность. Оптоволоконно не создает искр и не вызывает коротких замыканий, что делает его безопасным для использования в присутствии взрывоопасных газов или в легковоспламеняющихся средах.
- Промышленная безопасность. Оптоволоконные системы не излучают радиочастотные сигналы, что затрудняет незаметное подключение к ним.
- Отсутствие опасности заземления. В оптоволоконных кабелях отсутствуют металлические проводники, что исключает риск поражения электрическим током при их прокладке и обслуживании.
- Электрическая изоляция. Оптоволоконно позволяет осуществлять передачу между двумя точками без учета разницы электрических потенциалов между ними, обеспечивая электрическую изоляцию [5].

PON, как технология, начала распространяться в конце 80-х гг. XX в., когда рядом зарубежных компаний она была предложена к рассмотрению. В дальнейшем технология развивалась такими организациями, как рабочая группа Сети полного доступа к услугам (FSAN), Общество инженеров кабельной связи (SCTE), Институт инженеров по электротехнике и электронике (далее — IEEE), Международным союзом электросвязи (ITU). Технологии и принципы PON активно исследовались и развивались на протяжении последних трёх десятилетий и остаются в центре внимания исследователей, в результате чего стали доступными различные модификации и вариации PON, охватывающие не только доступ, но и городские расстояния и мультигигабитные скорости передачи данных [6].

PON в общем смысле можно определить как используемую для предоставления абонентам (конечным пользователям) широкополосного доступа к виртуальной сети (интернету) оптоволоконную телекоммуникационную технологию, базирующуюся на архитектуре, которая реализует топологию «точка-многоточка» (P2MP — point-to-multipoint), в которой одно оптическое волокно обслуживает группу конечных потребителей с использованием пассивных, т. е. не потребляющих электроэнергию оптоволоконных разветвителей для разделения несущего сигнала.

В течение последнего десятилетия ITU и IEEE было разработано несколько архитектур PON, которые можно разделить на три общие группы.

Первая группа основана на асинхронном режиме передачи (ATM) и включает ATM PON (APON), широкополосный PON (BPON), гигабитный PON (GPON) и десятигигабитный XG-PON.

Вторая группа основывается на технологии Ethernet и включает Ethernet PON (EPON), 10G-EPON [7].

Третья группа основана на разделении волны TWDM и включает NG-PON2 и NG-PON2 Amd1.

На текущий момент в разработке находится четвертая группа NG-EPON и G.hsp.x, поддерживающие скорости до 50 Гбит/с в симметричном режиме.

В настоящее время стандарт PON определил семь типов скоростей передачи данных, но наиболее востребованными сегодня являются стандарты GPON (2,4 Гбит/с для нисходящей передачи и 1,2 Гбит/с для восходящей передачи), XG-PON (10 Гбит/с для нисходящей передачи и 2,5 Гбит/с для восходящей передачи), а так же симметричный XGS-PON 10 Гбит/с. Логическая дальность действия GPON при 128 пользователях составляет до 60 км, хотя на практике обычно используют коэффициент разделения до 1:32 и дальность действия до 20 км исходя из оптического бюджета линии. Стандарты EPON и GPON имеют одинаковый общий принцип с точки зрения структуры и приложений, однако их функционирование различно из-за реализации физического уровня и уровня канала передачи данных.

Важно отметить, что в настоящий момент существует несколько вариантов подключения конечного абонента по технологии PON.

Обычно для этих технологий используется общий термин «Оптоволокно до точки x» (далее — FTTx), где буква «x» обозначает какую-либо конкретную технологию. В нашем исследовании мы будем рассматривать общую группу **FTTP**.

**FTTP** (Fiber to the Premises) — волокно до помещения. Это сокращение обобщает термины FTTH и FTTB или используется в тех случаях, когда оптоволокно подведено туда, где одновременно есть дома и малые предприятия.

**FTTH** (Fiber to the Home) — волокно до квартиры или частного дома. Кабель доводится до границы жилой площади, например, коммуникационной коробки на стене жилья. Далее услуги оператора предоставляются абоненту посредством технологии PON и PPPoE.

**FTTB** (Fiber to the Building) — волокно доходит до границы здания, такой как фундамент многоквартирного дома, подвальное помещение или технический этаж с окончательным подключением каждого жилого помещения при помощи иных способов как в конфигурациях FTTH (Fiber to the Node) с дальнейшей прокладкой медного провода. Это может быть xDSL или гибридные волоконно-коаксиальные линии.

В качестве альтернативы некоторые решения включают в себя компактное активное оборудование с низким энергопотреблением, например, коммутаторы или свитчи 2 и 3 уровня модели OSI внутри здания. Абоненты могут подключаться как оптическими интерфейсами, так и витой парой. Услугами обычно являются подключение к сети Интернет, IP телефония VoIP, а также цифровое телевидение (IPTV).

Общая архитектура PON состоит из терминала оптической линии (далее — OLT), оптических распределительных коробок (далее — ОРК) и клиентских пассивных терминалов оптической сети (далее — ONT). В некоторых случаях ONT могут совмещать в себе функции с WI-FI и Ethernet маршрутизатором. OLT размещается в центральном офисе и соединяется с



разветвителями оптоволоконным кабелем. Также стационарный участок включает в себя оптический мультиплексор (WDM) и оптический кросс высокой плотности (ODF).

В этой схеме оптоволоконная сеть соединяет коммутационное оборудование в центральном офисе с многочисленными абонентами услуг. В центральном офисе данные и оцифрованная речь объединяются и передаются клиентам по оптической линии связи.

В зависимости от типа скорости по сути стандарта PON пары прием-передача различаются в своем диапазоне.

Например, для GPON характерны следующие длины волн: нисходящая — 1 490 нм, восходящая — 1 310 нм по одному и тому же волокну. Следует отметить, что видеослужбы, с другой стороны, передаются только в нисходящем направлении с использованием диапазона длины волны 1 490–1 550 нм.

Стоит отметить, что хотя первоначальная реализация PON использовала фиксированные длины волн, последующие версии определяли спектральные полосы вокруг этих трех ключевых длин волн.

Далее, начиная с центрального офиса, одномодовая оптическая нить идет к пассивному оптическому делителю мощности, расположенному рядом с жилым комплексом, офисным парком или другим кампусом.

Пассивный делитель (сплиттер), по сути, делит оптическую мощность на  $N$  отдельных путей для абонентов. Если сплиттер предназначен для равномерного распределения входящей оптической мощности и если  $P$  представляет собой оптическую мощность, поступающую в сплиттер, то каждый абонент получает уровень мощности  $P/N$ .

В зависимости от конкретного применения также возможны вариации конструкций делителей мощности с неравномерными коэффициентами деления. Коэффициент разделения может варьироваться от 2 до 128, при этом общие значения в базовых конфигурациях PON составляют 8, 16 или 32. Кратность делителя выбирается исходя из плотности абонентов, гарантируемой скорости при гарантируемом времени предоставления услуги.

Отдельные одномодовые волокна проходят от сплиттера к каждому зданию или конечному пользовательскому оборудованию. Длина оптоволоконной передачи от центрального офиса до пользователя может достигать до 20 км и ограничена оптическим бюджетом линии. Следовательно, активные устройства присутствуют только в центральном офисе и на конечной точке пользователя. Итерации развития технологии PON представлены в таблице 1.

Системы PON могут использовать различные топологии, включая шину, кольцо, дерево или комбинацию этих конфигураций. Выбор топологии происходит на этапе планирования и проектирования сети, и каждый вариант обладает своими плюсами и минусами. Выбор топологии зависит от конкретных обстоятельств и требований каждого проекта в отдельности. Следовательно, наиболее подходящая топология зависит от таких факторов, как степень покрытия услуг, географическое распределение абонентов и потенциальных пользователей, необходимость резервирования.

Следует отметить, что среди фундаментальных топологий PON провайдеры интернет-услуг обычно выбирают древовидную топологию или шину. Этот выбор обусловлен, прежде всего, экономией средств и улучшением сетевого подключения, особенно в регионах с концентрированной абонентской базой. Однако множество возможностей для конфигураций и размещения сплиттеров приводит к широкому спектру вариантов топологии дерева, включая одно- или многоступенчатые. Расположение оптических сплиттеров в сети определяет, следует ли система централизованной топологии (с одним каскадом разветвителя на внешней

установке) или распределенной (также известной как каскадная) топологии (с несколькими каскадами разветвителей на внешней установке).

Таблица 1

Варианты PON

Вариант / год	Стандарт	Скорость передачи данных (DS/US)	Рабочая длина волны	Коэффициент разделения	Совместимость
GPON 2003	ITU-T G.984	2,5/1,25 Гбит/с	1 480–1 500 нм DS 1 290–1 330 нм US	До 1:64	н/а
GE-PON 2004	IEEE 802.3ah	1,25/1,25 Гбит/с	1 480–1 500 нм DS 1 290–1 330 нм US	До 1:64	н/а
10G-EPON 2009	IEEE 802.3av	10/10 Гбит/с	1 574–1 580 нм DS 1 260–1 280 нм US	До 1:128	GE-PON
XG-PON 2010	ITU-T G.987	10/2,5 Гбит/с	1 575–1 580 нм DS 1 260–1 280 нм US	До 1:128	GPON
NG-PON2 2015	ITU-T G.989	10/10 Гбит/с	1 596–1 603 нм DS 1 524–1 544 нм US	До 1:128	GPON и XG(S)-PON
XG(S)-PON 2016	ITU-T G.9807.1	10/10 Гбит/с	1 570–1 580 нм DS 1 260–1 280 нм US	До 1:128	GPON

Примечание: DS (DownStream) — нисходящая передача от OLT к ONT, US (UpStream) — восходящая передача от ONT к OLT. Источник: [8]

В целом централизованный подход имеет тенденцию предлагать более низкие эксплуатационные расходы и является более доступным и управляемым для технических специалистов. И наоборот, распределенная топология обеспечивает более быструю окупаемость инвестиций, более низкие первоначальные затраты и сокращение затрат на оптоволокно, что приводит к типичному компромиссу между преимуществами и недостатками, который необходимо тщательно учитывать при принятии решений в конкретном проекте.

Поэтому PON является наиболее удачным вариантом построения коммуникационной сети именно для городов, в которых присутствует многоэтажная застройка. Для городской застройки при построении PON имеется своя специфика, которая в основном связана с тем, что различные составляющие элементы сети (кабели, муфты, боксы и кроссы конечных устройств, розетки и т. д.) располагаются внутри здания; поэтому при построении PON у интернет-провайдеров возникает необходимость поиска специфических конструкций, предъявляются различные специфические требования.

Следует отметить, что на заре тотальной информатизации разрабатывались многие технологии передачи данных, однако именно технология PON оказалась наиболее востребованной, поскольку, несмотря на то что предшествующая топология «точка-точка» (PMP — point-to-point) предлагает клиентам более высокую пропускную способность, PON обходится дешевле в расчёте на одного абонента.

Ключевые преимущества PON сводятся к тому, что активные компоненты внутри сети в сочетании с уменьшенным количеством активных устройств приводят к экономии средств. Это устраняет необходимость в источниках питания или резервных батареях. Кроме того, существует необходимость в оптико-электрооптическом преобразовании для активных устройств, которые не имеют возможности обрабатывать данные в оптической области. Общая пропускная способность также уменьшается из-за включения в сеть дополнительных активных устройств, в то время при использовании пассивной технологии этого не происходит.

Иные преимущества включают высокоскоростные интернет-услуги, высококачественный широкополосный доступ Triple-Play, а также экономически эффективные услуги передачи голоса, видео и данных; также PON предлагает наиболее энергоэффективное и наиболее быстрое развертывание сети доступа [9].

Следует отметить, что предстоящие версии систем PON могут найти применение в новых сценариях использования, таких как, например, развитие инфраструктуры умного города. Это включает в себя такие важные роли, как транспортная мобильная связь и поддержка критически важных сегментов сети для связи между транспортными средствами, инфраструктурой и промышленными приложениями Интернета вещей (IoT).

Эти новые приложения для систем PON предъявляют новые требования по сравнению с традиционными конструкциями систем PON. В частности, растет потребность в более высокой пропускной способности, уменьшении задержек, улучшенной доступности сети и повышенной надежности приложений, и все это зависит от характера предоставляемых услуг [10]. В связи с этим в настоящее время в научной литературе предлагаются различные алгоритмы оптимизации PON, предлагаются модели для построения PON при плотном расположении абонентов.

В настоящем исследовании также сделан акцент на актуализации проблем и перспектив использования PON в отдалённых районах Москвы. Для этого авторами было проведено эмпирическое исследование практики использования PON среди провайдеров.

Для исследования были выбраны такие компании, как Старлинк, Ростелеком, МТС, Севен Скай и Алмател, составляющие пятёрку лидеров среди провайдеров в столице за последний год.<sup>6</sup> К участию в исследовании были приглашены IT-специалисты среднего и высшего звена в количестве 300 чел.

Приглашение к участию в исследовании происходило путём email-рассылки на корпоративную почту писем, в которых содержалась ссылка на онлайн-анкету (инструмент Google Forms). Структура онлайн-анкеты социологического опроса включала 13 вопросов, которые были разбиты на четыре смысловых блока. Первый блок был посвящён социально-демографическим характеристикам респондентов (пол, возраст, опыт работы в IT-сфере и опыт работы с PON). Второй блок был посвящён проблемам использования PON в Москве, третий — перспективам использования PON в Москве и, наконец, четвёртый блок анкеты был посвящён различным вариантам экономической эффективности в результате использования PON. В структуре анкеты также имелся вопрос-фильтр (первый вопрос), определявший, работает ли IT-специалист с технологией PON.

Исследование проходило в начале октября 2023 г., сбор информации продолжался шесть дней. В результате первичной обработки данных было установлено, что большая часть приглашённых к участию в исследовании IT-специалистов (58,3 %) работали с PON, и в среднем их опыт составлял 3,5 года. Таким образом, в итоговом исследовании приняли участие 175 IT-специалистов среднего и высшего звена.

Обобщая результаты исследования, можно сделать следующие выводы:

- Выявлены ключевые проблемы использования PON: во-первых, существует несколько алгоритмов динамического распределения пропускной способности, однако до сих пор не ясно, как они влияют на различные политики превышения (избыточного распределения), такие как превышение, обусловленное спросом, равное превышение, превышение по весу и справедливое превышение; во-вторых, имеется проблема чрезмерного предоставления разрешений в системах LR-PON (long-reach PON); в-третьих, не менее важной является проблема балансировки нагрузки в виртуальной сети PON с несколькими OLT; в-четвёртых, существует необходимость поиска компромисса между энергоэффективностью и спектральной

<sup>6</sup> Рейтинг провайдеров Москвы 2023 г. / Москва онлайн. — URL: <https://www.moskvaonline.ru/rating?period=3> (дата обращения: 02.10.2023).



эффективностью в пассивных оптических сетях множественного доступа с кодовым разделением каналов (OCDMA).

- Установлены ключевые перспективы использования PON: во-первых, современный рынок и монетизация избыточной пропускной способности требуют виртуальной среды, в которой клиенты продают и покупают неиспользованную пропускную способность другим клиентам; во-вторых, существует потребность в более точных и комплексных инструментах для определения характеристик физических волоконно-оптических каналов; в-третьих, PON должны активно использоваться для построения инфраструктуры умного города.

- Определены основные элементы экономической эффективности развертывания PON: во-первых, снижение затрат на кабельную инфраструктуру достигается за счет минимизации общей длины оптического волокна за счет использования одного волокна от центрального узла до сплиттера; во-вторых, происходит сокращение расходов на оптические передатчики и приемники. Технология PON приводит к снижению потребности в оптических передатчиках и приемниках в центральном узле. Примечательно, что конфигурация PON с разветвителем в центральном офисе обеспечивает более значительную экономию средств по сравнению с конфигурацией, в которой разветвитель расположен рядом с абонентскими узлами.

Авторы настоящего исследования обращают особое внимание на перспективу применения PON в отдалённых районах Москвы. Так, учитывая современную региональную стратегию, подразумевающую построение Москвы как умного города («Умный город — 2030»)<sup>3</sup>, в отдалённых районах целесообразно использовать инфраструктуру умного города, использующую PON в качестве магистрали. PON будет обеспечивать подключение к домам и антенным площадкам и использоваться в качестве недорогой системы агрегирования для передачи данных из облаков на дальней границе в облака на основной периферии.

### Выводы

Таким образом, в настоящее время технология PON является наиболее востребованной для управления городскими организационными системами, обусловленными плотной застройкой, т. е. плотным расположением абонентов. Новые разработки в области PON фактически гарантируют, что они останутся в эксплуатации ещё на долгие годы, кроме того, в настоящее время продолжают разрабатываться новые стандарты для высокоскоростных PON за счет уплотнения волн на основе TWDM, а также готовятся дополнительные стандарты. Авторами проведён социологический опрос в форме анкетирования IT-специалистов среднего и высшего звена, работающих в ведущих отечественных компаниях-провайдерах (N = 175). Результаты исследования позволили выявить ряд ключевых проблем и перспектив использования технологии PON, а также установить основные элементы экономической эффективности развертывания PON. Авторами сделан акцент на необходимости развития инфраструктуры умного города, использующей PON в качестве магистрали, что особенно перспективно для отдалённых районов Москвы.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Gu D., Andreev K., Dupre M.E. Major trends in population growth around the world // China CDC weekly. — 2021. — Т. 3. — № 28. — pp. 604–612.

- 2 Мисбахов Р.Ш. Методы реализации систем отслеживания состояния и проблем в пассивных оптических сетях // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. 2016. — С. 597–601.
- 3 Gillani S.M.F., Khan M.A., Shahid M.K. Reach extendibility of passive optical network technologies // Optical Switching and Networking. — 2015. — Т. 18. — pp. 211–221.
- 4 Keiser G., Keiser G. Fiber optic communication networks. — Springer Singapore, 2021. — pp. 507–575.
- 5 Abdellaoui Z., Dieudonne Y., Aleya A. Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON // Array. — 2021. — Т. 10. — pp. 1–24.
- 6 Horvath T. et al. Passive optical networks progress: A tutorial // Electronics. — 2020. — Т. 9. — № 7. — pp. 1–31
- 7 Abbas H.S., Gregory M.A. The next generation of passive optical networks: A review // Journal of network and computer applications. — 2016. — Т. 67. — pp. 53–74.
- 8 Luo Y. et al. Time-and wavelength-division multiplexed passive optical network (TWDM-PON) for next-generation PON stage 2 (NG-PON2) // Journal of light wave technology. — 2013. — Т. 31. — № 4. — pp. 587–593.
- 9 Usman A. et al. Optical link monitoring in fibre-to-the-x passive optical network (FTTx PON): A comprehensive survey // Optical Switching and Networking. — 2020. — Т. 39. — pp. 1–24.
- 10 Bonk R. The future of passive optical networks // 2021 International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM). — IEEE, 2021. — pp. 1–3.

**Rogov Andrey Olegovich**

Moscow Technological University, Moscow, Russia  
E-mail: loyal@inbox.ru

**Mishin Denis Alexandrovich**

LLC «Higher School of Education», Odintsovo, Russia  
E-mail: 9651530@gmail.com

**Kurovsky Stanislav Valerievich**

LLC «Higher School of Education», Odintsovo, Russia  
E-mail: 8917564@gmail.com

## **The specifics of building a passive optical network with a dense location of subscribers**

**Abstract.** Currently, passive optical network technology is in high demand in terms of management of urban organizational systems due to high-density housing (dense disposition of subscribers). The article provides information about the passive optical network. The authors describe the general architecture of a passive optical network as an element of the «fiber to the x» technology, including components such as an optical line terminal, optical network units, and optical distribution boxes. The main variants of modern use of a passive optical network are described on the basis of criteria such as standard, data transfer rate, operating wavelength, separation coefficient, compatibility. The article also discusses the features of building a passive optical network and describes the prospects for using this technology in modern cities with a dense disposition of subscribers. As part of an empirical study, the authors conducted a sociological survey in the form of a questionnaire of 175 specialists of middle and senior management working in leading domestic provider companies. The results of the study allowed to reveal a number of key problems and prospects for the use of passive optical network technology, as well as to identify the main elements of the economic efficiency of the deployment of a passive optical network. The authors emphasize the need to develop a smart city infrastructure using a passive optical network as a backbone, which is especially promising for remote areas of Moscow. It is assumed that the passive optical network will provide connection to houses and antenna sites and will be used as an inexpensive aggregation system for transmitting data from clouds on the far border to clouds on the main periphery.

**Keywords:** passive optical network; optical fiber; subscriber network; multiple distribution; telecommunication technology; dense location of subscribers; broadband connection