

# НАДЕЖНОСТЬ СЕТЕЙ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА LR-PON

**Игнатов Александр Владимирович,**  
аспирант кафедры передачи дискретных сообщений и  
метрологии Сибирского государственного университета  
телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ),  
Новосибирск, Россия,  
[igsascha@mail.ru](mailto:igsascha@mail.ru)

**Шувалов Вячеслав Петрович,**  
д.т.н., профессор, начальник кафедры передачи дискретных  
сообщений и метрологии СибГУТИ, Новосибирск, Россия,  
[shvp04@mail.ru](mailto:shvp04@mail.ru)

**Ключевые слова:** сеть абонентского доступа,  
Next Generation Network, LR-PON, надёжность,  
оптимизация сетей доступа.

Бурный рост информационных технологий сегодня позволяет создавать приложения, требующие увеличения пропускной способности сетей передачи информации на всех этапах её прохождения от разработчика приложений к пользователю. Одним из элементов системы передачи информации является сеть абонентского доступа, пропускная способность которой в настоящее время также имеет тенденцию к увеличению. Высокие скорости передачи информации, и в связи с этим изменяющаяся структура сетей доступа, оказывают влияние на требования к надёжности сети. В этом аспекте, современные сети LR-PON не являются исключением.

Целью проводимых исследований, описанных в статье, является обзор современного состояния и развития сетей абонентского доступа в целом, и в частности сетей LR-PON, являющихся развитием пассивных оптических сетей абонентского доступа PON. Основное внимание уделено исследованиям в области оптимизации сетей абонентского доступа по критерию надёжности. Рассмотрены основные принципы построения современных сетей абонентского доступа. Дано описание оптических сетей PON и LR-PON, как дальнейшего развития PON. Проведён анализ подходов к обеспечению надёжности пассивных оптических сетей дальнего действия (LR-PON).

Исследования проведены методами изучения иностранной и отечественной литературы в области надёжности сетей доступа. Статья построена в следующем порядке: в первой главе проводится описание основ построения современных сетей абонентского доступа. Во второй главе описывается появление и развитие отдельного класса сетей абонентского доступа, таких как пассивные оптические сети PON и LR-PON. В третьей главе делается упор на оценку сетей LR-PON с позиции теории надёжности. Описываются современные подходы оптимизации сетей доступа по критериям надёжности и стоимости.

В конце работы составлена схема, в которой отражается классификация основных направлений исследования надёжности LR-PON. Сделаны выводы о целесообразности дальнейшей работы по исследованию вопросов в области оптимизации LR-PON.

## Для цитирования:

Игнатов А.В., Шувалов В.П. Надёжность сетей абонентского доступа LR-PON // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 25-30.

## For citation:

Ignatov A.V., Shuvalov V.P. The reliability of subscriber access networks LR-PON. T-Comm. 2015. Vol 9. No.5, pp. 25-30. (in Russian).

## 1. Структура сети абонентского доступа

Абонентская сеть (сеть доступа – СД) в своём составе имеет большое количество различных элементов, основными из которых являются оконечное устройство, центр коммутации и линия связи между ними.

Оконечные устройства – технические устройства, выполняющие функции интерфейса между пользователем и поступающей из сети информацией. В настоящее время слова "Оконечное устройство" часто заменяются более общим термином, инвариантным к виду коммутируемой (вторичной) сети, – "Терминал". [1]

Центр коммутации – точка перераспределения информации между абонентскими терминалами, а так же точка приема и передачи на другие станции или даже в другие сети. В технической литературе для центра коммутации используется общий термин "местная станция" (МС) – Local exchange (LE). Иногда используется еще один термин – Central Office (CO), который применяется для городских телефонных станций (ГТС) и сельских телефонных станций (СТС). [1], [2], [3].

Абонентская линия (АЛ) – линия связи, соединяющая терминал с узлом доступа. В англоязычной технической литературе используется термин Subscriber line или просто Line. Понятие абонентской линии сейчас заменяется понятием линии доступа (ЛД). Абонентские линии строятся с помощью медного, оптического кабелей или по беспроводным технологиям, таким как Mesh-сети, fiber aided wireless network architecture (FAWNA) и др.

## 2. Появление и развитие PON. LR-PON

Модернизация местных телекоммуникационных сетей и переход к сетям связи следующего поколения (Next Generation Network), изменяет подходы к построению современных сетей доступа. От СД по-прежнему требуется высокая надежность и низкая стоимость, но уже при более широкой пропускной способности и более высоком качестве передачи информации, к тому же эти требования уже предъявляются к технологически новым средам распространения сигналов (кабель с оптическими волокнами и радиоканал), что значительно влияет на принципы построения СД.

Происходит расширение границ СД, переход к новым структурам и изменение качества обслуживания различных видов информации (видео, голос, данные), так называемых услуг "triple-play services". Скорость передачи информации для обеспечения этих услуг должна достигать гигабит в секунду. Чтобы соответствовать возрастающим требованиям потребителей по увеличению полосы пропускания, предпочтение отдается оптическим сетям доступа (ОСД). FTТх – концепция технологий доступа, где в качестве "х" может выступать как дом, офис, кампус, так и любой промышленный объект.

На замену медным технологиям пришли пассивные оптические сети (PON – Passive Optical Networks), которые вместо использования соединения точка-точка (P2P) используют архитектуру точка-многоточка (P2MP). PON архитектура используется в следующих схемах и технологиях организации связи: Time Division Multiplexing (TDM), Wavelength Division Multiplexing (WDM), Optical Code Division Multiplexing (OCDM) и Sub-Carrier Multiplexing (SCM). [4]

PON начали появляться в конце прошлого века. В первом десятилетии XXI века уже широко использовались стандарты нового поколения PON – NGPON (Next Generation Passive Optical Networks) такие как Ethernet PON (EPON) и Gigabit

PON (GPON). В них скорость передачи данных в нисходящем потоке достигает до 2,5 Gbps, а в восходящем до 1,25 Gbps. Масштабирование таких сетей производится с учетом максимальных длин распределительного и абонентского волокна до 20 км [5], [6].

Как правило, PON имеет топологию дерева с центром CO, расположенным в корне и абонентами, присоединенными к краевым вершинам дерева на расстоянии до 20 км. Корень дерева – это оптический линейный терминал (Optical Line Terminal) – OLT, который является оборудованием сервис-провайдера, расположенным совместно с CO. Сеть PON соединяет OLT с множеством оптических сетевых устройств (Optical Network Unit) ONU через 1:N (как правило 1:32) оптический сплиттер-сумматор.

Существуют схемы соединения пассивной оптической сети вида "PON-звезда", в которой "первая линейка" длин волн  $\lambda_1 \dots \lambda_k$  применяется для взаимодействия с CO, а "вторая линейка"  $\lambda_k \dots \lambda_n$  – для взаимодействия абонентов сетевого сегмента между собой. Предполагается, что разветвитель передает во все каналы все длины волн с одинаковыми коэффициентами передачи, а выбор принимаемых каналов осуществляется оборудованием абонентов и АТС, причем в последнем случае поступающие  $\lambda_k \dots \lambda_n$  просто игнорируются [7].

Для OLT используются передатчики с непрерывным режимом работы, так же как и приёмники в ONU. Однако для восходящего потока необходим режим работы передатчиков только в определённое время. Следовательно, для ONU требуются передатчики с пакетным режимом работы. На приемной стороне в OLT также необходимы пакетные приёмники, причём, для того чтобы избежать коллизии трафика из-за разности расстояний OLT-ONU, необходима работа приёмников асинхронных пакетов с разными уровнями мощностей.

Пакетный режим работы сетевых устройств характеризуется несколькими особенностями, которые необходимо учитывать:

- в отличие от стандартных лазерных драйверов, которые используют относительно медленный механизм управления, автоматическое управление питанием для драйверов лазера пакетного режима должно быть в состоянии обработать быстрые переходные процессы;
- у получателя пакетного режима должны быть высокая чувствительность, широкий динамический диапазон, и быстрое время обработки полученных пакетов [8].

На смену NGPON идут стандарты NGPON второго поколения, основной из которых – LR-PON (long-reach PON). Новейшие LR-PON могут иметь скорости нисходящего и восходящего потоков 10 Gbps и 2.5 Gbps соответственно. Масштабируемость сети достигает 100 км. Здесь может быть задействовано до 17 делителей мощности. Каждый из делителей работает с разными парами восходящих и нисходящих потоков, разделенных по длине волны и обслуживающих до 256 ONU. Всего к OLT может быть подключено до 4352 ONU. Сети LR-PON имеют топологию многоступенчатого дерева с множеством ветвей и позволяют обеспечивать интеграцию оптических сетей доступа и зонных сетей. Расширенная функциональность LR-PON предлагает значительную экономию на издержках за счет сокращения числа требуемых преобразований оптический-электрический-оптический. Таким образом, тенденция развития PON ведет к изменению структуры городских сетей в сторону уменьшения количества узловых станций [9], [10].

С другой стороны, увеличение расстояния между узловыми устройствами в LR-PON приводит к ряду проблем, среди

которых можно отметить передачу сигнала, с возможным дрейфом длины волны в 20 нм. Эта величина считалась несущественной для традиционных PON, но для LR-PON требуется специальное решение, которое реализуется за счет использования более дорогих передатчиков (технология reflective ONU – R-ONU).

Следующим вопросом, который следует учитывать при развёртывании LR-PON, является необходимость усиления сигнала при увеличении расстояния до узлов сети. Это сопровождается негативными явлениями, такими как амплитудная спонтанная эмиссия (ASE), которая является побочным продуктом работы эрбиевых оптических усилителей (EDFA). Для снижения эффекта ASE применяют двойное поэтапное промежуточное усиление, а так же управление коэффициентом усиления, в соответствии с конкретным расстоянием до узлового устройства.

При увеличении дальности передачи увеличивается задержка передачи данных по запросу от ONU. Нормы на задержку в сети доступа – приблизительно 1-2 миллисекунды для приложений в реальном времени. Чтобы задержка на передачу соответствовала нормам, разрабатываются алгоритмы динамического выделения пропускной способности. Топология "дерева", используемая в традиционных PON, может обладать надёжностью ниже требуемой. Для повышения надёжности применяется топология "кольцо с ответвлениями", где все сплиттеры соединяются в кольцо и имеют ответвления к ONU [11], [12].

### 3. Надёжность LR-PON

При увеличении дальности и пропускной способности сетей PON, к надёжности сети предъявляются всё более жёсткие требования. Для обеспечения коэффициента готовности, равного 0,99999, длительность простоя сети в течение года не должна превышать 5,3 минуты. Без улучшения характеристик надёжности сети доступа выполнить это требование не представляется возможным [13].

Надёжность является одной из важнейших характеристик качества объекта. Она объединяет свойства, определяющие пригодность его использования по назначению. Надёжность сети связи определяет устойчивость её функционирования.

Устойчивость сетей нарушается в результате воздействия разнообразных дестабилизирующих факторов, что требует разработки целого комплекса мероприятий по повышению надёжности сети [14].

В теории надёжности различают несколько атрибутов надёжности, таких как безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость. Показателями надёжности сети являются коэффициент готовности, интенсивность отказов, MTTF (Mean Time To Fault) – среднее время наработки на отказ и др. [15]. MTTF наряду с MTBF (Mean Time Between Failure) – средним временем между отказами и MTTR (Mean Time to Repair) – средним временем восстановления, широко используется для оценки надёжности технических систем [16].

При создании новых систем для обработки информации перед разработчиками стоят две основные задачи. Это обеспечение высокой производительности и надёжности сети при минимальных затратах. Эти задачи противоречивы, и в каждом конкретном случае необходимо принимать компромиссное решение. Надёжность напрямую определяется количеством отказов, возникающих в системе. Предотвращение отказов реализуется путем повышения технологического уровня изготовления компонентов системы, минимизации ошибок разработчиков. Улучшению надёжностных характеристик от-

дельных подсистем способствует входной контроль, повышение степени интеграции элементов, эффективные методы рассеивания тепловой энергии [17].

Еще один способ повышения надёжности – создание отказоустойчивых систем. Здесь, при возникновении отказов используются эффективные методы устранения их последствий. Отказоустойчивость системы обеспечивается введением избыточности, т.е. созданием определенных запасов или резервов. В отказоустойчивых информационных системах может быть использована избыточность параметрическая, временная, алгоритмическая и структурная [18].

Для решения задач повышения надёжности, т.е. сокращения частоты возникновения отказов и длительности простоев, с успехом могут применяться статистические методы повышения качества. В частности, с их помощью можно прояснить картину распределения простоев. Такого рода проблемы можно успешно решать с помощью диаграмм Парето [19], [20].

Другим статистическим методом оптимизации вероятности безотказной работы сети может служить метод Монте-Карло [21]. В [22] представлена реализация метода Монте-Карло при оптимизации сетей с коммутацией пакетов по надёжности и стоимости. Однако, результаты получаемые статистическими методами имеют низкую степень точности, и в сетях с повышенными требованиями к готовности должны подтверждаться другими методами.

Процессы, происходящие в телекоммуникационных сетях можно исследовать с использованием нескольких подходов. Сеть абонентского доступа представляется как система, т.е. совокупность независимых элементов и связей между ними. Рассмотрение характеристик системы, и прежде всего речь идет о надёжности, немислимо без использования системного подхода. [23] Направление системной инженерии на сегодняшний день популярно и бурно развивается. Исследователи работают в этом направлении в рамках теории, так называемой системы систем – SoS [24]. В [25] авторами проведены исследования надёжности телекоммуникационной сети методами теории SoS, такими как HAZOP (hazard and operability analysis) – анализ опасностей и удобства использования, FTA (fault tree analysis) – анализ дерева отказов, и BN (Bayesian networks) – Байесовских сетей.

Для декомпозиции системы, которой в исследованиях выступает сеть абонентского доступа, практически повсеместно используются методы теории графов [5], [6], [26], [27]. Общепринято, что вершинами графа выступают узловые устройства сети, а ребрами – линейные сооружения. В [28] от теории графов, авторы переходят к исследованию сетей абонентского доступа с применением инструментов теории гиперграфов и гиперсетей.

Для моделирования функционирования сети связи в [29] была использована среда имитационного моделирования AnyLogic. При этом разработанная имитационная модель может быть использована для исследования влияния различных способов структурного резервирования и методов защиты от атак на комплексные показатели надёжности функционирования сети связи, например на коэффициенты готовности  $K_g$  и простоя  $K_p$ .

В [30] и [31] проектирование надёжных LR-PON производится методом смешанного целочисленного линейного программирования (MILP), а также эвристическими алгоритмами планирования. Модель планирования, основанная на MILP, в основном учитывает ограничения по стоимости и готовности и направлена на обеспечение максимально возможной зоны покрытия. К эвристи-

ческим методам относится метод в основу которого положено нахождение первого ONU с наиболее низким требованием к готовности (LOWLARF). При этом, на некоторой площади производится поиск мест расположения сначала OLT и оптического сплиттера, а затем ONU с параметрами надёжности, самыми низкими из разрешенных. После этого схема проверяется по стоимостным ограничениям. Действия повторяются до нахождения оптимальной схемы по стоимости и надёжности сети.

В рассмотренной группе методов исследуются три типа структур LR-PON, называемые как ТИП-А ТИП-Б, и ТИП-С. В случае ТИП-А защищается трафик между OLT и оптическим сплиттером путем разветвления резервных волокон между этими устройствами. ТИП-Б повторяет первую схему, и к тому же предусматривает резервирование OLT. В сетях ТИП-С дополнительно резервируются все линии между оптическим сплиттером и ONU, таким образом, происходит 100% резервирование всей сети.

В работе приведены численные результаты для рассматриваемых типов сетей, посредством двух разных методов (MILP и LOWLARF). Авторы делают вывод, что политики, обеспечивающие более низкую готовность то есть, ТИП-А, и ТИП-В способны к покрытию больших расстояний ONU-OLT по сравнению с политикой ТИП-С.

В [32] были предложены способы повышения надёжности PON, которые могут быть распространены и на сети дальнего действия LR-PON. Речь идет о сборе и накоплении информации об отказах. При этом разрабатывается система мониторинга PON на основе Smart Access Network Testing, Analyzing and Database (SANTAD) – так называемой интеллектуальной сети доступа с тестированием, анализом и базой данных. Ключевая идея состоит в том, чтобы накопить измерения с помощью контроллера оптического временного интервала (optical time domain reflectometer – OTDR), которые будут выведены на экран администратора, для централизованного контроля и детального анализа вероятности отказов в сети. При возникновении отказов, такая информация может оперативно направляться наладчикам. Система точно обнаруживает и определяет местоположение отказов оптического кабеля, и оповещает наладчиков о возникновении отказа в течение 30 секунд. При накоплении информации, база данных позволяет сетевым операторам оценивать долгосрочную производительность сети.

Другое направление обеспечения надёжности пассивных оптических сетей доступа основано на использовании новых сетевых устройств. В [33] рассматриваются сети с использованием решёток на основе массива волноводов (Arrayed-waveguide grating – AWG). Здесь используется меньше активных компонентов, что обеспечивает более быстрое развертывание, простоту конфигурирования, и снижение требований к обслуживанию. В чрезвычайных ситуациях сети AWG могут быть оптимальным решением, чтобы обеспечить защиту против более чем двух одновременных отказов. Архитектура сети в этом случае является двойным кольцом, где развертываются два независимых кольца с четырьмя AWG.

Вносимые потери в AWG около 4-5 дБ (независимо от количества каналов), и это гораздо меньше, чем у оптических кроссов. Однако у AWG есть и недостатки. Может происходить сдвиг центральной длины волны решётки в зависимости от изменения окружающей температуры на величину  $0,01 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ , что исключает использование AWG в области больших температурных изменений, где предельные значения могут колебаться с  $-40^\circ\text{C}$  до  $+85^\circ\text{C}$  [34].

Вопросы, основанные на сетевой защите и восстановлении LR-PON, рассматриваются в [35]. Авторами экспериментально исследуется автоматическая схема защитного переключения, которая использует чувствительный модуль защиты. При возникновении отказов в сети, модуль защиты производит переключение трафика в пределах 12 мс для всех клиентов. Схемой предусмотрена дополнительная возможность, позволяющая переключать передатчик в пределах 2 мс с момента обнаружения отказа. Длины волн мультиплексируются в СО и передаются одновременно по двум фидерным волокнам к оборудованию OLT (мультиплексору WDM), реализуя, таким образом, 100%-резервирование линии.

При возникновении отказа в фидере, модуль защиты переключает трафик на резервный фидер, с сохранением работы всей сети. В [35] описан механизм обратной связи, который реализует оповещение об отказе, рассчитаны параметры сети доступа. Исследования WDM-PON приведены в [36]. Рассматривается WDM-PON с функциями защиты и локализации ошибок. Два фрагмента сети с точки зрения защиты, образуют кольцевую систему, в которой работоспособность возможна даже при возникновении нескольких отказов волоконных линий. Переключение происходит автоматически, не прерывая обслуживания клиентов. Обрыв волокна, локализация отказа и автоматическая защита с переключением на соседний ONU, в реальном времени исследованы экспериментально. Оптимизировано количество волокон, требуемых для защиты.

В [37] рассматривается два вида PON. PON с топологией кольца противопоставляется PON с древовидной топологией с использованием ХЭШ-функции (SHA). На кольцевой топологии предусмотрено два маршрута, переключение между которыми происходит при отказе одного из маршрутов. В PON с древовидной топологией доведение данных до пользователей основывается на агрегации данных. ХЭШ-функция решает вопросы аутентификации пользователей. Дано сравнение параметров надёжности для двух видов топологии. Представлены данные о времени, затраченном на восстановление после отказа, которые доказывают преимущество древовидной топологии.

В [38], [39] и др. ставятся вопросы об использовании совместно с волокном беспроводных сегментов передачи (Mesh-



Рис. 1. Направления исследований LR-PON, с позиций теории надёжности

сети, FAWNA – fiber aided wireless network architecture). В [38] описываются Mesh-сети, трафик в которых доводится по оптическому волокну до Mesh-портала, а затем передача реализуется по беспроводным технологиям. В [39] проводятся расчёты пропускной способности и приводится обоснование преимуществ смешанной архитектуры оптоволоконно – беспроводные технологии. Затронутые в статье направления по оптимизации пассивных оптических сетей дальнего действия LR-PON, с точки зрения теории надежности, можно представить в виде схемы (рис. 1) [15].

#### 4. Выводы

В статье представлен краткий обзор направлений исследования сетей абонентского доступа. Одной из успешно развивающихся разновидностей таких сетей можно считать сети LR-PON. Сети доступа в настоящее время широко изучаются с использованием различных методов в рамках множества научных теорий. Особое внимание исследователей направлено на оптимизацию сетей доступа, при этом, характерным является то, что исследователи обращают мало внимания на учет реальной топологии таких сетей. Как правило, рассматриваются базовые абстрактные топологии, без учета особенностей местности, на которой строится сеть. При исследовании сети доступа не учитываются условия сооружения линейных объектов связи. Представляется необходимой более детальная проработка вопроса оптимизации топологий LR-PON с учётом реальных условий прокладки волокон.

#### Литература

1. Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения. – Пермь, "Энтер-профи", 1999. – 208 с.
2. Ribes S.S., Garcia A.E. State of the Art in Resource Management on Wired and Wireless Access Networks with Resilience. Universitat Politècnica de Catalunya, 2003. – 193 p.
3. Vasseur J.-P., Pickavet M., Demeester P. Network Recovery: Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP, and MPLS. The Morgan Kaufmann Series in Networking, 2004. – 521 p.
4. Koudrin A. Network Reliability and Resiliency in Next Generation Networks at Physical, Datalink, and Network Layers. Victoria University of Wellington. 2007. <http://homepages.mcs.vuw.ac.nz/~peterk/geii/alex-koudrin-thesis.pdf> (дата обращения 12.11.2013).
5. Никульский И.Е. Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа. – М.: Техносфера, 2006. – 256 с.
6. Глуценко Д.В. Пассивные оптические сети доступа: выбор очевиден // Веснік сувязі. – №4 (102), 2010. – С. 54-57.
7. Shaw W.T., Wong S.W., Cheng N., Balasubramanian K., Zhu X., Maier M., Kazovsky L.G. Hybrid Architecture and Integrated Routing in a Scalable Optical-Wireless Access Network // Journal Of Lightwave Technology. – Vol. 25. – No. 11, november 2007, pp. 3443-3451.
8. Kazovsky L.G., Shaw W.-T., Gutierrez D., Cheng N., and Wong S.-W. Next-Generation Optical Access Networks // Journal Of Lightwave Technology. – Vol. 25. – No. 11, November 2007, pp. 3428-3442.
9. Ghazisaidi N., Scheutzow M., Maier M. Survivability Analysis of Next-Generation Passive Optical Networks and Fiber-Wireless Access Networks // IEEE Transactions On Reliability, vol. 60, no. 2, June 2011, pp. 479-492.
10. Race for NGPON 2 heats up, Stephen Wilson/Informations Telecoms and Media, February 23, 2012, <http://www.telecomasia.net> (дата обращения 20.08.2013).
11. Song B.H. Long-Reach Passive Optical Networks. Dissertation Submitted in partial satisfaction of the requirement for the degree of doctor of philosophy. University Of California, Davis. 2009. – 109 p.
12. Song B.H., Kim B.-W., Mukherjee B. Long-Reach Optical Access Networks: A Survey of Research Challenges, Demonstrations, and Bandwidth Assignment Mechanisms // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – Vol. 12. – No. 1. 2010, pp. 112-123.
13. Егунов М.М., Шувалов В.П. Анализ структурной надежности транспортной сети // Вестник СибГУТИ. – № 1, 2012. – С. 54-59.
14. ГОСТ Р 53111-2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки.
15. Громов Ю.Ю., Иванова О.Г., Мосягина Н.Г., Набатов К.А. Надежность информационных систем: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 160 с. ISBN 978-5-8265-0911-1.
16. Торелл В., Авеляр В. Среднее время между отказами: описание и стандарты // APC, Legendary Reliability. – №78, 2004. – 13 с.
17. Егунов М.М., Шувалов В.П. Резервирование и восстановление в телекоммуникационных сетях // Вестник СибГУТИ. – №2, 2012. – С. 3-9.
18. Яковлев А.В. Надежность информационных систем. Лекционный материал. – Муром, 2004. – 63 с.
19. Немес В.А. Применение анализа Парето для повышения надежности. Quality.eur.ru. (дата обращения 21.09.2013).
20. Королёв В.А. О природе принципа Парето. Quality.eur.ru (дата обращения 22.09.2013).
21. Соболев И.М. Метод Монте-Карло. "Популярные лекции по математике", вып. 46. – М.: Наука, 1968. – 64 с.
22. Алигулиев Э.А. Оптимизация вероятности безотказной работы сети с использованием статистических испытаний по методу Монте-Карло // E-journal Reliability: Theory & Applications, №1 (Vol.2) March 2007, – pp. 88-90.
23. Юдин Э.Г. Системный подход и принцип деятельности. Методологические проблемы современной науки. АН СССР. Институт истории естествознания и техники. – М.: Наука, 1978. – 378 с.
24. Levenchuk A. О системах систем и их моделировании. <http://ailev.livejournal.com/991792.html> (дата обращения 01.02.2014).
25. Tsilipanos K., Neokosmidis I., Varoutas D. A System of Systems Framework for the Reliability Assessment of Telecommunications Networks // IEEE Systems Journal. – Vol. 7. – No. 1, March 2013, pp. 114-124.
26. Рояк М.Э., Рояк С.Х. Теория графов. Методические указания к практическим занятиям и выполнению РГР по курсу "Дискретная математика" ЧАСТЬ 2. НГТУ. Новосибирск, 1998. – 38 с.
27. Никульский И.Е. Модели и методы построения широкополосных оптических сетей доступа: диссертация ... доктора технических наук: 05.12.13 / Никульский Игорь Евгеньевич; [Место защиты: ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций"]. – Санкт-Петербург, 2011. – 279 с.
28. Попков В.К., Попков Г.В., Величко В.В. Математические основы моделирования сетей связи. – М.: "Горячая линия-Телеком", 2012. – 183 с. ISBN: 978-5-9912-0266-7.
29. Закиров В.И., Золотухин В.В. Исследование надежности беспроводных сетей связи методом имитационного моделирования в среде AnyLogic // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов пятой юбилейной всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2011. Том 1. – СПб.: ОАО "ЦТСС". 2011. – С. 365-369.
30. Kantarci B., Mouftah H.T. Availability and Cost-Constrained Long-Reach Passive Optical Network Planning // IEEE Transactions on Reliability. – Vol. 61. – No. 1, March 2012, pp. 113-124.
31. Kantarci B. and Mouftah H.T. Availability and Cost Constrained Fast Planning of Passive Optical Networks under Various Survivability Policies // 35th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks LCN. Denver, Colorado, 2010, pp. 113-124.
32. Boonchuan Ng, M. Syuhaimi Ab-Rahman. K. Jumari. Graphical User Interface for PON Network Management System // Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Malaysia. InTech. May 2010, pp. 81-105.
33. Simmons J.M. Survivable Passive Optical Networks Based on Arrayed-Waveguide-Grating Architectures // Journal Of Lightwave Technology. – Vol. 25. – No. 12, December 2007, pp. 3658-3668.
34. Попович Ж. Следующее поколение пассивных оптических сетей // АО Эрикссон Никола Тесла, г. Загреб, Хорватия, Revija BR.1, 2010. – с. II/22-II/40.
35. Wong E., Lee K.-L. Automatic protection, restoration, and survivability of long-reach passive optical networks // IEEE ICC 2011, pp. 305-310.
36. Cheng X., Wen Y.J., Xu Z., Wang Y., Yeo Y.-K. Survivable WDM-PON with self-protection and in-service fault localization capabilities // Optics Communications. – Vol. 281. – No. 18, June 2008, pp. 4606-4611.
37. Malhotra R., ManindarPal Dr. Performance analysis in Passive Optical Networks (PONs) // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – Vol. 1, Issue 4, June 2012, pp. 263-267. ISSN: 2278-1021.
38. Вишневецкий В., Лаконцев Д., Сафонов А., Шнилеев С. Mesh-сети стандарта IEEE 802.11s – технологии и реализация // Первая миля 2-3/2008. – С. 26-31.
39. Ray S., Miedard M., Zheng L. Fiber Aided Wireless Network Architecture. / IEEE Journal on selected areas in Communications. – Vol. 29. – No. 6, June 2011, pp. 1284-1294.

## THE RELIABILITY OF SUBSCRIBER ACCESS NETWORKS LR-PON

Ignatov A.V., Novosibirsk, Russia, [igsascha@mail.ru](mailto:igsascha@mail.ru); Shuvalov V.P., Novosibirsk, Russia, [shvp04@mail.ru](mailto:shvp04@mail.ru)

**Abstract.** The basic principles of construction of the modern subscriber access network are considered. The description of optical networks PON and LR-PON as the further development of PON are given. The analysis of approaches to ensuring reliability of passive optical long-range networks was conducted (LR-PON). A classification of research directions of LR-PON reliability is given. The conclusions were made about the advisability of further work on the research issues of indicators of LR-PON reliability.

**Keywords:** subscriber access network, Next Generation Network, LR-PON, reliability, optimization access networks.

## References

1. Sokolov N.A. Principles of construction. Subscriber access network. Perm. Enter-pro. 1999. 208 p. (in Russian).
2. Ribes S.S., Garcia A.E. State of the Art in Resource Management on Wired and Wireless Access Networks with Resilience. Universitat Politecnica de Catalunya, 2003. 193 p.
3. Vasseur J-P., Pickavet M., Demeester P. Network Recovery: Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP, and MPLS. The Morgan Kaufmann Series in Networking, 2004. 521 p.
4. Koudrin A. Network Reliability and Resiliency in Next Generation Networks at Physical, Datalink, and Network Layers. Victoria University of Wellington. 2007. <http://homepages.mcs.vuw.ac.nz/~peterk/geii/alex-koudrin-thesis.pdf> (date of application 12.11.2013).
5. Nikulsky I.E. Optical interfaces of digital switching stations and network access. Moskow. Technosphere. 2006. 256 p. (in Russian).
6. Gluschenko D.V. Passive optical access networks: the choice is obvious. Herald of communications. No.4 (102). 2010, pp. 54-57. (in Russian).
7. Shaw W.T., Wong S.W., Cheng N., Balasubramanian K., Zhu X., Maier M., Kazovsky L.G. Hybrid Architecture and Integrated Routing in a Scalable Optical-Wireless Access Network. Journal Of Lightwave Technology. Vol. 25. No. 11, november 2007, pp. 3443-3451.
8. Kazovsky L.G., Shaw W.-T., Gutierrez D., Cheng N., and Wong S.-W. Next-Generation Optical Access Networks. Journal Of Lightwave Technology. Vol. 25. No. 11, November 2007, pp. 3428-3442.
9. Ghazisaidi N., Scheutzw M., Maier M. Survivability Analysis of Next-Generation Passive Optical Networks and Fiber-Wireless Access Networks. IEEE Transactions On Reliability. Vol. 60. No. 2, june 2011, pp. 479-492.
10. "Race for NGPON 2 heats up", Stephen Wilson/Informations Telecoms and Media, February 23, 2012, <http://www.telecomasia.net> (application 20.08.2013).
11. Song B.H. Long-Reach Passive Optical Networks. Dissertation Submitted in partial satisfaction of the requirement for the degree of doctor of philosophy. University Of California, Davis. 2009, 109 p.
12. Song B.H., Kim B.-W., Mukherjee B. Long-Reach Optical Access Networks: A Survey of Research Challenges, Demonstrations, and Bandwidth Assignment Mechanisms. IEEE Communications Surveys & Tutorials. Vol. 12. No. 1. 2010, pp. 112-123.
13. Yegunov M.M., Shuvalov V.P. Analysis of structural reliability of the transport network. Herald of SibGUTI. No. 1. 2012. pp. 54-59. (in Russian).
14. GOST R 53111-2008. Sustainability of the public communication network. Requirements and test methods. (in Russian).
15. Gromov Y.Y., Ivanova O.G., Mosyagina N.G., Nabatov K.A. Reliability of information systems: a tutorial. Tambov. Publisher GOU VPO TGTU. 2010. 160 p. ISBN 978-5-8265-0911-1 (in Russian).
16. Thorell B., Avelyar B. Mean Time Between Failure: Explanation and Standards. APC, Legendary Reliability, Informative article No.78. 2004, p.13. (in Russian).
17. Yegunov M.M., Shuvalov V.P. Backing up and restoring in telecommunication networks. Herald of SibGUTI. No. 2. 2012, pp. 3-9. (in Russian).
18. Yakovlev A.V. Reliability of information systems. Lecture material. Murom. 2004, p.63. (in Russian).
19. Netes V.A. Application of Pareto analysis to improve reliability. Quality.eup.ru. (date of application 21.09.2013). (in Russian).
20. Korolev V.A. About the nature of the Pareto principle. Quality.eup.ru. (date of application 22.09.2013). (in Russian).
21. Sobol I.M. Monte-Carlo's method. "Popular lectures on mathematics", edition 46. Moscow. Nauka. 1968, p. 64. (in Russian).
22. Zliguliyev E.A. Optimization probability of Network Uptime through the use of statistical tests on the Monte Carlo's method. E-journal Reliability: Theory& Applications. No.1 (Vol.2) March 2007, pp. 88-90. (in Russian).
23. Yudin E.G. Systematic approach and the principle of activity. Methodological problems of modern science. USSR Academy of Sciences. Institute for the History of Science and Technology. Moscow. 1978. 378 p. (in Russian).
24. Levenchuk A. On systems of systems and their modeling. <http://ailev.livejournal.com/991792.html> (date of application 01.02.2014).
25. Tsilipanos K. Neokosmidis I., Varoutas D. A System of Systems Framework for the Reliability Assessment of Telecommunications Networks. IEEE Systems Journal, Vol. 7. No. 1, march 2013. pp. 114-124.
26. Royak M.E. Graph theory. Methodical instructions for practical exercises and implementation of RGR course "Discrete Mathematics" Part 2, NGTU. Novosibirsk. 1998. 38 p. (in Russian).
27. Nikulsky I.E. Models and methods of construction of broadband optical access networks: the dissertation...Dr.Sci.Tech 05.12.13 / Nikulsky Igor; a guard Place: Saint-Petersburg State University of Telecommunications). St. Petersburg, 2011. 279 p. (in Russian).
28. Popkov V.K., Popkov G.V., Velichko V.V. Mathematical bases of modeling communications networks. Moscow. Hotline - Telecom. 2012. 183 p. ISBN:978-5-9912-0266-7(in Russian).
29. Zakirov V.I., Zolotukhin V.V. Research on reliability of wireless communications networks by simulation in the environment AnyLogic. Simulation. Theory and practice: Proceedings of the fifth anniversary all-Russian scientific-practical conference IMMOD 2011. Vol. 1. SPb. SSTC. 2011, pp. 365-369. (in Russian).
30. Kantarci B., Mouftah H.T. Availability and Cost-Constrained Long-Reach Passive Optical Network Planning. IEEE Transactions on Reliability. Vol. 61. No. 1, march 2012, pp. 113-124.
31. Kantarci B. and Mouftah H.T. Availability and Cost Constrained Fast Planning of Passive Optical Networks under Various Survivability Policies. 35th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks LCN. Denver, Colorado. 2010, pp. 113-124.
32. Boonchuan Ng, M. Syuhaimi Ab-Rahman. K. Jumari. Graphical User Interface for PON Network Management System. Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Malaysia. InTech. May 2010, pp. 81-105.
33. Simmons J.M. Survivable Passive Optical Networks Based on Arrayed-Waveguide-Grating Architectures. Journal Of Lightwave Technology. Vol. 25. No. 12, December 2007, pp. 3658-3668.
34. Popovic J. The next generation of passive optical networks. JSC Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, Croatia, Revija BR.1, 2010, pp. 11/22 - 11/40. (in Russian).
35. Wong E., Lee K.-L. Automatic protection, restoration, and survivability of long-reach passive optical networks. IEEE ICC 2011, pp. 305-310.
36. Cheng X., Wen Y.J., Xu Z., Wang Y., Yeo Y.-K. Survivable WDM-PON with self-protection and in-service fault localization capabilities. Optics Communications. Vol. 281. No. 18, June 2008, pp. 4606-4611.
37. Malhotra R., ManindarPal. Dr. Performance analysis in Passive Optical Networks (PONs). International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. Vol. 1, Issue 4, June 2012, pp. 263-267. ISSN: 2278-1021.
38. Vishnevsky V., Lakontsev D., Safronov A., Shpilev S. Mesh-standard network. The first mile 2-3/2008, pp. 26-31. (in Russian).
39. Ray S., Miedard M., Zheng L. Fiber Aided Wireless Network Architecture. IEEE Journal on selected areas in Communications. Vol. 29. No. 6, june 2011, pp. 1284-1294.