

УДК 654.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДОСТУПА (LR-PON)

**Старовойтов Р. Д., магистрант; Червинский В. В., доц., к.т.н., доц.**  
(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Целью статьи является обзор современного состояния и развития сетей абонентского доступа LR-PON, являющихся развитием пассивных оптических сетей абонентского доступа PON. Основное внимание уделено исследованиям в области оптимизации сетей абонентского доступа по критерию надёжности.

### 1. Анализ широкополосных пассивных оптических сетей доступа.

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

Медные технологии успешно заменили пассивные оптические сети (PON – Passive Optical Networks), которые вместо использования соединения точка-точка (P2P) используют архитектуру точка-многоточка (P2MP).

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.

Как правило, сеть PON имеет топологию «дерево» 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.

NGPON все чаще заменяют 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.

### 2. Надежность 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 надежности сети доступа выполнить это требование не возможно. Надежность 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. Атрибутами надёжности сети являются 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. 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. При создании новых систем для обработки информации перед разработчиками стоят две основные задачи – обеспечение высокой производительности и надежности сети при минимальных затратах.

Применительно к сетям широкополосного доступа, в частности к пассивным оптическим сетям, отказом можно считать нарушение работоспособности услуг (сервисов) предоставляемых абонентам посредством этой сети. В качестве критерия отказа линии пассивных оптических сетей можно принять превышение нормированных значений общих или возвратных потерь.

Отказы делятся на внезапные и постепенные. К причинам постепенных отказов физического канала пассивных оптических сетей относятся температура, влажность и внутреннее напряжение в оптическом волокне. К основным причинам внезапных отказов – внешние механические воздействия, которые в свою очередь, зависят от условий среды эксплуатации сети. Анализ статистических данных ведущих операторов связи показывает, что основными причинами внезапных отказов являются: производство работ третьими лицами, вандализм, природные катаклизмы, атаки грызунов, коммунальные аварии, возгорания.

Исследованию процессов, приводящих к постепенным отказам элементов волоконно-оптических сетей связи, посвящен ряд работ российских и зарубежных ученых.

Менее изученными являются внезапные отказы. Прогнозирование внезапных отказов осложняется большим количеством факторов, влияющих на их возникновение, определяется при помощи усреднения имеющихся статистических данных и принимается за константу. При этом изменение начальных условий, которое, безусловно, влияет на конечный результат, не учитывается при расчете. Для решения этой задачи необходимо использовать методы обладающие свойствами адаптивности к изменяющимся исходным данным и позволяющие не только высчитывать конечный результат на основании имеющихся исходных данных по известной зависимости, но и определять эту зависимость. Один из вариантов исследований подобного типа процессов – применение искусственных нейронных сетей. Процесс решения задачи с помощью искусственной нейронной сети можно разделить на этапы:

- определение исходных данных;
- подготовка и нормализация данных;
- выбор топологии сети;
- обучение;
- проверка адекватности обучения.

К первичному набору исходных данных отнесены: плотность населения в районе функционирования сети, состояние коммуникаций в зоне охвата сети, состояние жилого фонда в зоне охвата сети, механическая стойкость элементов сети, климатические условия региона, в котором эксплуатируется сеть, уровень преступности в регионе, наличие конкурентов.

В качестве целевых показателей, основываясь на имеющихся статистических данных (данные о внезапных отказах оптических сетей доступа, полученные от операторов связи),

установлены классы надежности для каждого элемента пассивных оптических сетей. Таким образом, задача прогнозирования внезапных отказов элементов сети сводится к задаче их классификации.

Исходные данные приведены к числовому виду и масштабированы, с целью обеспечить их нахождение в ограниченном числовом диапазоне. Для каждой группы элементов физического канала пассивной оптической сети выделены категории классификации, определенные диапазонами интенсивности внезапных отказов.

Определение целевой категории, характеризующей прогнозируемую интенсивность отказов элемента, осуществляется на основе конкуренции между нейронами выходного уровня. При решении ряда практических задач, востребованным является представление результата в вероятностной форме. Применительно к решаемой задаче вероятность соответствия объекта исследования к каждой целевой категории  $k$  классификации можно определить из выражения (1).

$$P_k = \frac{o_k}{\sum_1 o_k} \quad (1)$$

### 3. Построение топологии LR-PON.

Поскольку LR-PON в классическом виде имеет древовидную структуру, начнём с неё. Топология типа «дерево» подразумевает, что сеть имеет «корень», «ветви» и «листья». «Корнем» в LR-PON является PON порт OLT, в роли «листьев» выступают ONU, в качестве «ветвей» можно рассматривать оптические кабели, проложенные на всём пути от OLT к ONU. Таким образом, на базе одного OLT возможно построить 4 дерева ёмкостью 64 абонента каждое.

Деревья условно делятся на 2 типа: «одинокое растущее дерево» и «лесопосадка». Первый тип использует географически независимые друг от друга узлы деления, то есть дерево «произрастает» отдельно от остальных. Второй – дерево 4-в-одном, корень, ветви и узлы деления которого «наложены» друг на друга и географически представляют собой одну и ту же точку или линию.

Другими словами, разница в том, что первый тип дерева («одинокое-растущее дерево») обслуживает до 64-х абонентов, используя отдельный многоволоконный (до 8-ми волокон) кабель на каждое направление, в то время, как второй тип дерева («лесопосадка», или «мультидерево») имеет большую ёмкость абонентов (256 и более) и использует меньше волокон (4, 8, редко – больше) для обслуживания абонентов.

Основным достоинством первого типа дерева является простота понимания процесса построения сети. Кроме того, первый тип дерева обеспечивает относительно удобное освоение конкретного направления: один порт на один микрорайон с возможностью ветвления «на месте».

Главным недостатком является отклонение от концепции экономии волокна в пользу простоты исполнения топологии сети: используется 4 независимых многоволоконных магистральных кабеля для построения сети на 256 абонентов под управлением одного OLT.

Второй тип дерева («лесопосадка», или «мультидерево») более элегантен, но более сложный с точки зрения проектирования. Этот тип дерева и является классикой построения древовидных пассивных сетей. Классическое PON-дерево удобно разворачивать в небольших населенных пунктах или микрорайонах с высокой плотностью застройки и большим количеством потенциальных абонентов, географически расположенных рядом.

«Мультидерево» может быть построено на базе любых делителей: 1x2 сварные с процентным соотношением мощности выходных сигналов, планарные 1x2, 1x4, 1x8, 1x16 с одинаковыми показателями затуханий на каждом выходе. Концепция PON-дерева предполагает, что пассивная сеть может быть построена на базе комбинации любых делителей с учётом соблюдения основного правила: делить дерево нельзя больше, чем на 64 абонента с соблюдением оптического бюджета системы 30дБ.

Основным достоинством «мультидерева» является экономия волокна и простота включения нового абонента.

Основные недостатки: сложность первоначального проектирования и риски, связанные с неверным планированием числа возможных абонентов.

Второй способ подключения типа «звезда» удобно использовать только в том случае, если большое количество абонентов размещено на небольшом удалении от делителя и есть возможность прокладки абонентских патч-кордов каждому абоненту в дом.

Достоинства «звезды» проявляют себя только в случае высокой плотности абонентов на малой площади. В остальных случаях практичнее использовать «дерево» или «шину».

«Шина» в LR-PON-сетях развёртывается на одном волокне с использованием каскада сварных делителей 1x2 с процентным соотношением мощности выходных сигналов. При этом, вход первого делителя подключается к PON-порту OLT, а остальной каскад строится по принципу «большая мощность – в линию», то есть большая мощность выходного сигнала поступает в магистральную линию и питает весь дальнейший каскад делителей, а меньшая выходная мощность отводится для подключения абонента.

При разработке структуры сети LR-PON для конкретного объекта возникает вопрос ее оптимизации, то есть построения с учетом некоторого критерия, как правило, стоимостного, требующего минимизации. В более сложных случаях задача является многокритериальной, где наряду со стоимостью сети, требуется учет таких показателей, как, например, надежность сети. Поскольку технология LR-PON находится в стадии разработки, разработка методов их оптимального развертывания в будущем является актуальной задачей.

Вывод.

В статье представлен краткий обзор направлений исследования сетей абонентского доступа. Одной из успешно развивающихся разновидностей таких сетей можно считать сети LR-PON. Особое внимание при разработке таких сетей направлено на оптимизацию их структуры и обеспечение высокого уровня надежности. Технология является развивающейся и исследование методов улучшения показателей ее применения является актуальной задачей.

#### Перечень ссылок

1. Пирмагомедов, Р. Я. О применении нейросетевых методов для прогнозирования показателей надежности пассивных оптических сетей [Электронный ресурс] / Р. Я. Пирмагомедов // Электронный научно-практический журнал «Современная техника и технологии». – 2014. – Режим доступа: <http://technology.snauka.ru/2014/01/2974>. – Загл. с экрана.
2. Игнатов, А. В. Надежность сетей абонентского доступа LR-PON / А. В. Игнатов, В. П. Шувалов // Т-Сотт : Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №5. – С. 25-30.
3. Никитин, Б. К., Пирмагомедов, Р.Я. Надежность пассивных оптических сетей. Возвратные потери [Электронный ресурс] / Б. К. Никитин, Р.Я. Пирмагомедов // Естественные и технические науки. – 2013. – Режим доступа: <http://naukarus.com/nadezhnost-passivnyh-opticheskikh-setey-vozvratnye-poteri>. – Загл. с экрана.