

УДК 621.391.63

Анализ живучести абонентских сетей доступа, построенных по технологии пассивных оптических сетей PON

Дано определение живучести сетей применительно к пассивным волоконно-оптическим сетям PON; осуществлен анализ живучести сетей PON, выполненных по стандартным топологиям «звезда» и «дерево».

Постановка задачи. В предыдущих работах авторов [1–4] были рассмотрены варианты построения пассивных волоконно-оптических сетей (PON) с точки зрения их применения в гибридных (волоконно-коаксиальных) сетях кабельного цифрового телевидения. Однако подобные сети с успехом могут быть использованы для двусторонней передачи информации, в том числе и не предназначенной для широкого круга абонентов. В этом случае актуальной становится проблема защиты от несанкционированного доступа или умышленного повреждения линии связи [5, 6].

При рассмотрении различных вариантов построения абонентских сетей доступа, основанных на технологии PON, одним из определяющих критериев является живучесть сети, показывающая в численном виде способность сети продолжать нормально функционировать после вредного воздействия злоумышленника (например, при попытке вызвать угрозу «отказ сервиса» с помощью разрыва ребер графа сети PON [5–7]). Настоящая работа посвящена анализу живучести сетей PON, выполненных по стандартным топологиям «звезда» и «дерево».

В [7] проведено исследование живучести сетей основных стандартных топологий (линейная, звездообразная и кольцевая сети), причем узел считался выжившим, если был связан с каким-либо другим узлом (хотя бы одним). «Одинокие» узлы, оставшиеся после вредного воздействия, во внимание не принимались, так как от сети они отрезаны, не принимают и не передают сообщения. В работе [8], опирающейся на [7], предлагается проводить анализ живучести пассивных волоконно-оптических



В.И. КИРИЛЛОВ,
докт. техн. наук,
проф. кафедры
метрологии
и стандартизации
УО «БГУИР»



Е.А. КОВРИГА,
инженер-администратор ТС
2-й кат. Гомельского филиала
РУП «Белтелеком», магистр техн. наук,
аспирант кафедры систем
телекоммуникаций УО «БГУИР»

сетей PON по показателю средней относительной длины пути (СОДП). Автор [8] вполне справедливо предлагает считать оптические разветвители (сплиттеры) транзитными узлами, осуществляющими только разделение потока оптического излучения между абонентскими узлами, и приводит теоретически верные выкладки для определения живучести сети согласно выбранной методике. Однако, по нашему мнению, полученные результаты справедливы только для стандартных сетей с топологией «звезда» и не в полной мере учитывают специфику пассивных сетей PON.

Например, из приведенных в [8] графиков зависимости показателя живучести сети D от размера сети (числа оконечных устройств) N следует, что живучесть сети возрастает и стремится к 1 с ростом числа узлов как для «звезды», так и для «дерева». Это вполне очевидно для «звезды», но у топологии «дерево» для PON есть свои особенности, связанные с тем, что абонентские оптические сетевые терминалы ONT не могут взаимодействовать между собой напрямую, а связываются только через оптический линейный терминал OLT [9]. Следовательно, к выжившим можно причислить только те узлы, которые не потеряли свою связь с OLT при удалении (разрыве) ребер графа сети PON. Узлы же, подключенные, например, к одному и тому же сплиттеру, но не связанные с OLT, можно считать «одиночками» – обмениваться сообщениями между

собой они не могут. Таким образом, можно утверждать, что живучесть сети PON D должна определяться как отношение числа выживших (и не потерявших связь с OLT при удалении ребер графа сети) абонентских устройств ONT к общему числу ONT. Это обстоятельство заставляет пересмотреть изложенную в [8] методику расчета живучести пассивных сетей PON.

Методика расчета живучести пассивных сетей PON. На рисунке 1 представлена пассивная оптическая сеть PON с топологией «звезда». Данная топология характеризуется минимальным количеством оптических разветвителей, размещенных в одном месте – в головном офисе, причем она применяется при плотном расположении абонентских узлов (иначе реализация данной топологии будет сопряжена с неоправданными материальными затратами) [9].

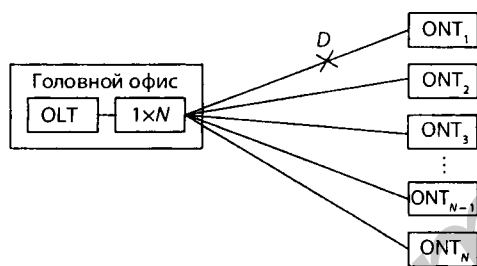


Рисунок 1 – Топология сети PON «звезда»

Предположим, что с какой-то вероятностью p из сети будет удалено (оборвано) одно ребро, например в точке D (рисунок 1). Очевидно, что общее число абонентских ONT будет равняться кратности сплиттера и составит N штук. Причем какое бы из ребер не было удалено, связи с OLT лишится только один ONT, т. е. число выживших абонентских терминалов составит $(N - 1)$ штук. Тогда по определению, данному в нашей работе выше, живучесть сети PON в описываемой ситуации составит

$$D_D = \frac{N - 1}{N}. \quad (1)$$

Теперь рассмотрим топологию «дерево» PON (рисунок 2). Данная топология характеризуется наличием нескольких оптических разветвителей и

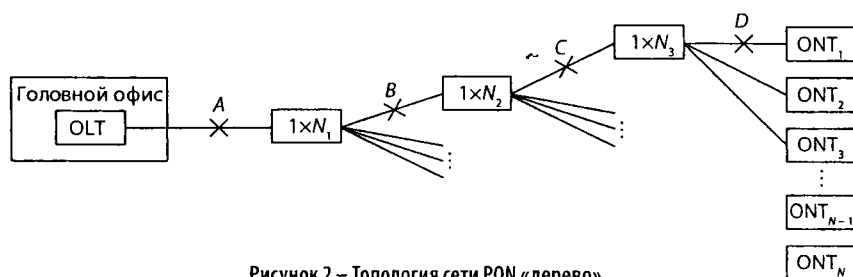


Рисунок 2 – Топология сети PON «дерево»

различными местами их установки. Она применяется при разнесенном расположении абонентов, обладает гибкостью с точки зрения потенциального развития и удобством расширения абонентской базы [9, 10].

Рассмотрим наиболее общий случай с использованием трех каскадов сплиттеров с кратностями N_1, N_2 и N_3 соответственно (как правило, большее число каскадов на практике не используют, так как «бюджет мощности» топологии «дерево» PON ограничен). Примем для удобства сравнения с топологией «звезда» общее число абонентских ONT, равным N штук. Очевидно, что

$$N = N_1 N_2 N_3. \quad (2)$$

В данном случае можно выделить четыре участка, удаление ребра на которых будет иметь существенно различные последствия. Так, разрыв в точке A (рисунок 2) приведет к тому, что не выживет ни один абонентский терминал; в точке B – выживет $N_2 N_3 (N_1 - 1)$ ONT, в точке C – $N_3 (N_1 N_2 - 1)$ ONT, в точке D – $(N_1 N_2 N_3 - 1) = (N - 1)$ ONT. Тогда живучесть «дерева» PON при разрыве ребра составит:

на участке A $D_A = 0,$

на участке B $D_B = \frac{N_1 - 1}{N_1}, \quad (3)$

на участке C $D_C = \frac{N_1 N_2 - 1}{N_1 N_2}, \quad (4)$

а на участке D совпадает с формулой (1).

Для большей наглядности приведем гистограммы зависимости живучести D от вида топологии сети PON и кратности сплиттеров, используемых на различных ступенях «дерева» PON (рисунок 3).

Как видно из рисунка 3, меньший урон сети PON будет нанесен при использовании топологии «звезда» или при разрыве ближайшего к ONT ребра в топологии «дерево» (точка D). При разрыве ребра в точке B «дерева» PON будет нанесен более значительный урон, однако его можно повысить увеличением кратности сплиттера N_1 (формула (3)) при одинаковом общем числе абонентских терминалов ONT.

Наиболее критичным для «дерева» PON является участок от OLT до первого сплиттера (точка A). Поэтому помимо так называемых «физических» средств защиты (датчиков вибраций, специальных конструкций волоконно-оптических кабелей, затурдяющих их

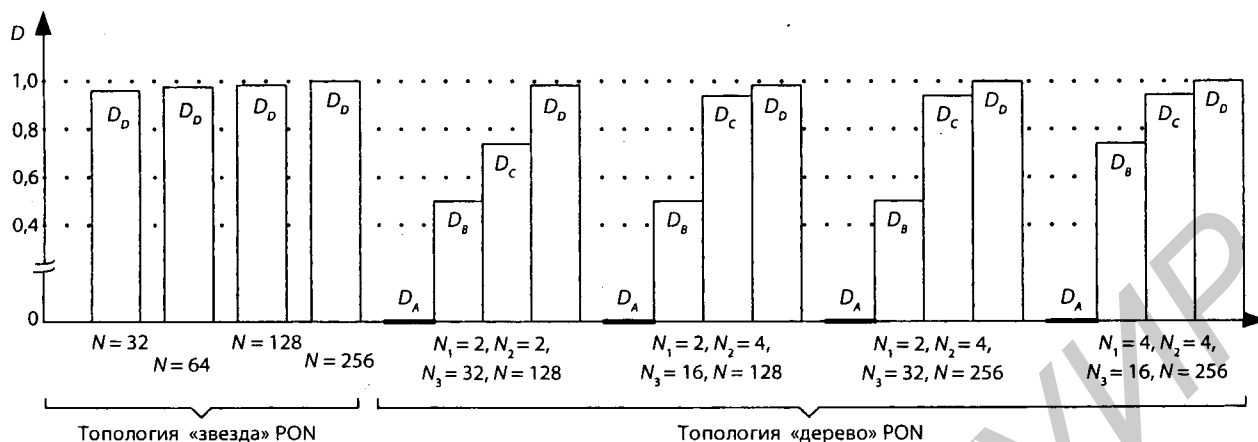


Рисунок 3 – Гистограммы живучести сетей PON

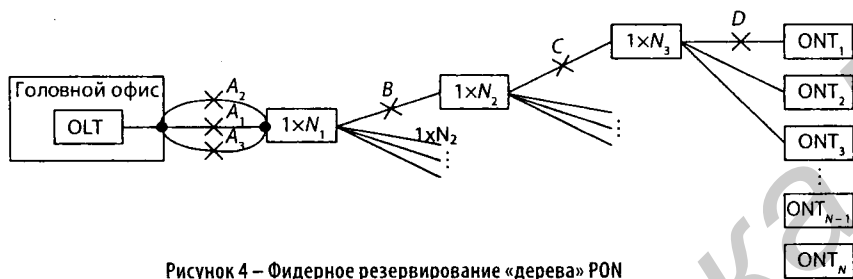


Рисунок 4 – Фидерное резервирование «дерева» PON

того, что вероятность разрыва одного ребра принята равной p , вероятность одновременного разрыва трех ребер составит p^3 , причем очевидно, что $p^3 \ll p$, так как $0 < p < 1$.

Таким образом, расчет живучести сетей PON следует производить еще на этапе планирования сети. При этом необходимо гибко подходить к вопросам резервирования и защиты от доступа посторонних лиц к тем или иным участкам сети в зависимости от ее назначения (степени важности передаваемой по ней информации) и условий прокладки (возможность проведения различных земляных работ и т. п.).

механическую разделку [5, 6]) целесообразно применять фидерное резервирование данного участка (рисунок 4) [1, 8, 9].

Преимущества такого варианта очевидны: для того чтобы получить полный обрыв резервируемого участка, необходимо разорвать три ребра – в точках A_1 , A_2 и A_3 . По теории вероятностей с учетом

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллов, В.И. Шумы в волоконно-оптических сетях кабельного цифрового телевидения / В.И. Кириллов, Е.А. Коврига // Веснік сувязі. – 2012. – № 4. – С. 37–41.
2. Кириллов, В.И. Анализ защищенности от собственных шумов в гибридных волоконно-коаксиальных сетях кабельного цифрового телевидения / В.И. Кириллов, Е.А. Коврига // Веснік сувязі. – 2013. – № 1. – С. 22–27.
3. Кириллов, В.И. Методы передачи сигналов цифрового спутникового телевидения по волоконно-оптическим сетям доступа / В.И. Кириллов, Е.А. Коврига // Веснік сувязі. – 2013. – № 4. – С. 22–25.
4. Кириллов, В.И. Оптимальные направления развития цифровых сетей кабельного телевидения / В.И. Кириллов, Е.А. Коврига // Доклады БГУИР. – 2014. – № 1. – С. 93–96.
5. Кириллов, В.И. Исследование обобщенной модели сценария атаки на информацию, передаваемую по пассивным волоконно-оптическим сетям PON / В.И. Кириллов, Е.А. Коврига // Веснік сувязі. – 2014. – № 2. – С. 38–43.
6. Кириллов, В.И. Разработка стандартной модели сценария атаки на информацию, передаваемую в сетях PON / В.И. Кириллов, Е.А. Коврига // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., приуроч. к 50-летию МРТИ–БГУИР: в 2 ч. / БГУИР, Минск 18–19 марта 2014 г. – Ч. 2. – С. 144–145.
7. Птицын, Г.А. Вероятностные модели распада динамических сетей / Г.А. Птицын // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2006. – № 4. – Т. 2. – С. 54–58.
8. Саморуков, А.П. Анализ живучести мультисервисных сетей связи, построенных по технологии PON / А.П. Саморуков // Т-COMM: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – № 8. – С. 107–111.
9. Скляр, О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: учеб. пособие / О.К. Скляр. – СПб.: Лань, 2010. – 272 с.
10. Типовое техническое решение по предоставлению телекоммуникационных услуг с применением оптического доступа FTTH на базе технологии пассивных оптических сетей / ОАО «Уралсвязьинформ». – Екатеринбург, 2010. – 32 с.

The definition of survivability of networks in relation to the passive fiber-optical networks PON is given; the analysis of survivability of the PON networks, according to the standard topologies «star» and «tree», is performed.