

**МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАГРУЗКИ xDSL**

Технология xDSL предназначена для организации цифровых абонентских линий (Digital Subscriber Line- DSL) с использованием в качестве среды передачи медных витых пар существующих абонентских телефонных кабельных систем. На сегодняшний день существует большое количество разновидностей данной технологии, из которых можно выделить основные [1, 2]:

- симметричные технологии HDSL, SDSL, MSDSL, IDSL;
- асимметричные технологии ADSL, UADSL, RADSL, VDSL.

Технологии xDSL основаны на использовании широкого спектра частот, не пересекающегося со спектром канала тональной частоты, используя при этом всю возможную пропускную способность телефонных линий. Именно это позволяет увеличить скорость передачи цифровой информации, однако ограничивает применение этих технологий по коммутируемым линиям. Применение xDSL возможно только на участке между абонентом и маршрутизатором провайдера Internet, между двумя абонентами или двумя локальными сетями без участия АТС.

Оборудование xDSL, находящееся у абонента, может быть в виде встраиваемой в компьютер платы xDSL или внешнего модема xDSL (рис.1). Наличие делителя (splitter) позволяет вести телефонные переговоры одновременно с передачей данных, однако существуют технологии, способные работать без делителя на абонентской стороне (например, CDSL) [3]. Исключение составляет технология IDSL, в которой не предусмотрена поддержка аналоговых телефонных линий. Эта технология реализует интерфейс BRI-ISDN, и осуществление телефонной связи предполагается по цифровым каналам ISDN.

На стороне поставщика услуг находятся мультиплексоры цифровых абонентских линий DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), называемые также концентраторами нагрузки [3]. DSLAM всегда располагается на сетевой стороне соединения. Обычно DSLAM имеет в своем составе встроенный делитель, в котором происходит разделение сигналов по спектру, и речевой сигнал направляется далее по каналу ТЧ на АТС для дальнейшего обслуживания. Передаваемая цифровая информация поступает на IP-маршрутизатор, откуда направляется по указанному адресу. Кроме маршрутизаторов TCP/IP, со стороны сетевых служб DSLAM может подключаться к коммутаторам ATM, серверам коммутируемого цифрового видео (SDV), локальным сетям и другим службам.

Максимально допустимая длина абонентской линии определяется несколькими факторами:

- вариант применяемой технологии;
- требуемая скорость передачи;
- диаметр жилы кабеля.

Так, технология VDSL, реализованная в модеме CopperTrunk фирмы Orckit Communications Ltd и обеспечивающая самые высокие скорости передачи данных, имеет дальность связи 1,5 км для скорости 12,96 Мбит/с и 1,0 км для скорости 25,92 Мбит/с (для жил с диаметром 0,5 мм). Технологии с более низкими скоростями имеют значительно большую дальность: технология HDSL передает симметричный поток со скоростью до 768 кбит/с на расстояния до 8 км при диаметре жил 0,9 мм; оборудование RADSL обеспечивает передачу данных со скоростями в диапазоне 82,66-1080 кбит/с от абонента и 608-3168 кбит/с к абоненту на расстояние до 6 км (оборудование серии Megabit Access фирмы PairGain Technologies, Inc) [2]. Эти ограничения можно свести в общий блок-вектор  $\{M_j\}$ , где  $j$  определяет оборудование xDSL и параметры среды передачи.

При использовании технологий xDSL оборудование доступа (DSLAM) должно располагаться по возможности ближе к абонентским линиям. В идеале оборудование DSLAM и маршрутизатор провайдера Internet должны находиться в здании АТС. Однако такое размещение не всегда возможно. Кроме того, существуют районы, особенно в пригородной зоне, в которых степень телефонизации очень низка, что выражается в малом количестве абонентских линий.

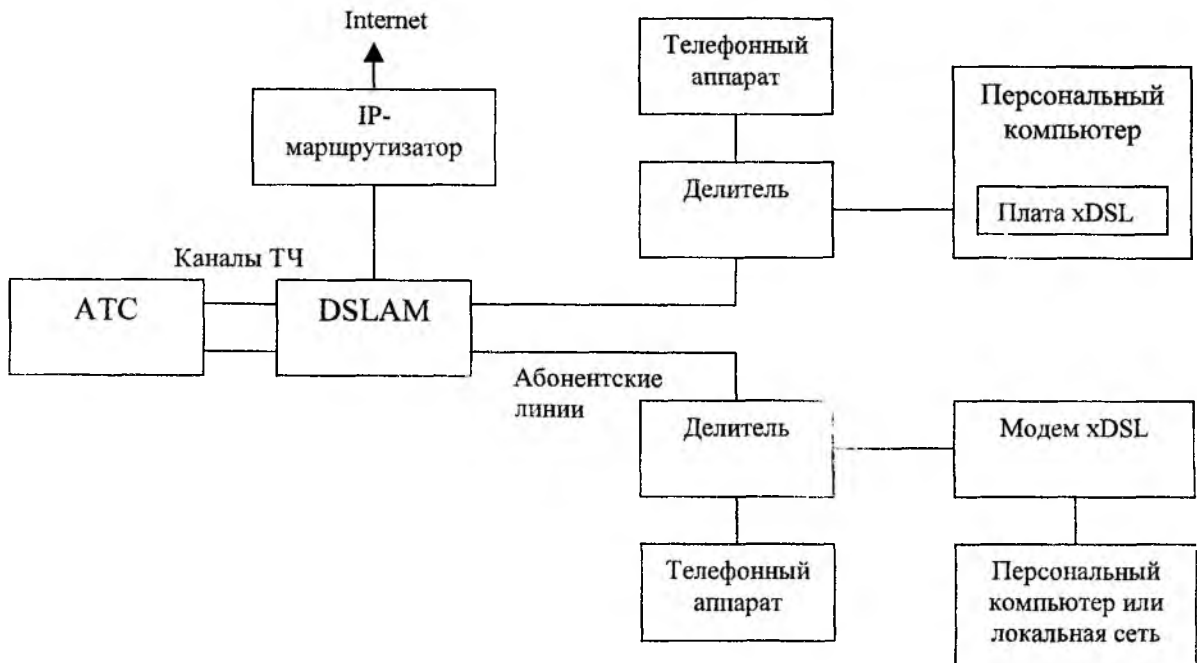


Рис. 1

Постоянный рост спроса на услуги ТФОП и сети Internet влечет за собой необходимость расширения, которое возможно путем размещения новой АТС или только размещением концентратора нагрузки DSLAM. В каждом из этих вариантов необходимо прокладывать новые абонентские линии, стоимость которых составляет значительную часть всех затрат. Поэтому задача размещения DSLAM (или новой АТС) должна быть решена исходя из минимума суммарной длины абонентских линий. При этом необходимо учесть все потребности абонентов в передаче данных. Таким образом, возникает оптимизационная задача размещения оборудования DSLAM (АТС), где в качестве целевой функции выступает суммарная длина абонентских линий, а в качестве ограничений - расположение абонентских пунктов и интенсивность создаваемой ими нагрузки.

Пусть существует  $n$  абонентских пунктов  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , тогда расстояние от DSLAM (АТС) с координатами  $x_1, x_2$  к каждому из уже существующих абонентских пунктов определяется как

$$l_i = \sqrt{(x_1 - c_{1i})^2 + (x_2 - c_{2i})^2}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $c_{1i}, c_{2i}$  - координаты объекта  $C_i$ .

Тогда целевую функцию, в роли которой выступает суммарная длина абонентских линий, можно записать в следующем виде

$$f(X) = \sum_{i=1}^n l_i(x_1, x_2). \quad (2)$$

В данном случае наименее удаленной от заданной совокупности абонентских пунктов  $(c_{1i}, c_{2i})$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) является точка  $X(x_1, x_2)$  такая, что

$$X = \arg \min_{x_1, x_2} f(X). \quad (3)$$

Задача оптимального размещения одного объекта связи, наименее удаленного от заданной совокупности абонентских пунктов, является разновидностью задачи Штейнера-Вебера и решается многими методами. В данном случае представляется возможным применить к решению задачи метод вариационно-взвешенных квадратичных мажорант [4,5], преимущества которого заключаются в простоте его реализации, отсутствии ограничений на выбор начального приближения, высокая размер-

ность решаемых задач В основу данного метода положена аппроксимация минимизируемой функции в некоторой точке  $X^k(x_1^k, x_2^k)$  квадратичной параболой, проходящей через эту точку и мажорирующей функцию  $f(X)$ . Минимум построенной таким образом параболы принимается за начальное приближение на следующем шаге. В [4,5] доказано, что этот итерационный процесс приводит к отысканию экстремума функции  $f(X)$ .

Каждое из слагаемых в (2) при произвольных  $x_1^0$  и  $x_2^0$  мажорируется параболоидом [4]

$$F_i(x_1, x_2) = \frac{l_i^2(x_1, x_2)}{2|l_i(x_1^0, x_2^0)|} = \frac{(x_1 - c_{1i})^2 + (x_2 - c_{2i})^2}{2\sqrt{(x_1^0 - c_{1i})^2 + (x_2^0 - c_{2i})^2}}. \quad (4)$$

Так как сумма мажорант отдельных слагаемых является мажорантой суммы, то получаем параболоид  $F(X) = \sum_{i=1}^n F_i(X)$ , мажорирующий целевую функцию  $f(X)$ . Таким образом процесс поиска оптимальной точки сводится к применению рекуррентной формулы

$$X^{k+1} = \arg \min_{x_1, x_2} \left( \sum_{i=1}^n \frac{(x_1 - c_{1i})^2 + (x_2 - c_{2i})^2}{2\sqrt{(x_1^k - c_{1i})^2 + (x_2^k - c_{2i})^2}} \right). \quad (5)$$

Выражение (5) можно записать в более удобной для расчетов форме

$$X^{k+1} = \arg \min_{x_1, x_2} \left( \sum_{i=1}^n P_i^k [(x_1 - c_{1i})^2 + (x_2 - c_{2i})^2] \right), \quad (6)$$

где  $P_i^k = \frac{1}{2\sqrt{(x_1^k - c_{1i})^2 + (x_2^k - c_{2i})^2}}$ ,

причем в процедуре (5) на выбор начальных условий  $x_1^0, x_2^0$  не накладывается никаких ограничений.

Формулы (5) и (6) являются вполне приемлемыми при решении задачи размещения АТС без учета оборудования DSLAM, когда нагрузку, создаваемую всеми абонентами, можно считать одинаковой. Однако, если учитывать потребности абонентов в передаче данных (а на сегодняшний день такая потребность существует), то требования к обеспечиваемым скоростям обмена данными у всех абонентов могут быть различны. От требуемой скорости передачи цифровой информации будет зависеть не только выбор варианта технологии xDSL, появляются ограничения на максимально допустимую длину абонентской линии. Указанные требования и ограничения необходимо учесть при решении задачи размещения DSLAM.

Для того, чтобы указать различия в требуемых скоростях, необходимо ввести в (6) весовые коэффициенты  $W_i$ , которые можно выбирать пропорционально скорости обмена данными, предоставляемой  $i$ -му абоненту. В общем случае весовой коэффициент необходимо выбирать с учетом экономического фактора, т. е. стоимости оборудования для  $i$ -го абонента, предоставляемых ему услуг, а также стоимости строительных работ. Правильный выбор коэффициента  $W_i$  позволит значительно сократить объем вычислений.

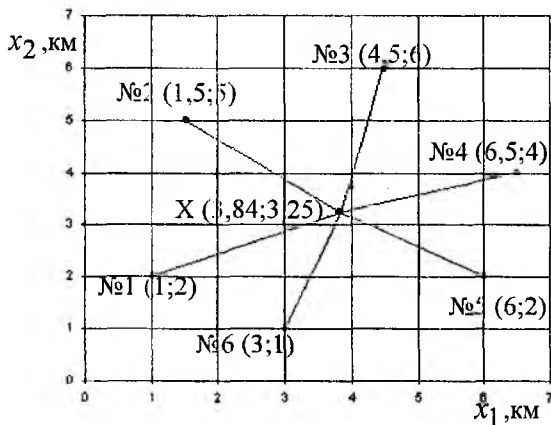
Ограничение на максимально допустимую длину абонентской линии можно ввести в виде неравенства, выполнение которого должно проверяться на каждой  $k$ -й итерации в процессе решения задачи,

$$\sqrt{(x_1^k - c_{1i})^2 + (x_2^k - c_{2i})^2} < M_i, \quad (7)$$

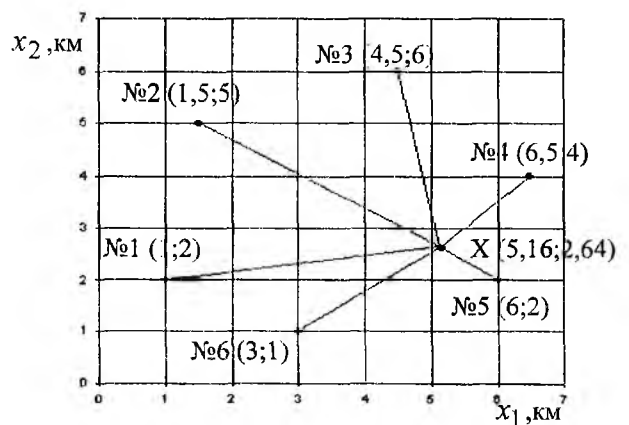
где  $M_i$  - максимальная длина  $i$ -й абонентской линии, допускаемая выбранным оборудованием при известных параметрах среды передачи.

Если итерационный процесс прекращается из-за нарушения условия (7) в  $j$ -й абонентской линии, то необходимо увеличить весовой коэффициент  $W_j$  и начать итерационный процесс заново.

Рассмотрим применение данной методики для  $n = 6$  абонентов (точки №1- №6 на рис. 2), требования которых к скоростям обмена данными следующие: 272 кбит/с (абоненты № 1,2,3), 784 кбит/с (№6), 1168 кбит/с (№ 5,6). Если применять технологию HDSL при диаметре жил телефонного кабеля 0,4 мм, то вектор ограничений на максимально допустимую длину абонентской линии будет следующим:  $\{M_i\} = (5,2;5,2;5,2;3,7;3,9;3,7)$  км. На рис. 2 приведено решение задачи оптимального размещения объекта связи  $X(x_1, x_2)$  без учета технологии xDSL (рис. 2, а) и с учетом различий в требуемых скоростях передачи данных (рис. 2, б), для чего в выражение (6) был введен вектор весовых коэффициентов  $\{W_i\} = (1;1;4;3;4)$ , выбранных пропорционально требуемой скорости. При этом значения целевой функции составили  $f(X) = 16,51$  и  $f(X) = 17,66$  км для случаев, рассмотренных на рис. 2, а и рис. 2, б соответственно.



а



б

Рис. 2

В приведенном примере все ограничения, заложенные в векторе  $\{M_i\}$ , выполняются. Если же возникает ситуация, когда задача не имеет решения при заданных ограничениях, то следует рассмотреть варианты работы не по одной витой паре, а по нескольким, а также учесть возможность использования в линии повторителей.

**Список литературы:** 1. Блушке А., Матевс М., Панченко Н. «Родословная» xDSL // Технологии и средства связи. 1999. №5. С.37-44. 2. Нечипоренко А.Н. xDSL: технологии высоких скоростей // Технологии и средства связи. 2000. №1. С.18-28. 3. Денисьева О.М., Мирошников Д.Г. Средства связи для «последней мили». М.:Эко-Трендз-НТЦ НАТЕКС, 1999. 4. Мудров В.И., Илев А.А. Мажоранты Ньютона в прикладных задачах. Теория, алгоритмы, программы. М.: Радио и связь, 1987. 144 с. 5. Татарчук С.И. Методика оптимального размещения объектов связи // Груды УНИИРТ. 2001. №2. С.69-72.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
Харьковская дирекция АО «Укртелеком»

Поступила в редколлегию 02.10.2001