
ВЫБОР СЦЕНАРИЯ СОЗДАНИЯ СЕТИ ДОСТУПА

Галина Гайворонская, Светлана Сахарова, Александра Котова

Аннотация: Рассмотрена структура и варианты построения перспективных сетей доступа. Проанализированы задачи, решение которых необходимо для выбора сценария создания сетей доступа. Предложен подход к определению структурных характеристик, учитывающий особенности обслуживаемой территории и градостроительные решения.

Ключевые слова: сеть доступа, характеристики сетей доступа, узлы доступа, сценарии создания сети доступа.

Ключевые слова классификации АСМ: С.2. Computer-communication networks, H. Information Systems - H.1 Models and Principles, K. Computing Milieux - K.6 Management of computing and information system

Введение

В последние годы происходят глобальные радикальные преобразования информационных сетей, связанные с конвергенцией коммуникационных и информационных технологий. Эти процессы приводят к созданию инфокоммуникационной инфраструктуры и возникающей на ее базе инфосферы. Инфокоммуникационная инфраструктура состоит из трех основных составляющих: базовых сетей, сетей доступа (СД) и информационных терминалов пользователя. Информационные терминалы и оборудование обработки, хранения и преобразования информации определяет информационную составляющую, а сети доступа и базовые сети – телекоммуникационную составляющую инфокоммуникационной инфраструктуры. В настоящее время доступ к инфокоммуникационным услугам (ИКУ) предоставляется различными вторичными сетями, однако, перспективная концепция доступа к базовым сетям, сформулированная в рек. МСЭ G.902, предполагает создание единой системы доступа ко всем сетям и услугам.

Актуальность и важность разработки рекомендаций для создания СД признана Международным союзом электросвязи (МСЭ), которым в составе исследовательской комиссии ИК-15 «Транспортные сети, системы и оборудование» создана рабочая группа №1 (РГ 1/15) – «Сетевой доступ». В состав РГ 1/15 включены четыре вопроса: передача в СД, характеристики оптических систем переноса и распределения информации в СД, оборудование передачи данных для цифровых арендованных линий и оборудование передачи для абонентских систем доступа типа HDSL и ADSL (*Digital Subscriber Line* или цифровая абонентская линия). Различные аспекты СД изложены в рекомендациях МСЭ серий G, I, Q, и Y, разрабатываемых другими комиссиями МСЭ. По вопросам стандартизации абонентского доступа МСЭ тесно сотрудничает с Европейским институтом стандартов для электросвязи (*European Telecommunications Standards Institute, ETSI*) и американским национальным институтом стандартов (*American National Standards Institute, ANSI*) и с большим количеством специальных групп, например,

форумами ADSL и ATM. Взаимодействие организаций, занимающихся стандартизацией отдельных аспектов доступа, иллюстрирует рис. 1.

Идея построения СД заложена и в концепции – *Full Services Access Network (FSAN)* [1], подразумевающей построение сетей доступа комплексного обслуживания. Иногда термин *FSAN* переводят как сеть доступа с полным набором услуг. Создание СД заложено в программу развития телекоммуникационных сетей (ТС) всех регионов Украины [2]. Все это свидетельствует о необходимости тщательного анализа различных вариантов, касающихся организации СД.

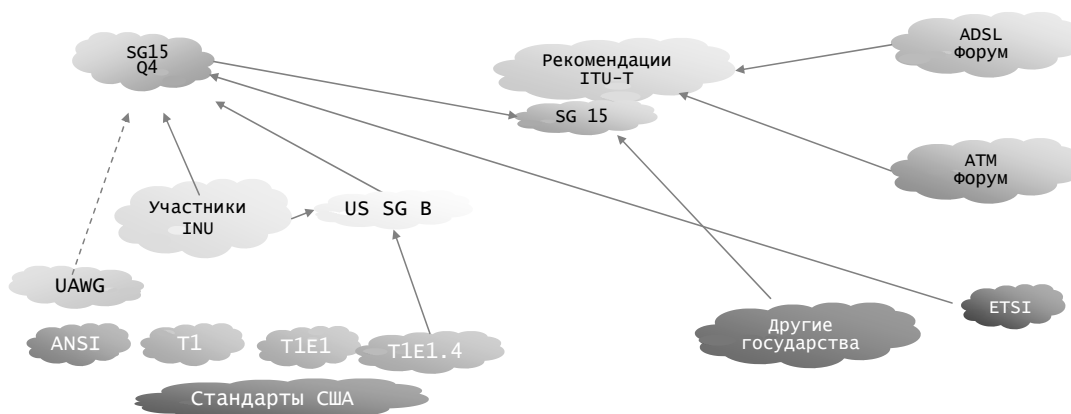


Рис. 1. Взаимодействие международных организаций по разработке стандартов доступа

Понятие абонентская линия (АЛ) уже не отражает сути элемента ТС между терминалом пользователя и узлом коммутации (УК), его заменяет термин линия доступа (ЛД). И если совокупность АЛ образует абонентскую сеть (АС), то сеть доступа состоит из совокупности ЛД и узлов доступа (УД). В этой работе понятие доступ трактуется как процесс обращения пользователя к сетевым ресурсам. Абонентская линия характеризуется тем, что она постоянно закреплена за своим источником (приёмником) информации и поэтому может использоваться только для установления соединения с соответствующим источником.

Сеть доступа создается обычно на базе существующих АС, топология и принципы построения, которых требуют существенных изменений. При преобразовании АС в СД меняются ее функции, топология, используемые технологии и расширяется территория, в границах которой она создается. Недостаточно модернизировать АС для обеспечения доступа только к одной сети, пусть и интегральной. Гораздо эффективнее создать новую СД единую для подключения ко всем базовым сетям, как существующим, так и тем, которые могут возникнуть в будущем. Такая сеть должна обеспечить пропускную способность достаточную для одновременного предоставления всех услуг, которые могут быть запрошены и оплачены пользователем, и обеспечить качество и надежность, соответствующее требованиям не только всех существующих услуг, но и тех которые еще могут появиться. Эта сеть требует достаточно больших инвестиций при создании, но в будущем значительно уменьшит затраты, как операторов связи, так и пользователей.

В последние годы большое внимание уделяется концепции *Universal Service* (всеобщее обслуживание), в которой важное место занимает реализация «всеобщего доступа». Всеобщий или равный доступ можно рассматривать как вклад операторов связи в решение глобальной проблемы по преодолению неравномерности распределения доходов, технологий и услуг. В масштабах страны или региона словосочетание всеобщий доступ чаще всего относится к сельской связи и к тем группам потенциальных

абонентов, которые не могут оплачивать услуги связи. К услугам всеобщего доступа относятся: услуги телефонной связи с использованием таксофонов, услуги по передаче данных и выхода в Интернет с использованием пунктов коллективного доступа. Время, в течение которого пользователь услугами связи может добраться до таксофона без использования транспортного средства, не должно превышать один час. В каждом населенном пункте устанавливается не менее одного таксофона с бесплатным доступом к экстренным службам, а там, где проживает более пятисот человек, создается как минимум один пункт коллективного доступа к Интернет. Равная доступность к информации и информационным технологиям для людей во всем мире провозглашена в качестве основополагающего принципа прав человека мирового сообщества в принятой «Хартии глобального информационного общества».

Анализ состояния вопроса

Перспективы развития СД обговариваются на разнообразных конференциях и форумах в области телекоммуникаций. Различные аспекты построения и модернизации СД, применения проводных и беспроводных технологий, освещены в работах Соколова Н.А., Гольдштейна Б.С., Бакланова И.Г., Крендзеля А.В., Хиленко В.В., Михайлова В.Ф., Гайворонской Г.С., Денисьевой О.М., Балашова В.А., Зяблова С.В., Бирюкова Н.Л., Коваленко С.Ф., Пинчука А.В. и др.

Большое внимание проблемам модернизации СД уделил в своих работах проф. Соколов Н.А. В частности, в 1997 году Соколов Н.А. в работе [3] охарактеризовал перспективы развития СД в России, отметив, что одной из главных задач является определение совокупности требований, которым должна отвечать СД на каждом этапе ее развития. Что в свою очередь требует анализа характеристик существующих АС.

Этот же подход использован в работах авторов, при проведении подобного анализа АЛ телефонных сетей Украины. В работах [4-9] представлены результаты исследования параметров и структурных характеристик АЛ на сельских сетях Украины, в том числе и с использованием непараметрических методов обработки статистики. В [10] предложен подход к выбору вариантов построения СД основанный на рекомендациях МСЭ, относящихся к глобальной информационной инфраструктуре (ГИИ), идентификации ключевых интерфейсов, транспортных технологий сетей доступа и возможности предоставления ИКУ, в результате предложены сценарии построения СД. Выбор сценария модернизации СД важен и при переходе к сетям следующего поколения (*Next Generation Network, NGN*). В [11] выделены четыре различных направления перехода к *NGN*, для каждого из которых определены наборы технологий и оборудования по четырем направлениям: доступ, коммутация, услуги, эксплуатация. Выбор оптимального сценария перехода к *NGN* зависит и от типа сети, в работах [12, 13] представлена прагматическая стратегия перехода к *NGN*, с учетом особенностей модернизируемых ТС.

Много внимания построению СД уделено и в работах авторов, так в частности концепция пользовательского доступа и место СД в ГИИ проанализировано в работе [14]. В работе [15] обоснована необходимость модернизации доступа к базовым сетям и создания перспективных СД; представлены структура и функции этих сетей, сформулированы отличия от существующих АС, проанализированы требования различных групп пользователей к перспективным сетям и оборудованию доступа. Основываясь на этих требованиях, и возможных способах доступа пользователей к базовым сетям предложены варианты построения перспективных СД для различных условий. В [16] представлена

уровневая модель сети доступа, которая признана действенным инструментом анализа и синтеза, как сетевой архитектуры, так и взаимодействия отдельных групп функций и отдельных протоколов установления связи и обмена информацией. Автором представлены модификации уровневой модели СД для квартирных и деловых пользователей, приведены примеры взаимодействия уровней СД при предоставлении ИКУ. Проблема синтеза сетей доступа исследуется в работах [17, 20], где сформулированы основные задачи, решение которых необходимо при создании СД, и определены пути их решения. Методы, предложенные в этих работах, обеспечивают выбор оптимальной структуры сети с учетом ограничений по качеству обслуживания, параметрам оборудования, видам услуг, предоставляемых сетью, структуре информационных потоков, циркулирующих в синтезируемой сети и обслуживаемой нагрузке. Концепция доступа к базовым сетям, а также особенности реализации транспортного сегмента при модернизации СД рассмотрены авторами в работах [6, 19]. Результаты, полученные в работах, говорят о том, что средняя длина существующих АЛ в большинстве рассмотренных сетей позволяет применение технологий *xDSL*, допустимая длина линий для которых зависит от обеспечиваемой скорости передачи и используемого количества пар кабеля. Выбору технологии доступа на основании анализа структурных характеристик существующих АС посвящена работа авторов данной статьи [21], в которой приведены результаты исследований структурных характеристик АЛ для городских и сельских сетей Украины, и на основании полученных результатов сделан качественный анализ целесообразности применения различных технологий на транспортном сегменте СД.

Структура сетей доступа

Перспективная сеть доступа должна удовлетворять потребности всех групп пользователей, предоставляя доступ к любой базовой сети в любой точке мира. Задача создания СД обуславливает конвергенцию технологий доступа. Чем к большему количеству базовых сетей организован доступ, тем ближе технологическое решение СД к концепции ГИИ. Таким образом, перспектива развития ТС в целом зависит от выбора оптимального решения организации СД.

На основании анализа основных рекомендаций МСЭ и документов *ETSI*, посвященных созданию перспективных СД, автором предложена структура СД [6] в виде, показанном на рис. 2., которая включает:

- сегмент локального доступа между оборудованием пользователя и УД;
- узел доступа, взаимодействующий с устройствами пользователя через интерфейс пользователь-сеть *UNI* и с узлом предоставления услуг (УПУ) через сетевой интерфейс *SNI*;
- сегмент транспортного доступа (*Transfer Network*).

Индивидуальные ЛД с пользовательским интерфейсом *UNI*, реализующие сегмент локального доступа предназначены для доведения потоков информации к оборудованию пользователя или от него. Эта часть СД характеризуется максимальной гарантированной пропускной способностью и минимальной длиной физической линии. При этом под оборудованием пользователя подразумевается совокупность терминального и иного оборудования, предназначенного для получения пользователем ИКУ. Кроме того, к оборудованию пользователя относятся корпоративные и частные сети, не входящие в состав сетей общего пользования.

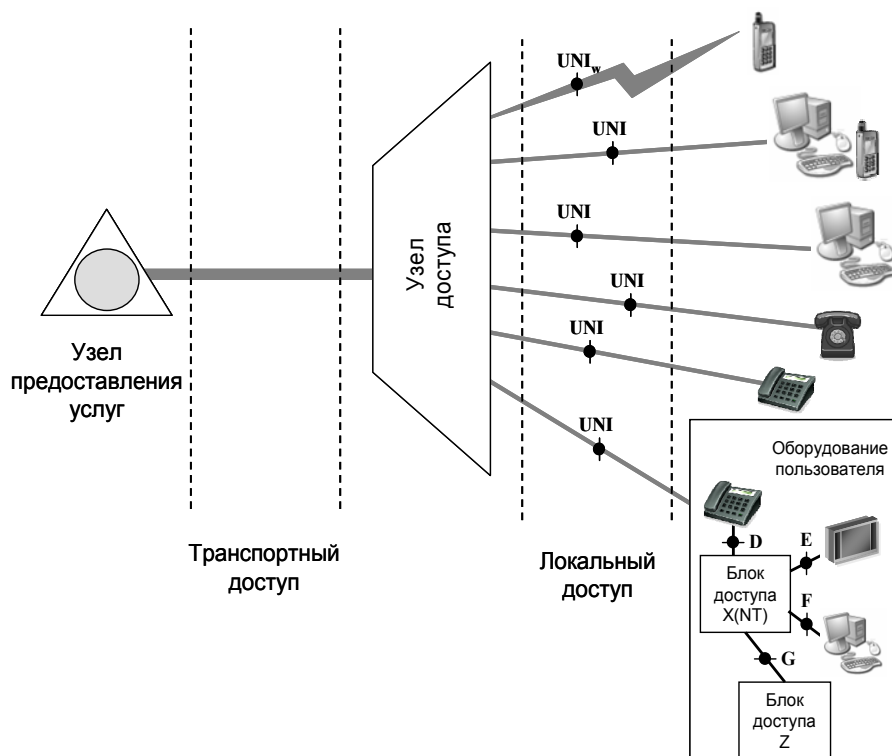


Рис. 2. Структура сети пользовательского доступа

Узел доступа реализуется на оборудовании, концентрирующем отдельные информационные потоки от индивидуальных ЛД к различным базовым сетям и выполняющем функции концентратора, мультиплексора или базовой станции беспроводной АЛ (*Wireless Local Loop, WLL*), имеющем на выходе цифровые групповые тракты. Узлы доступа осуществляют концентрацию информационных потоков от всех видов источников, находящихся на обслуживаемой территории. Применение УД обуславливается требованиями к эффективности использования ЛД. Прокладка индивидуальных высокоскоростных ЛД между УПУ и оборудованием пользователя, как правило, экономически невыгодна.

Сегмент транспортного доступа – это групповые тракты передачи информации между УД и УПУ базовых сетей, переносящие потоки информации между пользователями обслуживаемой зоны и базовыми сетями. Сегмент транспортного доступа функционально является частью национальной транспортной сети.

Узел предоставления услуг реализуют в виде универсального сетевого элемента, способного поддерживать все требования пользователей. Исходя из этого, УПУ - это устройство, обрабатывающее вызов, посредством которого пользователям предоставляется возможность установления соединений в пределах сети или нескольких сетей, для получения доступа к ИКУ с применением средств телекоммуникаций. Функции УПУ может выполнять УК телефонной сети общего пользования (ТфОП) или цифровой сети интегрально обслуживания (ЦСИО), узел доступа к Интернет, сервер, *Web*-сайт Интернет, центр телевизионного вещания, мультимедийные узлы предоставления игр и т.д. [3].

Анализ задач, решение которых необходимо для реализации СД

Первой задачей, решение которой необходимо для реализации СД, является повышение экономической эффективности ЛД. Линии доступа являются наиболее протяженным сегментом ТС, т.к. их количество равно числу пользователей, и одновременно наименее прибыльным, т.к. пользователь оплачивает потребление ресурсов базовых сетей, а СД – это только «путь» к ним. На построение СД необходимы большие затраты, но даже если есть возможность выделения необходимых средств, объединив государственные и частные вложения, то остается задача разработки метода выбора оптимального построения сети доступа, отвечающей всем требованиям, сформулированным в рамках концепции ГИИ.

Метода оптимизации структуры СД пока нет, это связано с несколькими причинами:

- различие финансовых возможностей пользователей порождает различие в затратах на оборудование пользователя, а соответственно в типах этого оборудования;

- требования к ИКУ у разных групп пользователей различны, в банковской сфере необходимы высокоскоростные услуги и высокая степень защиты данных, а пользователи пенсионного возраста из всех ИКУ наиболее заинтересованы в телевизионных и телефонных, и главным критерием для них является не качество, а стоимость предоставляемой услуги;

- географическое расположение различных групп пользователей требует и разных подходов к организации СД, обуславливая выбор проводных или беспроводных технологий.

Таким образом, разработка метода оптимизации структуры сети является второй задачей создания перспективных СД. Выбор технологий для конкретных СД и для отдельных линий является третьей задачей, решение которой необходимо для реализации этой концепции. Все существующие на сегодняшний день технологии доступа могут быть использованы, однако, в каждом конкретном случае выбор технологии обусловлен, зачастую, финансовыми возможностями пользователя и/или оператора.

В данной работе остановимся, только на задачах определения структурных характеристик СД. К этим характеристикам, учитывая структуру СД, относятся: длина и пропускная способность линий доступа, количество, место размещения и пропускная способность узлов доступа.

Пропускная способность линии доступа, реализованной на симметричном кабеле определяет число пар проводников, а для других типов направляющих систем (коаксиальный или оптоволоконный кабель) – линейную скорость передачи информации. Линейная скорость передачи, в отличие от информационной скорости, учитывает передачу не только информации пользователя, но и разнообразной служебной информации. Таким образом, учитывается три типа скорости: пользовательская, информационная и линейная. Так, например, для базового доступа к ЦСИО пользовательская скорость составляет 128 кбит/с (два канала типа В), информационная 144 кбит/с (2В+D), а линейная 192 кбит/с.

Определение структурных характеристик СД включает:

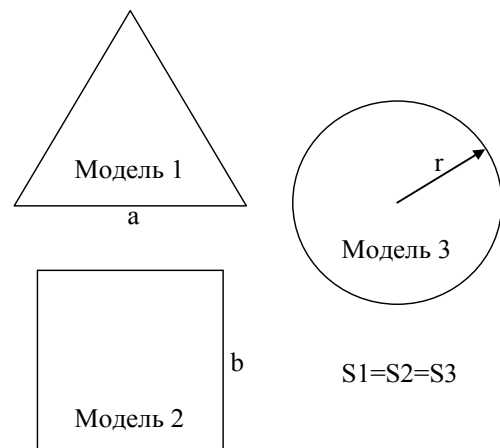
1. Расчет экономически обоснованных размеров территории СД.
2. Расчет количества и пропускной способности УД.
3. Выбор места расположения УД на территории сети доступа.
4. Выбор трасс прокладки кабеля для ЛД, если предполагается создание СД с использованием проводных технологий.

Последовательное решение этих задач позволило получить выражения, на основании которых можно выполнить оптимизацию структурных характеристик СД. Однако перечисленные задачи отнюдь не

исчерпывают всю проблему создания перспективных СД, в этой работе не затронуты такие важные задачи, как: анализ вероятностно-временной структуры потоков вызовов, поступающих на СД; оптимизация перечня предоставляемых услуг и определения требований, которые выдвигает эта совокупность услуг к оборудованию СД; оценка чувствительности характеристик проектируемой СД к изменению прогнозируемых входных параметров этой сети и ряд других задач, без решения которых проблема создания оптимальной СД не может быть решена. Подробный анализ этих задач выполнен в работах [14,17,18,20].

Выбор и обоснование исследуемых моделей сети доступа

Для оценки влияния длины ЛД на стоимость сети рассмотрим упрощенные модели территории, на которой создается эта сеть. На рис. 3 показаны варианты конфигурации модели этой территории: равносторонний треугольник, квадрат и круг. Для упрощения будем считать, что УПУ находится в геометрическом центре рассматриваемых территорий. Площадь этих трех геометрических фигур одинакова $S_1 = S_2 = S_3 = S$, что позволяет легко найти длины стороны треугольника a , ребра квадрата b и радиус окружности r [1]



$$a = 2(S/3)^{0.5}, \quad b = S^{0.5}, \quad r = (S/\pi)^{0.5} \quad \text{Рис. 3. Модели территории СД}$$

Средняя длина ЛД для территории, имеющей форму треугольника L_1 , квадрата L_2 и круга L_3 , определяется соотношениями

$$L_1 \approx 0,488(S)^{0.5}, \quad L_2 \approx 0,388(S)^{0.5}, \quad L_3 \approx 0,377(S)^{0.5}. \quad (2)$$

Следовательно, одним из факторов, существенно влияющим на длину ЛД является конфигурация обслуживаемой территории. Вторым фактором - градостроительные решения, в частности направление прокладки улиц. Исходя из этого, основные особенности СД могут быть описаны более детальными моделями, в которых используются следующие предпосылки и допущения:

1. Модель прямоугольной структуры СД, учитывающая способы застройки принятые в крупных городах, характеризуется ортогональной прокладкой линий, однородной плотностью размещения пользователей и прямоугольными территориями, обслуживаемыми одним УД (ТУД).
2. Модель секторной структуры СД, полученная при анализе АС в малых городах, характеризуется радиальной прокладкой линий, разнородной плотностью распределения пользователей и трапециевидными формами ТУД. В этом случае предполагается, что СД подключается к нескольким УПУ, которые находятся за пределами территории, обслуживаемой этой сетью.

Подробное описание этих моделей, расчет характеристик ЛД и оптимизация размещения УД, с учетом особенностей моделей СД, изложены авторами в работах [23-27]. В работе [23] предоставлены результаты исследования влияния вариации прогнозируемых параметров на характеристики проектируемых СД. Для получения этих результатов разработано программное обеспечение,

позволяющее определить варианты размещения УД и вычислить стоимость будущей сети. В работе [24] предложен метод определения длины ЛД, учитывающий конфигурацию и градостроительные решения на территории, обслуживаемой СД. Приведены расчеты для транспортного и локального сегментов СД. В [25] рассмотрены различные варианты подключения пользователей к УПУ и предложен метод определения местоположения УД для прямоугольной конфигурации модели СД. Анализ особенностей различных вариантов подключения пользователей к УПУ позволил предложить формулы расчета длины сегмента локального доступа для каждого варианта подключения. Представленный метод может быть использован при проектировании СД путем модернизации существующей абонентской телефонной сети.

Особенности определения местоположения УД для радиальной структуры подключения ЛД при использовании секторной модели СД и различных вариантах подключения пользователей к УПУ рассмотрены в работе [26]. Связь между прогнозируемыми входными параметрами и характеристиками СД рассмотрена в [27]. При внедрении научных методов в область проектирования в первую очередь возникает потребность в достоверных прогнозах. Правильный прогноз позволяет изначально выбрать соответствующую структуру сети, так как любые позднейшие изменения связаны с дополнительными расходами. Так как ошибка прогнозирования может привести к существенным незапланированным затратам, определение влияния таких ошибок на характеристики СД является важной задачей. Авторами предложен метод оценки чувствительности СД к вариациям прогнозируемых параметров, для чего разработаны алгоритм и программный продукт реализации метода.

Если организуется сеть доступа к NGN, естественно основная базовая сеть не выделяется, поскольку функции УД в этом случае выполняет *Softswitch*, либо другое оборудование, реализующее функции уровня управления и коммутации NGN для предоставления всей совокупности услуг, затребованных пользователями на обслуживаемой территории. Поскольку ЛД предназначены не только для телефонной связи, но и для передачи разнородной цифровой информации, необходимо учитывать допустимые значения затухания и сопротивления ЛД для качественной передачи информации любого вида (речь, данные, неподвижные и подвижные изображения, а также мультимедиа).

Определение пропускной способности узлов и линий доступа

В сетях доступа может использоваться одноуровневая или двухуровневая структура подключения узлов доступа (рис.4). При использовании одноуровневой структуры пользователи включаются в УД, которые подключены непосредственно к УПУ. При использовании двухуровневой структуры УД могут быть первого (УД1) или второго (УД2) уровня, при этом УД2 подключаются к УД1 и не имеют непосредственной связи с УПУ. Выбор структуры подключения УД осуществляется следующим образом.

Количество конечных устройств, подключаемых к УД, можно определить из выражения:

$$N_p = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) \gamma_1 \quad (3)$$

где N_1 – количество точек подключения терминального оборудования для пользователей делового и квартирного секторов;

N_2 – количество пунктов коллективного (всеобщего) доступа;

N_3 – количество арендуемых линий доступа (5-10% от N_1);

N_4 – количество соединительных линий для подключения узлов доступа, реализованных в виде концентраторов, абонентских мультиплексоров или базовых станций беспроводного доступа к фиксированной базовой сети;

γ_1 – эксплуатационный запас кабеля на сегменте локального доступа (15-20%).

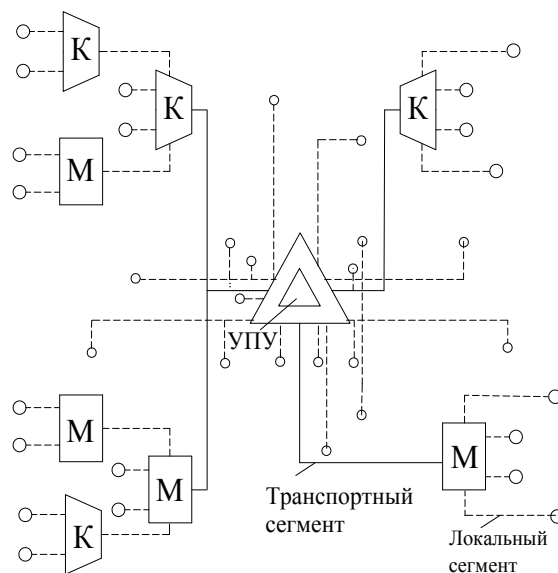


Рис.4 – Варианты организации линий доступа

Исходя из этого, пропускная способность УД определяется как:

$$\omega_{УД} = N_p + \omega_1 \gamma_2 + n_2 \omega_2 \quad (4)$$

где ω_1 – пропускная способность транспортного сегмента доступа, соединяющего УД с УПУ;

ω_2 – пропускная способность канала связи между УД, если используется двухуровневая структура, при одноуровневой структуре подключения УД $\omega_2 = 0$;

γ_2 – эксплуатационный запас кабеля сегмента транспортного доступа на участке УПУ – УД (2-3%);

n_2 – количество УД2.

Суммарная пропускная способность каналов сегмента транспортного доступа, которые необходимо подключить к УД при одноуровневой структуре, определяется по формуле:

$$\omega_1' = N_p + \varphi \sqrt{N_p} \quad (5)$$

где N_p – количество точек подключения терминального оборудования пользователей, подключаемых к УД в на территории, обслуживаемой этим узлом (ТУД);

$\varphi \sqrt{N_p}$ – слагаемое, учитывающее возможное отклонение числа точек подключения оборудования пользователя от расчетной величины.

При выборе структуры подключения УД необходимо проверить условие:

$$\sum_{i=1}^n I_{1i} \omega_1' = \sum_{i=1}^{n_1} I_{1i} \omega_1 + \sum_{i=1}^{n_2} I_{1-2i} \omega_2 \quad (6)$$

где I_{1i} – длина сегмента транспортного доступа, включенного в i -й УД1;

I_{1-2i} – длина линии связи между УД1 и УД2;

ω_1' – пропускная способность транспортного сегмента при одноуровневой структуре;

n – суммарное число УД первого и второго уровня;

n_1 – число УД1;

n_2 – число УД2.

Если правая сторона выражения равна или меньше левой, предпочтение отдается варианту с применением связи между УД.

На территории СД может располагаться несколько УД, чем меньше количество УД, тем больше должна быть их пропускная способность и длина локального сегмента доступа. А основным требованиям к перспективным СД является минимизация длины локального сегмента при гарантированной пропускной способности. Поэтому, при оптимизации количества УД должно быть наложено дополнительное условие на минимизацию длины локального сегмента.

Оптимизация числа узлов доступа и размеров территории обслуживания

Оптимальное количество УД определяется следующим образом.

Пусть на территории квадратной формы площадью S и длиной стороны a размещен один УПУ и n УД.

Так как $a = \sqrt{S}$, то средняя длина сегмента транспортного доступа:

$$I_T = \sqrt{S/2} \quad (7)$$

средняя длина сегмента локального доступа:

$$I_L = \frac{\sqrt{S/n}}{2} \quad (8)$$

Отношение удельной стоимости транспортного доступа c_T к стоимости локального доступа c_L :

$$c_1 = c_T/c_L \quad (9)$$

Тогда, суммарные затраты на построение сети доступа:

$$C = c_T \omega_1 \frac{\sqrt{S}}{2} n + \frac{c_T}{c_1} N_{Л1} \frac{\sqrt{S/n}}{2} nz \quad (10)$$

где $z = N_0/nN_{Л1}$ – количество УД на рассматриваемой территории;

$N_{Л1}$ – количество точек подключения оборудования пользователей к одному УД;

N_0 – количество точек подключения оборудования пользователей, подключенных к УПУ.

После некоторых преобразований получаем:

$$C = \frac{c_T \omega_1 \sqrt{S} n}{2} + \frac{c_T N_0 \sqrt{S}}{2c_1 \sqrt{n}} \quad (11)$$

Дифференцируя это выражение по n и приравнявая к нулю, получим:

$$\frac{c_T \omega_1 \sqrt{S}}{2} - \frac{c_T N_0 \sqrt{S}}{4c_1 \sqrt{n^3}} = 0 \quad (12)$$

Отсюда, оптимальное количество УД на рассматриваемой территории равно

$$n = \sqrt[3]{N_0^2 / 4c_1^2 \omega_1^2} \quad (13)$$

При равномерном распределении оборудования пользователей на обслуживаемой территории для минимизации длины сегмента локального доступа УД следует размещать в центре ТУД. Но так как между УД и УПУ находится сегмент транспортного доступа, то место расположения УД переместится на некоторое расстояние в направлении к УПУ.

Для определения оптимальных размеров территории СД, будем исходить из общего уравнения затрат на линии доступа.

$$C = c_{TK} l_{TK} + c_{LK} l_{LK} + c_T L_T + \beta_T l_T \omega_T + c_L L_L + \beta_L l_L \omega_L + c_{уд} + c'_{уд} N_{л1} + c_n v_n, \quad (14)$$

где C – полные затраты на создание сети доступа;

c_{TK} – стоимость единицы длины прокладки трассы кабеля транспортного сегмента ЛД;

l_{TK} – длина прокладки трассы кабеля транспортного сегмента ЛД;

c_{LK} – стоимость единицы длины прокладки трассы кабеля локального сегмента ЛД;

l_{LK} – длина прокладки трассы кабеля локального сегмента ЛД;

c_T – начальная стоимость единицы длины кабеля транспортного сегмента ЛД;

L_T – суммарная длина кабеля транспортного сегмента ЛД;

l_T – средняя длина транспортного сегмента одной ЛД;

β_T – коэффициент, учитывающий зависимость стоимости кабеля транспортного сегмента ЛД от его пропускной способности;

ω_T – пропускная способность транспортного сегмента ЛД;

c_L – начальная стоимость единицы длины кабеля локального сегмента ЛД;

L_L – суммарная длина кабеля локального сегмента ЛД;

l_L – средняя длина локального сегмента одной ЛД;

β_L – коэффициент, учитывающий зависимость стоимости кабеля локального сегмента ЛД от его пропускной способности;

ω_L – пропускная способность локального сегмента ЛД;

$c_{уд}$ – начальная стоимость УД;

$c'_{уд}$ – стоимость УД, зависящая от пропускной способности;

c_{Π} – стоимость единичного порта УПУ;

v_{Π} – количество портов УПУ

Для оптимизации количества УД по критерию минимальной стоимости минимизируем общие затраты

$$C \rightarrow \min .$$

Для оптимизации размеров ТУД, длина и ширина которой обозначены как l_1 и l_2 , необходимо знать поверхностную плотность пользователей, которая связана с ними следующим соотношением.

$$p = hl_1l_2 \quad (15)$$

При использовании модели прямоугольной структуры СД, предложены выражения для определения оптимальных размеров ТУД:

$$l_1^2 = \frac{c_{yД} + \frac{L_{\Gamma}}{4} - \omega_{\Gamma}\beta - (c_{\text{ТК}} + c_{\text{К}}d_0)\sqrt{\frac{\omega_{\Pi}}{h}}}{l_2h\left[\frac{\beta}{4}(1-\delta^2) + c_{\text{К}}d_1l_2\sqrt{\frac{h}{\omega_{\Pi}}}\right] - \frac{c_{\text{ТК}}}{L_1}(1+\delta)} \quad (16)$$

$$l_2^2 = \frac{c_{\text{ТК}}\left[1 - \frac{l_1}{L_1}(1+\delta)\right] + \frac{c_{yД}}{l_1} + \frac{L_{\Pi}}{4l_1}\omega_{\Gamma}\beta - \frac{1}{l_1}(c_{\text{ТК}} + c_{\text{К}}d_0)\sqrt{\frac{\omega_{\Pi}}{h}}}{h\left[\frac{\beta}{4}(1-\delta^2) + c_{\text{К}}d_1l_1\sqrt{\frac{h}{\omega_{\Pi}}}\right] - \frac{c_{\text{ТК}}}{L_1L_2}(1+\delta)} \quad (17)$$

где: d_0, d_1 – коэффициенты, для определения длины кабеля на основе длины проложенной трассы;

δ – степень отклонения местоположения УД от центра ТУД;

L_1, L_2 – размеры территории, обслуживаемой СД;

Решение обоих уравнений возможно итерационным способом.

Заключение

Предложен подход к определению структурных характеристик сетей доступа, учитывающий особенности обслуживаемой территории, градостроительные решения. Эти характеристики включают: длину и пропускную способности линий доступа, количество, место размещения и пропускную способность узлов доступа. Применение этого подхода обеспечивает экономию стоимости проектирования сети доступа на 8-10% в сравнении с существующими методами.

Предложенный подход позволяет планировать как полностью новые СД, так и отдельные ее части, определяя оптимальную территорию сети, количество, пропускную способность и места расположения узлов доступа.

Литература

Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. – М.: Альварес Паблшинг, 2004. - 258 с.

Про телекомунікації: Закон України від 18.11.2003 №1280-IV.

Соколов Н.А. Сети абонентского доступа: перспективы развития / Н.А. Соколов. // Электросвязь. – 1997. – № 11.

-
- Гайворонская Г.С., Котова А.И. Структурные характеристики абонентских линий // Холодильна техніка і технологія. – Одеса : ОДАХ, 2009. – №4 (120). – С. 78- 81.
- Гайворонская Г. С. Исследование параметров абонентских линий на сельских сетях Украины // Труды VIII Международной науч.-практ. конф. "Системы и средства передачи и обработки информации". – Одесса: УГАС, 2003. – С. 86.
- Гайворонская Г.С. Особенности реализации транспортного сегмента при модернизации сети абонентского доступа // Вісник УБЕНТЗ. – 2003. – №1. – С. 173-181.
- Гайворонская Г.С., Котова А.И. Оценка параметров абонентских линий // Материалы IV Международной НТК "Современные информационно-коммуникационные технологии": Збірник тез. К.: ДУІКТ, 2008. - С. 62.
- Гайворонская Г. С., Котова А. И. Исследование структурных характеристик абонентских линий. / COMINFO'2009 – Livadia // Збірник тез V МНТК «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». – К.: ДУІКТ, 2009. – С.78-80.
- Гайворонская Г. С., Котова А. И. Исследование структурных характеристик абонентских линий непараметрическими методами обработки статистики // Сборник тезисов IX Международной НТК «Математическое моделирование и информационные технологии».. – Одесса : ОГАХ, 2009. – С.102.
- Бирюков Н.Л., Коваленко С.Ф. Транспортные функции сети доступа в документах МСЭ // Вестник связи. – 2003. - № 4.
- Гольдштейн Б.С., Орлов О.П., Ошев А.Т., Соколов Н.А. Эволюция услуг в сетях следующего поколения // Вестник связи. – 2003. - № 7.
- Пинчук А.В., Соколов Н.А. Прагматическая стратегия перехода к NGN // Вестник связи. – 2006. - № 6.
- Лесин Л.М., Пинчук А.В., Соколов Н.А. Модернизация сетей телефонной связи: вектор эволюции // Connect! Мир связи. – 2007. - № 2.
- Гайворонская Г.С. Концепция пользовательского доступа: Учебник для ВУЗов. – Одесса: ОГАХ, 2008. – 408 с.
- Гайворонская Г.С. Структура и функции сетей доступа: Учеб. пособ. по дисциплине «Системы доступа пользователя» Ч. 1. – Одесса. – ОГАХ. – 2008. – 67 с.
- Гайворонская Г.С. Уровневая модель сети доступа/Г.С. Гайворонская. – Вісник УБЕНТЗ. – №1. – 2004. – Киев. – С. 100-108
- Гайворонская Г.С. Проблема синтеза сетей пользовательского доступа / Г.С. Гайворонская // Материалы IV Международной научно-технической конференции "Современные информационно-коммуникационные технологии": Збірник тез. К. – ДУІКТ. – 2008. - С. 33.
- Гайворонська Г.С. Проблема организации оптимального доступа пользователей к базовым сетям. / Г.С. Гайворонская // Материалы НТК «Проблеми телекомунікацій»: Збірник тез. К. – НТУУ КПІ. – 2009. – С.29.
- Гайворонская Г.С. Концепция доступа пользователей к базовым телекоммуникационным сетям/Г.С.Гайворонская// – Вісник УБЕНТЗ №2.– Київ.– 2009.–С. 40-46.
- Гайворонская Г.С. Основные задачи модернизации сетей пользовательского доступа / Г.С. Гайворонская, А.И. Котова // Зв'язок. – 2010. – №2 (90). –С.32-36.
- Гайворонская Г.С. Выбор технологии доступа на основании анализа структурных характеристик существующих абонентских сетей / Г.С. Гайворонская, А.И. Котова // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – ОДАХ, 2010. – №2 (124). – С. 83-88.
- Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения. – Пермь: ИПК «Звезда», 1999. - 254 с.

Гайворонська Г.С. Дослідження впливу помилок прогнозу вихідних даних на процес планування мереж доступу / Г.С. Гайворонська, С.В. Сахарова // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2010. – № 2., с 23-29.

Гайворонська Г.С. Метод визначення довжини ліній доступу для різноманітних конфігурацій території обслуговування / Гайворонська Г.С., Котова О.І. , Сахарова С.В. // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – Львів, 2010. – № 688: Комп'ютерні системи та мережі. –С.65-69.

Гайворонська Г.С. Метод определения местоположения узлов при использовании прямоугольной модели сети доступа / Г. С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Холодильна техніка і технологія. – Одеса : ОДАХ, 2011. – №1 (129). –с.73-76.

Гайворонська Г.С. Особенности определения местоположения узлов доступа при использовании радиальной модели обслуживаемой территории. / Г.С.Гайворонская, С.В. Сахарова //Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ, 2011.– №21 (183). – с. 82-86.

Сахарова С.В. Оценка чувствительности характеристик сетей доступа к вариациям прогнозируемых параметров / С.В. Сахарова // Applicable Information Models. – Sofia: ITHEA, 2011. – № 22. - P.181-188.

Благодарности

Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и их приложений FOI ITHEA и Ассоциации ADUIS Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем).

The paper is partially financed by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine (www.aduis.com.ua). www.ithea.org , www.aduis.com.ua

Информация об авторах

Галина Гайворонская – Институт информационных технологий Одесской государственной Академии холода, д.т.н., профессор, заведует кафедрой информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; тел. (048)-720-91-48, e-mail: gayvoronska@osar.odessa.ua

Главные области научных исследований: оптимизация переходных периодов при эволюции телекоммуникационных сетей. Поток вызовов, нагрузка и межузловое тяготение в сетях. Проблемы создания перспективных сетей доступа и построения полностью оптических систем коммутации

Александр Котова – Институт информационных технологий Одесской государственной Академии холода, к.т.н., ст. преподаватель кафедры информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; тел. (048)-720-91-48, e-mail: kotisa@mail.ru Главные области научных исследований: Проблемы создания перспективных сетей доступа

Светлана Сахарова – Институт информационных технологий Одесской государственной Академии холода, аспирант кафедры информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; тел. (048)-7209148; моб. (38067)-483-39-47; E – m: switchonline@rambler.ru

Главные области научного исследования: Проблемы создания перспективных сетей доступа