

## ЗАДАЧА ВЫБОРА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ ДОСТУПА

Галина Гайворонская, Антон Бондаренко

**Аннотация:** показаны причины, определяющие сложность и нетривиальность задачи синтеза сетей доступа и предложены некоторые подходы к решению одной из задач проектирования этих сетей, а именно к выбору топологической структуры сети доступа. При этом особое внимание уделено анализу возможности использования хордовых кольцевых структур.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, сеть доступа, топология, узел доступа, сегмент локального доступа, хордовые кольцевые структуры.

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

---

### Введение

Значительные усилия исследователей направлены на повышение эффективности использования сетевых ресурсов, чтобы найти приемлемый компромисс между необходимыми характеристиками сети и затратами на ее сооружение. Специфика теоретической модели, представляющей телекоммуникационную сеть (ТС) в задачах синтеза ее оптимальной структуры, определяет как постановку задач, так и методы их решения. Типичная задача синтеза оптимальной первичной сети предполагает следующую постановку [Давыдов, 1977]. Задана матрица каналов между пунктами ввода и вывода информации и указана дислокация этих пунктов, задан набор типовых систем передачи и линий связи. Требуется построить сеть линий между этими пунктами, обеспечивающую реализацию заданной матрицы каналов при ограничениях, налагаемых на структуру сети географическими особенностями, технологиями обслуживания и алгоритмами работы сети, спецификой используемого оборудования и ожидаемых внешних воздействий, а также требованиями к качеству работы сети и ее экономическим параметрам [Давыдов, 1985].

Синтезу топологии первичных сетей посвящено большое количество работ, в частности, Г. Б. Давыдова, В. Н. Рогинского, В. И. Неймана, А. Д. Харкевича, С. А. Аджемова, В. Г. Лазарева, Л. Клейнрока, Г. П. Захарова, Дж. Мартина, А. Я. Толчана, Х. Иноссе и многих других. Однако анализ опубликованных работ показывает, что синтез первичной сети в самой постановке задачи не предполагает выбор местоположения узлов коммутации (УК). Синтезу коммутируемых сетей, подразумевающему определение местоположения УК, их взаимосвязь и взаимоподчинение, уделено гораздо меньше внимания в отечественных и зарубежных публикациях. При создании сетей доступа необходимо синтезировать топологию именно коммутируемой сети, характеризующейся некоторыми особенностями, отличающими ее от топологических структур, используемых ранее.

Особенности СД связаны с тем, что в соответствии с рекомендацией G.902, сеть доступа состоит из трех основных элементов, размещенных между оборудованием пользователя и узлами, предоставляющими обслуживание (УПО) [Гайворонская, 2010]. Эти элементы включают сегмент локального доступа (СЛД),

---

узел доступа (УД) и сегмент транспортного доступа (СТД). Сегмент локального доступа СД характеризуется максимальной гарантированной пропускной способностью и минимально допустимой длиной физической линии доступа (ЛД). Узел доступа реализуют на оборудовании, концентрирующем информационные потоки от индивидуальных линий локального доступа к различным базовым сетям. Сегмент транспортного доступа – это групповые тракты передачи информации между УД и УПУ базовых сетей, и функционально является частью национальной транспортной сети. Узел предоставления услуг реализуют в виде универсального сетевого элемента, способного поддерживать все требования пользователей.

Тенденции эволюции трех основных параметров СД: пропускной способности, топологии и среды передачи проанализированы проф. Соколовым в работе [Соколов, 1999]. Перспективная СД должна обеспечивать полосу пропускания, необходимую пользователю, поэтому верхний предел скорости передачи будет измеряться не только сотнями Гбит/с, но и Тбит/с. Кроме этого отчетливо проявляется диверсификация сред распространения сигналов, которые могут применяться для создания и развития СД, но доминировать все же будет оптическое волокно. Реализация СД сопровождается появлением новых топологий, среди которых предпочтение отдается кольцевым и комбинированным структурам. Достаточно перспективным может оказаться применение хордовых, и решетчатых структур, что подразумевает создание линий межузловой связи. Такие линии могут понадобиться, если необходимо подключить пользователя, требующего набор услуг существенно отличающийся от услуг, заказанных остальными пользователями, обслуживаемыми тем же УД. Создать их можно путем прокладки новой кабельной канализации, что связано с большими затратами, и подвержено влиянию множества факторов, которые могут значительно затруднить этот процесс. Поэтому эффективность использования межузловых линий в СД требует дальнейших исследований, некоторые результаты которых отображены в этой работе.

---

### **Выбор топологической структуры сети доступа**

---

Задачи синтеза сетей весьма сложны, причем сложность резко увеличивается по мере увеличения масштаба сети. Поскольку рассматривается задача, в которой синтезируется новая СД, процесс ее проектирования отображает практическую реализацию решения задачи синтеза. Для которой выполнена декомпозиция и выделены отдельные этапы её решения. Первоначально этот подход предложен в работе [Гайворонская, 2012], его развитие представлено в [Гайворонская, 2013]. Предлагаемая авторами последовательность и взаимосвязь задач, решаемых на отдельных этапах проектирования сетей доступа, соответствующих концепции, сформулированной в рекомендации G.902 и последующих, развивающих ее рекомендации МСЭ, показана на рис.1.

Анализ задач каждого этапа и методов их решения приведен в [Гайворонская, 2013]. При этом исходные параметры, используемые при проектировании СД, предлагается разделить на три группы, характеризующие территорию, пользователей и базовые сети, с которыми предполагается взаимодействие. Поскольку эти параметры отличаются большим разнообразием и плохо поддаются классификации в работе [Ганницкий, 2011] предложен подход повышающий эффективность предварительной обработки исходных данных, необходимых при проектировании СД. Выбор топологической структуры СД является, гораздо более сложной задачей, чем синтез структуры существующих ТС [Гайворонская, Бондаренко, 2013]. Поэтому решению этой задачи посвящен отдельный этап, при реализации которого выполняется фрагментирование территории, обслуживаемой СД [Гайворонская, 2013; Гайворонская, Бондаренко, 2013], выбирается способ подключения УД

(одноуровневый или двухуровневый) и местоположение этих узлов, оценивается целесообразность поперечных связей и определяется схема прокладки линий доступа.

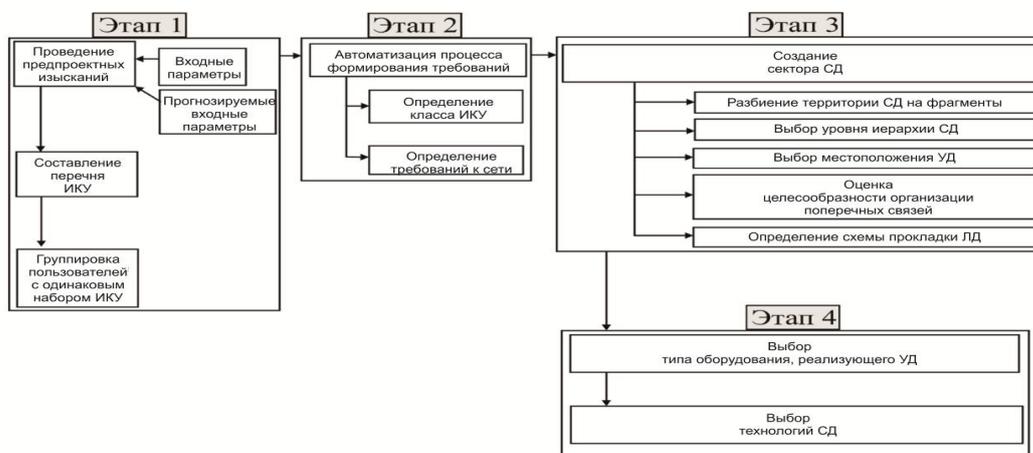


Рисунок 1. Последовательность и взаимосвязь задач задач, решаемых при

Возможным подходам решения совокупности задач третьего этапа посвящена данная работа, целью которой является повышение эффективности проектирования СД, объектом – топологическая структура СД, а предметом – методы оптимального синтеза ТС.

Поскольку основным требованием к топологической структуре СД является минимизация длины СЛД при гарантированной пропускной способности, основополагающим при выборе топологии СД является выбор местоположения УД. Некоторые методы решения задач определения количества и местоположения УД приведены в [Гайворонская, Котова, 2010; Гайворонская, Сахарова, 2011; Гайворонская, 2011; Гайворонская, Бондаренко, 2011]. Реализация основных требований, выдвигаемых МСЭ, ETSI и другими стандартизационными организациями к структуре СД приводит к увеличению территории, обслуживаемой этой сетью, и к достаточно сложным структурам сети, сочетающим различные топологии. Пример топологии СД показан на рис. 2.

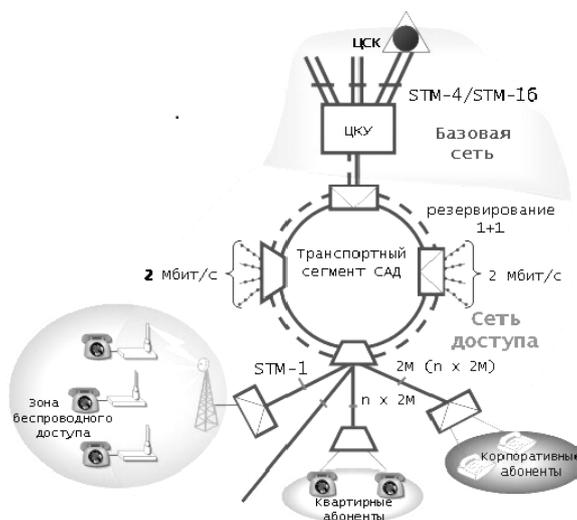


Рисунок 2. Пример структуры СД

Для выбора топологий, сочетание которых предполагается использовать на проектируемой СД, предложено использовать методы теории принятия решений, при этом решение задачи может быть автоматизировано с помощью программного продукта «Системы и методы принятия решения» (СМПР), реализованного под руководством д.т.н. проф. Волошина А.Ф. (Киевский национальный университет им. Т.Г. Шевченко) [Волошин, 2010].

Для выбора топологической структуры СД необходимо проанализировать целесообразность применения решетчатых, сетчатых и хордовых топологий. В этой работе остановимся только на хордовых кольцевых сетях, в которых наряду с каналом, соединяющим все узлы в кольцо (кольцевой канал), имеются прямые каналы между несмежными узлами кольца (каналы-хорды).

### Анализ возможности применения хордовых топологий в сетях доступа

В последние годы появился ряд работ, посвященных исследованию хордовых кольцевых сетей. Хордовые сети с однонаправленными каналами, в которых в каждом узле  $i$  имеются два исходящих и два входящих канала (рис. 3,а) исследовались в [Wong, 1974; Raghavendra, 1985; Hwang, 1987; Fiol, 1987].

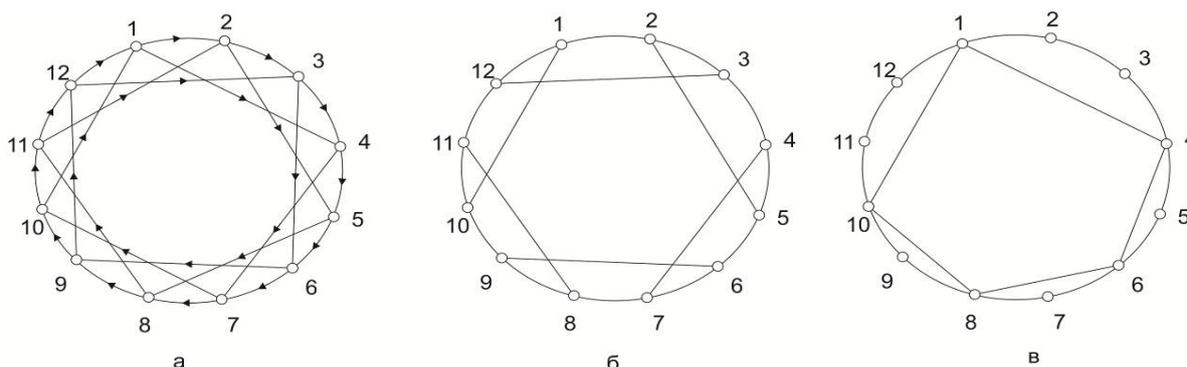


Рисунок 3. Кольцевые хордовые структуры

Исходящие каналы направлены к узлу  $(i + 1)$  и к узлу  $(i + b)$ , при этом  $b$  имеет одно и то же значение для всех  $i$ , где  $b$  – шаг хорды. Цель опубликованных исследований – предложить алгоритм выбора параметра  $b$ , минимизирующий максимальное и среднее расстояния между узлами хордовой сети. При этом под расстоянием  $d(i, j)$  между двумя узлами  $i$  и  $j$  понимается минимальное число шагов, за которое из узла  $i$  можно попасть в узел  $j$ . Диаметр сети считаем максимальное расстояние между ее узлами:  $D = \Delta_{ij} \max d(i, j)$ . Среднее расстояние между узлами определяется из выражения

$d = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d(i, j) / N^2$ , где  $N$  – количество узлов. В [Wong, 1974] показано, что при  $b \approx \sqrt{N}$  диаметр

$$D \approx 2\sqrt{N}, \quad d \approx \sqrt{N}.$$

Примерно такие же результаты выводятся в [Raghavendra, 1985] для  $b \approx -\sqrt{N}$ , здесь показано, что это существенно лучше, чем при  $b = -1$  и при  $b = -2$ . В [Hwang, 1987] говорится об алгоритме выбора  $b$ , обеспечивающем  $D \approx \sqrt{3N} + 2\sqrt[4]{3N}$  для всех значений  $N$ , а в [Fiol, 1987] приведены полученные с помощью моделирования абсолютно лучшие значения  $D \approx \sqrt{3N}$  и  $d \approx 5\sqrt{3N} / 9$  с соответствующими

им значениями  $b$  для всех  $N \leq 256$ . В [Raghavendra, 1985; Fiol, 1987] приводится сравнение показателей  $D$  и  $d$  для колец, реализующих двойные кольцевые топологии. В [Arden, 1981] исследованы хордовые кольцевые сети с двунаправленными каналами и четным числом узлов (рис. 3,б), при этом сравниваются значения диаметра при различном  $b$  и показано, что при всех  $b$  выполняется соотношение  $D \geq \sqrt{N} - 1$ . Из любого узла  $i$  такой сети исходят три однонаправленных канала к узлам  $(i + 1)$  и  $(i - 1)$ , а также к узлу  $(i + b)$  либо  $(i - b)$ . При анализе двойных кольцевых топологий показано, что суммарная протяженность хордовых каналов существенно зависит от значения  $b$ . Если каждый канал математической модели сети является отдельным физическим каналом, стоимость которого пропорциональна его длине, такое соображение становится весьма существенным, если не решающим. В частности, если все каналы проложены в одном кабеле, то суммарная протяженность каналов двойной кольцевой топологии составляет в точности  $(|b| + 1)$  длин кольца.

В такой ситуации нас может интересовать, каким образом минимизировать диаметр и среднее расстояние между узлами хордового кольца (ХК). С точки зрения топологии СД, нас интересуют только двунаправленные ХК, в которых хорды следуют цепочкой друг за другом, образуя внутреннее хордовое кольцо (рис. 3в). В [Андреев, 1989] показано, что в двунаправленных ХК, имеющих  $n$  хорд с шагом  $s$  и содержащих  $N = ms$  узлов, диаметр вычисляется по формуле  $D = s + \lceil m/2 \rceil - 1$ , где  $\lceil m/2 \rceil$  - целая часть  $m/2$ .

Чтобы выбрать наиболее целесообразный диаметр кольца и расстояние между узлами, выполним аналитическое исследование модели хордовой сети, показанной на рис. 4.

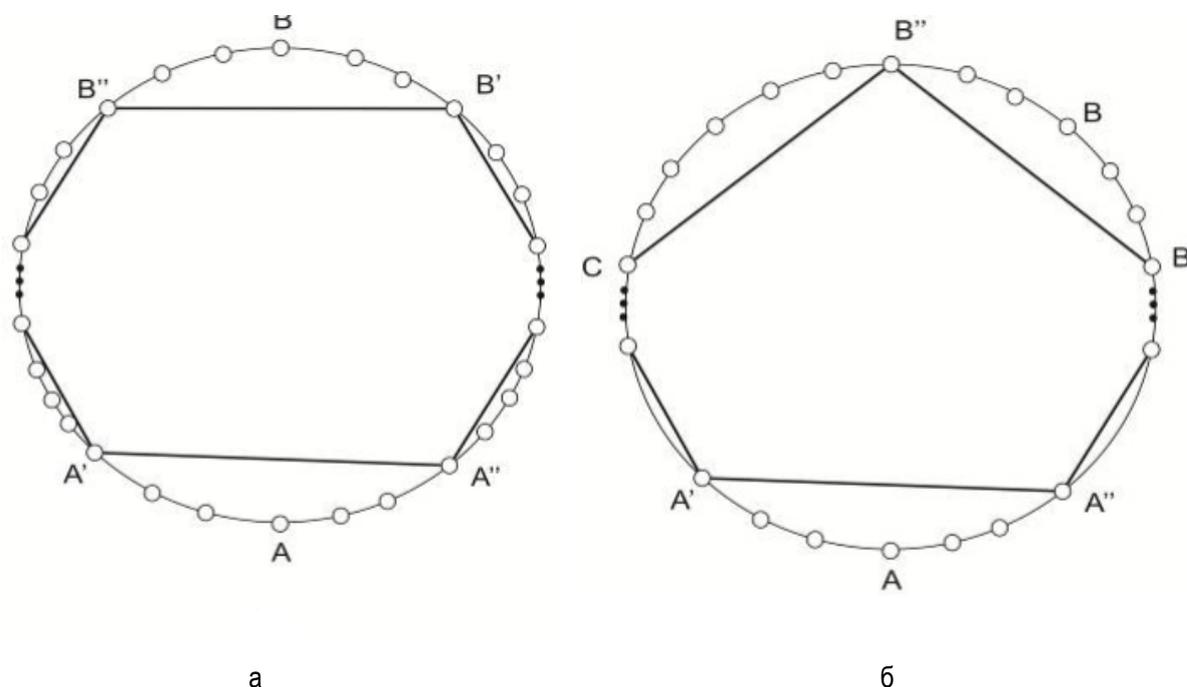


Рисунок 4. Хордовые кольца

Рассмотрим случай, когда  $n$  четно. При четном  $s$  вычислим расстояние между узлами  $A$  и  $B$ , находящимися точно посередине диаметрально противоположных дуг  $A'A''$  и  $B'B''$  (рис. 4а). Узлы, принадлежащие и к основному, и к хордовому кольцам (например,  $A'$ ,  $A''$ ,  $B'$ ,  $B''$ ), назовем узлами 2-го

порядка, а все прочие – узлами 1-го порядка. Поскольку и  $A$ , и  $B$  отстоят от ближайших узлов 2-го порядка на  $s/2$  шагов и расстояние между ними ( $A'B''$  или  $A''B'$ ) равно  $(n/2) - 1$ , в итоге имеем  $d(A, B) = s + \frac{m}{2} - 1$ . Легко убедиться, что расстояние между любыми другими двумя узлами сети не превышает  $d(A, B)$ . При  $s$  нечетном выберем  $A$  и  $B$  также из диаметрально противоположных хорд и на максимальном  $(s-1)/2$  отдалении от ближайших узлов 2-го порядка  $A'$  и  $B''$ , которые тоже диаметрально противоположны. Получаем  $d(A, B) = s - 1 + \frac{m}{2}$  поскольку маршруты  $AA'B'B$ ,  $AA''B''B$ ,  $AA''B'B$  все имеют такую длину. Результирующие выражения при четном и нечетном  $s$  совпадают, и нетрудно убедиться, что более удаленных пар узлов в сети нет.

Пусть теперь  $n$  нечетно. При четном  $s$  наибольшее расстояние в сети наблюдается между узлами  $A$  и  $B$ , находящимися точно посередине дуг  $A'A''$  и  $B'B''$ , максимально отстоящих друг от друга. По дугам  $AA''$  и  $BB''$  путь составляет дважды по  $s/2$  шагов плюс  $\left(\frac{m-1}{2} - 1\right)$  шагов по хордам от  $A''$  до  $B'$ , что в итоге дает  $d(A, B) = s + \frac{m-1}{2} - 1 = s + \lfloor m/2 \rfloor - 1$ , поскольку более короткого маршрута нет. А при нечетном  $s$  на максимальном удалении находятся, например, узлы  $A$  ( $\frac{s-1}{2}$  шагов до  $A'$ ) и  $B$  ( $\frac{s-1}{2}$  шагов до  $B''$ ) в наиболее отдаленных друг от друга дугах  $AA''$  и  $BB''$ , причем от  $A'$  до  $B''$  по хордам  $\frac{m-1}{2}$  шагов. Так что  $d(A, B) = s - 1 + \frac{m-1}{2} = s + \lfloor m/2 \rfloor - 1$ , поскольку другие пути от  $A$  до  $B$  не короче.

В двунаправленных ХК, имеющих нечетное число хорд с шагом  $s$  и числом узлов  $N = ms$ , среднее расстояние между узлами вычисляется по формуле

$$d = (((2s + m)m - s)s / 4N) - \begin{cases} (m + s/2 - 1) / N, \text{ при } s \text{ четном} \\ ((m + s) / 2 + (s + 1) / 4s) / N, \text{ при } s \text{ нечетном} \end{cases} \quad (1)$$

Обозначив через  $R(N)$  сумму расстояний от какого-либо узла кольцевой сети с одним каналом и  $N$  узлами до всех узлов сети, при нечетном  $N$  получим

$$R(N) = 2 \left( 1 + 2 + \dots + \frac{N-1}{2} \right) = (N-1)(N+1) / 4, \quad (2)$$

а при четном  $N$

$$R(N) = 2 \left( 1 + 2 + \dots + \left( \frac{N}{2} - 1 \right) \right) + \frac{N}{2} = N^2 / 4. \quad (3)$$

В рассматриваемых двунаправленных ХК под наиболее отдаленными парами дуг будем понимать такие пары дуг, между которыми пролегает  $\lfloor m/2 \rfloor - 1$  хорд. При нечетном числе хорд (рис. 4б) каждая дуга  $A'A''$  входит в две пары наиболее отдаленных дуг – ( $A'A''$ ,  $B'B''$ ) и ( $A'A''$ ,  $CB''$ ). Но и при четном, и при нечетном  $n$  таких пар будет ровно  $n$ . Вычислим сумму длин дуг, входящих в каждую такую пару, и максимальное значение этой величины обозначим через  $S$ . Для хордовых колец из предыдущих утверждений, понятно, что  $S = 2s$ . В двунаправленных ХК с  $n$  хордами с максимальным шагом  $s$  и минимальным шагом  $(s-1)$  диаметр вычисляется по формуле  $D = \lfloor (S + m) / 2 \rfloor - 1$ . При этом следует

учесть, что при произвольных длинах дуг наиболее удаленные узлы вовсе не обязательно лежат в наиболее отдаленных парах дуг. Среди двунаправленных ХК с произвольным фиксированным числом узлов  $N$  минимальный возможный диаметр  $D(N) = \lfloor \sqrt{2N + 1/4} - 1/2 \rfloor$  достигается среди хордовых и кольцевых сетей с примерно равными дугами.

В таблице 1 для каждого значения диаметра  $D$  вычислено максимально возможное число узлов  $N$  двунаправленного ХК, представлены параметры соответствующей сети с нечетным числом  $n$  дуг равной длины  $s$ , а также вычислено среднее расстояние между узлами  $d$  такой сети. Для сравнения показаны минимальные значения  $D$  и  $d$  для двойных кольцевых топологий с тем же числом узлов, а также на каких однонаправленных хордовых кольцах они достигаются. Анализируя результаты, приведенные в таблице, можно сделать вывод о том, что для произвольного числа узлов  $N$  среднее расстояние между этими узлами, при числе дуг равно  $m_s = N - (s(N) - 1)m(N)$ , составляет  $d \approx \sqrt{\frac{N}{2}}$ .

Таким образом, доказано, что при любом  $N$  имеются хордовые сети с диаметром  $D < \sqrt{2N}$  и расстоянием между узлами  $d \approx \sqrt{\frac{N}{2}}$ , что существенно лучше аналогичных показателей в двойных кольцевых топологиях, достигаемых к тому же при куда большей суммарной длине, а следовательно, и стоимости.

**Таблица 1.** Вычисления максимально возможного числа узлов  $N$  двунаправленного ХК

Двунаправленное хордовое кольцо					Двойная кольцевая топология		
$N$	$s$	$n$	$D$	$d$	$D$	$d$	$N$
3	1	3	1	0,66667	1	0,66667	2
6	2	3	2	1,08333	3	1,5	3
10	2	5	3	1,65	4	2,1	4
15	3	5	4	2,35556	5	2,8	5
21	3	7	5	2,92063	6	3,42857	10
28	4	7	6	3,32143	8	4,21428	6
36	4	9	7	3,86111	9	4,83333	12
45	5	9	8	4,46222	10	5,55556	21
55	5	11	9	4,99636	11	6,18182	22
66	6	11	10	5,41667	13	6,86364	16
78	6	13	11	5,94231	14	7,57692	19
91	7	13	12	6,50863	15	8,18681	18
105	7	15	13	7,03129	16	8,93333	30
120	8	15	14	7,46667	17	9,55	20
136	8	17	15	7,98529	19	10,32353	33
153	9	17	16	8,5345	20	10,94118	22
171	9	19	17	9,05138	21	11,68421	38
190	10	19	18	9,49737	23	12,3421	27
210	10	21	19	10,0119	24	13,07143	41
231	11	21	20	10,55096	25	13,80952	45
253	11	23	21	11,06432	26	14,43478	46

Простейшим вариантом использования таких структур в сетях доступа, является модель, представленная на рис. 5, где изображен пример реализации СД, обеспечивающей доступ к трем базовым сетям, представленными соответствующими УПО.

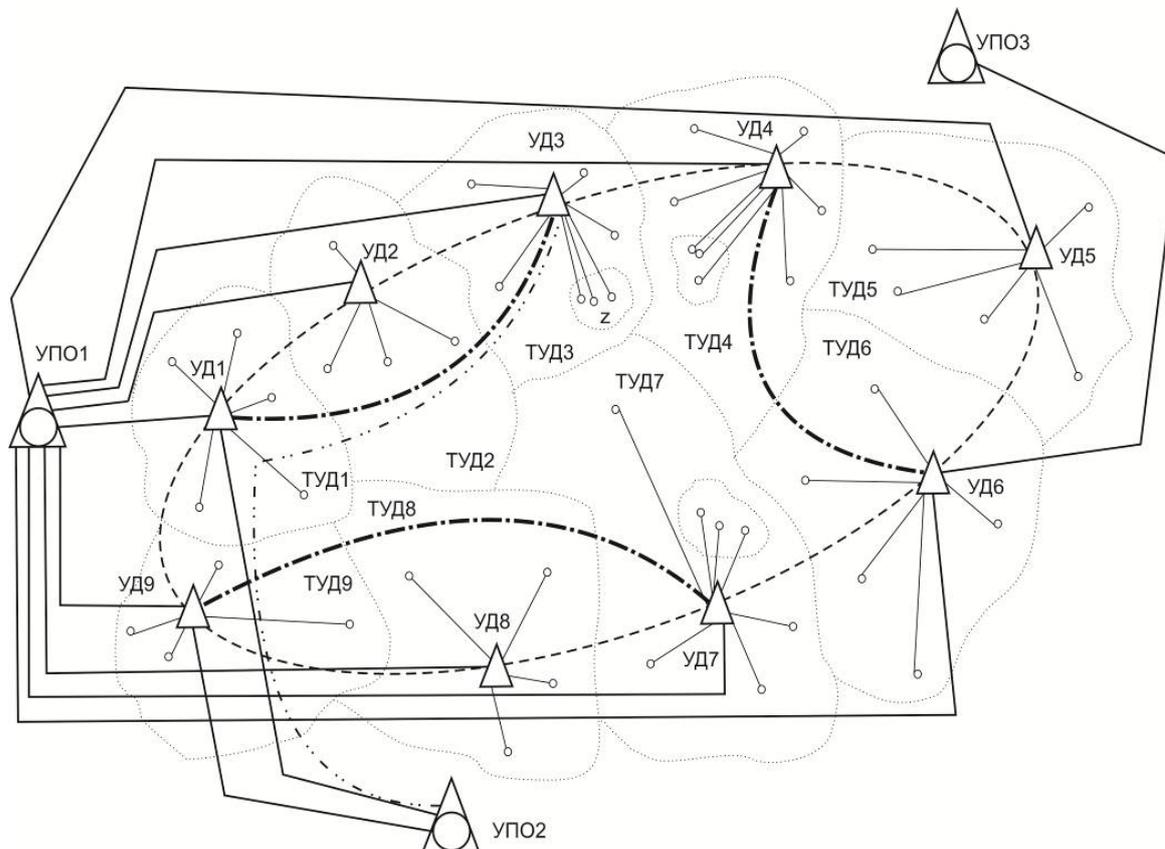


Рисунок 5. Пример реализации СД

На сети доступа организовано девять УД (условно соединенные по топологии кольцо, обозначенное штриховой линией), кроме этого реализованы три хорды: УД1-УД3, УД6-УД4, УД9-УД7 (обозначенные штрих-пунктирной линией), организация которых обусловлена тем, что на территории, обслуживаемой УД3 (ТУД3) расположены пользователи, набор услуг которых требует подключения к базовым сетям, связанным с УД1 (т.е. относящиеся к ТУД1). Аналогично на ТУД4 располагаются пользователи, с набором услуг требующим подключение к УД6, а на ТУД7 – к УД9. Путь предоставления услуг пользователям находящимся в секторе Z, размещенном на территории, обслуживаемой УД3 (ТУД3) с помощью УПО2 с которым УД3 не имеет связи, реализованный с помощью хорды, обозначен на рисунке линией штрих-точка-точка. Используя выражения, полученные выше нетрудно получить значения диаметра кольца и среднее расстояние между узлами  $D \leq 4$  и  $d = 2$ , минимизирующие общую протяженность линий доступа для рассматриваемого примера сети.

Определив местоположение УД и структуру связей между ними выбираем наиболее целесообразные пути прокладки ЛД от УПУ к УД и от УД к пользователям. Для этого в рамках сотрудничества с Киевским институтом кибернетики им. В.М. Глушкова разработан метод выбора маршрута прокладки ЛД, основанный на модели балансных сетей, предложенной д.т.н., проф. Гладуном В.П. [Гладун, 2000]. Реализация этого метода рассмотрена в [Величко, 2012].

---

## Заклучение

---

В работе предложено сочетание методов, последовательное применение которых позволит выбрать наиболее целесообразную топологическую структуру сети доступа, что даст возможность повысить эффективность и увеличить точность проектирования этих сетей. Дальнейшие исследования, проводимые коллективом кафедры ИКТ, посвящены решению задач четвертого этапа проектирования СД – выбору оборудования и транспортных технологий доступа. В результате планируется завершить разработку целостной методики проектирования СД, что позволит оптимизировать процесс создания сетей следующего поколения *Next Generation Networks (NGN)*.

---

## Литература

---

- [Arden, 1981] Arden B.W. Analysis of Chordal Ring Network / Arden B.W., Lee H. // IEEE Trans. Comput., 1981. – Vol.30, №4. – p.291-295
- [Fiol, 1987] Fiol M.A. A discrete optimization problem in local networks and data alignment / Fiol M.A., Yebra J.L.A., Alegre I., Valero M. // Ibid, 1987. – Vol.36, №6 – p.702-713
- [Hwang, 1987] Hwang F.K. Comments on « Reliable loop topologies for large local computer networks» // Ibid, 1987. – Vol.36, №3. – p.383-384
- [Raghavendra, 1985] Raghavendra C.S. Reliable loop topologies for large local computer networks / Raghavendra C.S., Gerla M., Avizienis A. // Ibid, 1985. – Vol.34, №1. – p.46-55
- [Wong, 1974] Wong C.K., Coppersmith D.A. Combinatorial problem related to multimodule memory organizations // JACM, 1974. – Vol.21, №9. – p.392-402
- [Андреев, 1989] Андреев Л.В. Хордовые кольцевые сети с двумя дуплексными каналами // Сборник научных трудов «Теория телетрафика в системах информатики». М: «Наука», 1989. – с.136-144
- [Величко, 2012] Величко В.Ю. Анализ возможности использования модели балансных сетей при проектировании сетей доступа / Величко В.Ю., Бондаренко А.А./ International Journal "Information Theories and Knowledge". – Sofia: ITNEA, 2012. – № 2 (Volume 6) – P. 126-130.
- [Волошин, 2010] Волошин О.Ф. Моделі та методи прийняття рішень: навчальний посібник для студ. вищ. навч. закл. / О.Ф.Волошин, С.О.Машенко // 2-ге вид. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». – 2010.– 336 с.
- [Гайворонская, 2010] Гайворонская Г.С. Основные задачи модернизации сетей пользовательского доступа / Г.С. Гайворонская, А.И. Котова // Зв'язок. – 2010. – №2 (90). –С.32-36.
- [Гайворонская, 2011] 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.
- [Гайворонская, 2012] Гайворонская Г.С. Основные принципы проектирования сетей доступа / Г.С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Зв'язок. – 2012. – №4 (100). – С.22-27
- [Гайворонская, 2013] Гайворонская Г.С. Разработка методики проектирования сетей доступа / Г.С. Гайворонская, А.А. Бондаренко // Сучасний захист інформації. ДУІКТ. – 2013. – № 1. – С. 81-86
- [Гайворонская, Бондаренко, 2011] Гайворонская Г.С. Программная реализация проектируемой ортогональной сети доступа / Г.С. Гайворонская, С.В. Сахарова, А.А. Бондаренко // Комп'ютерні системи та мережі, № 11. – 2012.
- [Гайворонская, Бондаренко, 2013] Гайворонская Г.С. Метод фрагментации территории, обслуживаемый сетью доступа/ Г.С. Гайворонская, А.А. Бондаренко // Вісник ДУІКТ. – 2013. – №2. – С. 25-30

- [Гайворонская, Котова, 2010] 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.
- [Гайворонская, Сахарова, 2011] 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.
- [Ганницкий, 2011] Ганницкий І.В. Підвищення швидкості обробки результатів вимірювань параметрів потоку викликів / Ганницкий І.В., Бондаренко А.А./ «Холодильна техніка і технологія». – Одеса, ОДАХ, 2011. – №1 (129), с. 69-72
- [Гладун, 2000] Гладун В.П., Партнерство с компьютером. Человеко-машинные целеустремленные системы, «Port Royal», Киев, 2000. – 128с
- [Давыдов, 1977] Давыдов Г. Б., Рогинский В. Н., Толчан А. Д. Сети электросвязи. – М.: Связь, 1977. – 380 с.
- [Давыдов, 1985] Давыдов Г.Б. Некоторые проблемы оптимизации развития сетей//Электросвязь.– 1985.– №2.– С. 1-5
- [Соколов, 1999] Соколов Н. А. Сети абонентского доступа. – Пермь: ИПК Звезда, 1999. – 154 с.

---

### Информация об авторах

---



**Галина Гайворонская** – Факультет Информационных технологий и кибербезопасности ОНАПТ, д.т.н., профессор, зав. кафедрой информационно-коммуникационных технологий, советник ректора по инфокоммуникациям; Украина, Одесса, 65026, ул. Дворянская, 1/3; тел. (048)-720-91-48; e-mail: [gsgayvoronska@gmail.com](mailto:gsgayvoronska@gmail.com)

*Области научных исследований: оптимизация переходных периодов при эволюции телекоммуникационных сетей. Потоки вызовов, нагрузка и межузловое тяготение в сетях. Проблемы создания сетей доступа. Проблема построения полностью оптических сетей и систем коммутации*



**Антон Бондаренко** – Факультет Информационных технологий и кибербезопасности ОНАПТ, аспирант кафедры информационно-коммуникационных технологий; Украина, Одесса, 65026, ул. Дворянская, 1/3; тел. (048)-720-91-48; e-mail: [divlaine@mail.ru](mailto:divlaine@mail.ru)

*Области научных исследований: Сети доступа: проблемы их создания и методы проектирования. Теория и методы принятия решений.*