

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ С УЧЕТОМ ПРОТИВОРЕЧИВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

© Чеботарёва Д.В., 2013

D.V. Chebotarova

Kharkov National University of Radio Electronics

OPTIMIZATION OF TOPOLOGY TRANSMISSION NETWORK MOBILE COMMUNICATION WITH TAKING INTO ACCOUNT CONFLICTING QUALITY PARAMETERS

© Chebotarova D.V., 2013

To meet the put forward contradictory technical and economic demands to the structure of transmission networks it is necessary to use multi-criteria optimization methods when planning them. During our planning of a transmission network we design such a topology that has to provide high quality and sufficient reserve capacity at least costs. In practice it means that the designer must balance three transmission network quality factors, which characterize the cost, the quality and the capacity. In this paper we are going to discuss mostly the features of performing the nominal stage of the transmission network planning with the aid of multi-criteria optimization methods. We substantiate our choice of the set of quality factors which can be used to find the optimal topology of a transmission network with respect to them. The optimization procedure includes the next steps: 1) forming a set of valid network topology variants; 2) extracting from the obtained set the Pareto-optimal variants followed by selection of a single variant. The main method to protect against unavailability factor increase is to build a ring topology. However this strategy requires the use of additional equipment and trunks which will lead to a considerable increase in the cost of our network. The cost of the network should be calculated in accordance with the required number of connections and of cross-connectors. That is why it is advisable to carry out the optimization of a mobile communications transmission network with respect to these two conflicting parameters, namely, unavailability factor and cost. Analysis of stages and tasks of mobile communication transmission networks has been done. Initial data, technical characteristics and quality factors that are taken into account during transmission networks planning have been determined. A feature of such networks is that their quality factors are not only related and contradictory to each other, but the values of them depend on the selected specific network topology. That is why to select optimal topologies of a transmission network taking into account the set of quality factors we have to use general provisions of multi-criteria optimization. The paper presents results of solution to the problem of discrete choice of transmission network optimal topologies. The choice takes into account the set of quality factors, namely, unavailability factor and network cost. The set of valid topologies is constructed. The values of contradictory quality factors are estimated and the subset of Pareto-optimal variants of network topology over the criterion space of estimates of quality factors is found. By using the conditional preference criterion we extracted a single variant of transmission network topology from the Pareto subset.

Key words: transmission networks, network topology, multi-criterion optimization methods, Pareto-optimal solutions, quality factor, unavailability, cost, mobile communication.

Рассмотрены особенности оптимизации транспортной сети и приведены результаты решения задачи выбора оптимальной топологии транспортной сети с учетом совокупности показателей качества на основе методов многокритериальной оптимизации.

Ключевые слова: транспортная сеть, топология сети, методы многокритериальной оптимизации, Парето-оптимальные решения, параметры качества, неготовность, стоимость, мобильная связь.

Введение

Важным этапом планирования сотовой сети мобильной связи (ССМС) является планирование транспортной сети (СТНП – Cellular Transmission Network Planning). При этом главной задачей является разработка структуры (топологии) сети, обеспечивающей взаимодействие между всеми узлами сети (базовыми станциями, базовыми контролерами, центром коммутации). В результате планирования транспортной сети необходимо получить: топологию сети; перечень и технические характеристики узлов, линий, цифровых кросс-коннекторов; суммарный коэффициент загрузки собственных и арендованных линий.

К структуре транспортных сетей предъявляются противоречивые технико-экономические требования, что определяет необходимость применения при их планировании методов многокритериальной оптимизации. Анализ литературы, посвященной планированию транспортных сетей [1, 2], показал, что планирование этих сетей не рассматривается как задача многокритериальной оптимизации с учетом совокупности показателей качества.

В общем случае в транспортной сети мобильной связи можно выделить два основных сегмента: магистральная транспортная сеть и сеть радиодоступа (RAN). Принципы построения магистральной сети мобильной связи имеют свои особенности, но в целом совпадают с принципами построения других магистральных сетей передачи. Поэтому особое внимание уделяется участкам сети, которые соединяют базовые станции с базовыми контроллерами (контроллерами управления радиосетью) [1].

Перед началом планирования транспортной сети мобильной связи следует собрать всю необходимую информацию и получить результаты предыдущих этапов планирования всей сети. Такими исходными данными для планирования транспортной сети являются:

- географические карты и базы данных,
- географическое расположение базовых станций,
- наличие прямой видимости между элементами планируемой транспортной сети,
- наличие существующих линий передачи, транспортных сетей и их топологии,
- требования к производительности и доступности,
- требования к сигнализации и синхронизации,
- прогнозы трафика и перспектив развития сети,
- возможности и стоимость оборудования,
- материальные возможности оператора,
- принципы корпоративной стратегии и руководящие принципы и т.д.

Цель планирования транспортной сети – соединить базовые станции (BTS) с контроллерами радиосети (BSC) и базовой сетью с оптимальными показателями качества. Линии передачи при этом могут быть медными, коаксиальными, радиорелейными или волоконно-оптическими. Радиорелейные соединения гибкие, а именно оборудование легко размещается на базовых станциях. Проводные линии нуждаются в большем объеме инженерных работ во время прокладки и реконфигурации сети. Волоконно-оптические линии разворачиваются в том случае, когда необходимо соединение с большой пропускной способностью. Главное отличие между планированием радиосети и транспортной сети заключается в том, что планируемая транспортная сеть должна полностью удовлетворять создаваемую нагрузку по обслуживанию мобильных пользователей в радиосети на протяжении всего ее существования [1].

В процессе планирования транспортной сети разрабатывается схема соединений, которая должна обеспечить высокое качество и достаточную резервную емкость при минимальных затратах. Практически, проектировщик должен сбалансировать три показателя качества транспортной сети, характеризующие стоимость, качество и емкость.

Процесс планирования транспортной сети включает пять этапов, которые представлены на рис. 1. На практике процесс планирования достаточно сложный, так как на каждом этапе выполняется много итераций, прежде чем конечная структура транспортной сети будет готова.

Планирование начинается со сбора данных, которые включают требования к емкости и качеству. Обработывается основная информация о доступном оборудовании, инструментальных средствах для планирования и вычисление бюджета подключений; определяется топология, которая может использоваться, и так далее.

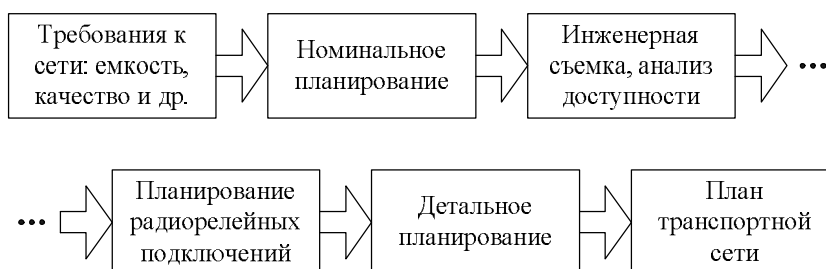


Рис. 1. Этапы планирования транспортной сети

Этап номинального планирования сосредотачивается на аспектах определения размеров и топологии транспортной сети связи. Он начинается после обработки полученной информации о результатах планирования радиосети. Когда известно число базовых станций и нагрузка на сеть, анализируются качественные параметры их размещения, линии прямой видимости сайтов, возможность подключения и формируют мысленную топологию сети или требования к ней.

Этап детального планирования состоит из распределения частот (частотное планирование), определения маршрутизации сигналов, принципов синхронизации, и планирования управления сетью связи. Каждый этап планирования может вносить изменения в предыдущий, поскольку в процессе планирования стараются достичь компромисса между пропускной способностью сети, качеством и стоимостью [1, 2]. На данном этапе уточняется бюджет, используются специальные программные пакеты, например Nokia NetAct Link Planner.

В данной статье в основном рассматриваются особенности выполнения номинального этапа планирования транспортной сети с применением методов многокритериальной оптимизации. Обосновывается выбор совокупности показателей качества, которые могут использоваться при выборе оптимальной структуры транспортной сети. Формируется некоторое множество допустимых вариантов структуры сети, выделяются из них Парето-оптимальные варианты, а затем из них выбирается единственный вариант.

1. Выбор показателей качества транспортной сети

Топология транспортной сети, которая проектируется в рамках установленных правил и рекомендаций, влияет на готовность (доступность) каждого узла. Рекомендации ITU-T G.821 и ITU-T G.826 описывают параметры готовности. В частности, неготовность аппаратуры - это такое состояние участка сети, при котором в течение десяти секундных интервалов, следующих подряд, имеет место пропадание сигнала (потеря синхронизации) или коэффициент ошибок превышает норму [3]. Причинами, приводящими к неготовности аппаратуры, могут быть следующие: ненадежность аппаратуры, ошибки обслуживающего персонала, экранирующее влияние препятствия при субрефракции, влияние гидрометеоров, влияние промышленных атмосферных факторов.

Для транспортных соединений BTS с BSC используют 2-й и 3-й класс качества гипотетической модели тракта короткого участка [2]. Для 2-го и 3-го класса качества коэффициент неготовности

ти согласно рекомендации ITU-T G.821 не должен превышать 0,05% в год. Этот показатель имеет отношение ко всей цепи, т.е., если существует цепь из 10 базовых станций сети, подключенных к контроллеру, то для каждого звена (пролета) значение коэффициента неготовности N_i будет равно 0,005%. В реальной сети может быть меньше 10 звеньев, соединяющих BTS с BSC, однако операторы сетей для резерва производительности предпочитают применять значение коэффициента неготовности равное 0,005% для каждого звена. Обычно используют однотипные соединения. Неготовность BTS зависит от количества участков и типа конфигурации. Если тракт состоит из последовательно соединенных участков, то неготовность BTS (N) для BSC определяется

$$N = \sum_{i=1}^m N_i, \quad (1)$$

а для параллельно соединенных участков:

$$N = \prod_{i=1}^m N_i, \quad (2)$$

где m – количество участков, i – номер участка. Готовность в любом случае равна $D = 1 - N$, так как общее время работы оборудования составляется из периодов готовности и неготовности.

На рис. 3 приведены простые примеры соединений BTS, а также неготовность каждой BTS и суммарный процент неготовности в тракте в зависимости от количества соединений.

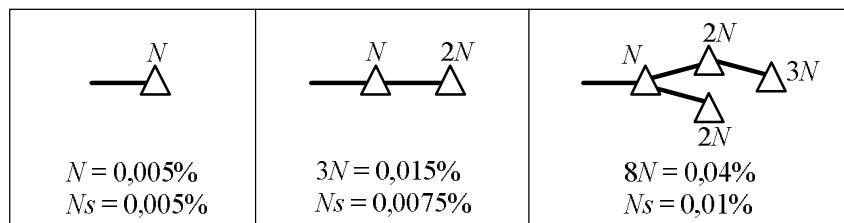


Рис. 3. Неготовность каждой BTS (N_s) и суммарный процент неготовности в тракте в зависимости от количества соединений

Основным методом защиты от увеличения коэффициента неготовности является построение кольцевой топологии [2]. На рис. 4 показано уменьшение коэффициента неготовности BTS при использовании кольцевых топологий сети.

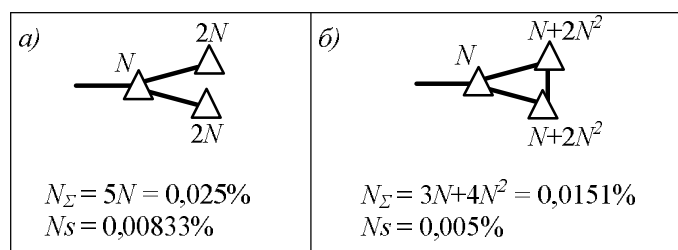


Рис. 4. Уменьшение коэффициента неготовности BTS за счет использования конфигурации кольцо

Видно, что использование кольцевой топологии (б) уменьшает коэффициент неготовности по сравнению с (а) почти в два раза. Но стоит отметить, что кольцевая топология требует дополнительного оборудования и соединительных линий, что приводит к значительному увеличению стоимости сети. Стоимость сети следует рассчитывать согласно необходимому количеству соединений и наличию кросс-коннекторов [2]. Поэтому целесообразно выполнять оптимизацию транспортной сети мобильной связи с учетом двух противоречивых параметров: коэффициента неготовности и стоимости.

2. Формирование множества вариантов топологий транспортной сети

Рассмотрим пример, когда в результате планирования радиосети был получен план точного расположения 26 базовых станций и контроллера сети (рис. 5). Также имеются данные по возможности организации связи между всеми BTS. Необходимо найти оптимальный вариант топологии сети с учетом двух противоречивых показателей качества: коэффициента неготовности и относительной стоимости.

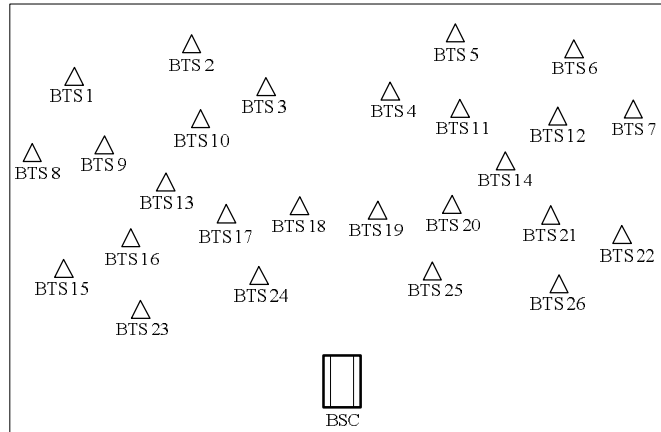
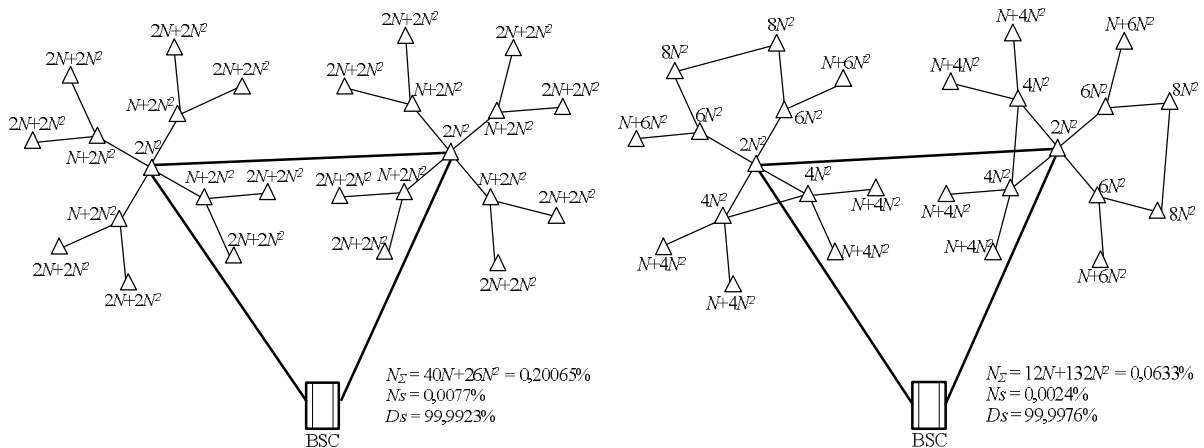
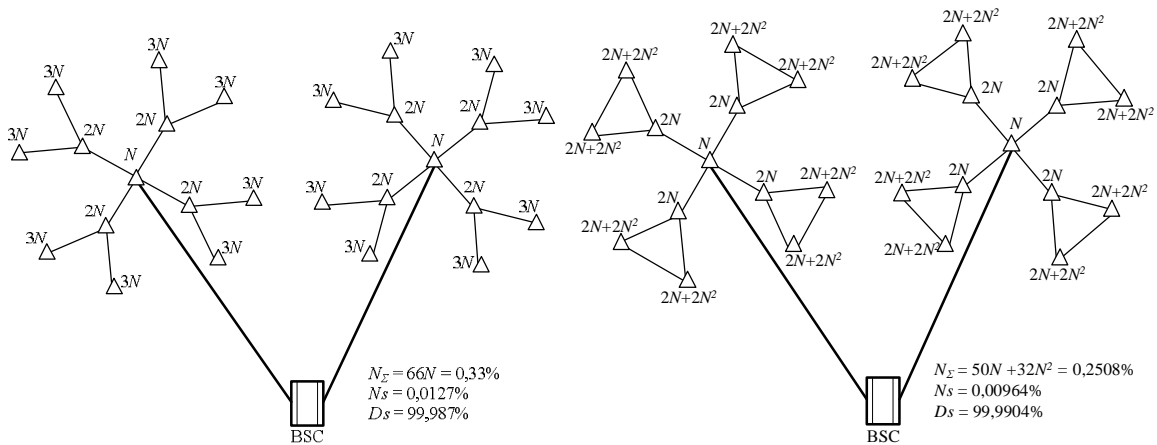


Рис. 5. План расположения элементов сети мобильной связи

Для рассматриваемой сети было сформировано некоторое множество вариантов топологий транспортной сети, которые представлены на рис. 6 – 11.



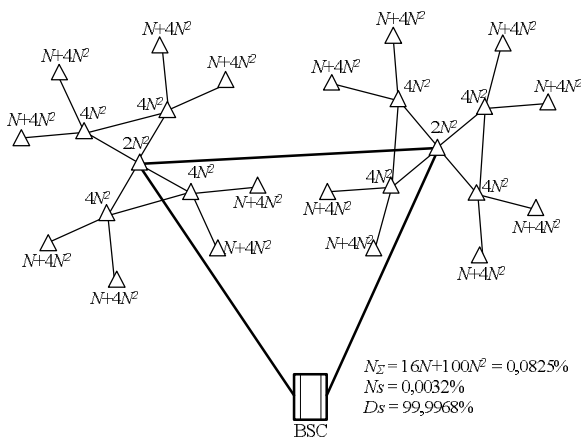


Рис. 10. Топология 5 транспортной сети

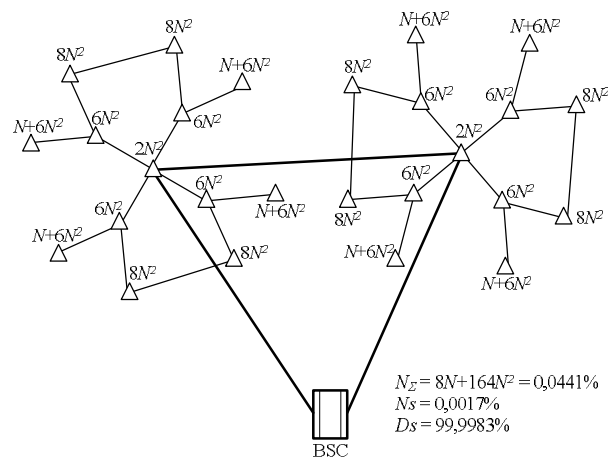


Рис. 11. Топология 6 транспортной сети

3. Результаты выбора топологий транспортной сети, оптимальных по совокупности показателей качества

Решение задачи выбора оптимальной топологии транспортной сети включает формирование множества допустимых вариантов топологий сети, задание совокупности показателей качества и критерия оптимальности топологии, а также выбор Парето-оптимальных вариантов топологии и выделение среди них единственного варианта топологии транспортной сети [4].

Парето-оптимальные решения могут быть найдены как непосредственно на множестве допустимых решений Φ_δ с применением введенных бинарных отношений предпочтения, так и в пространстве оценок введенных показателей качества $\mathbf{k}(f) = (k_1(f), k_2(f), \mathbf{K}, k_m(f))$, которое также называется критериальным пространством. При этом каждый вариант топологии f отображается из множества допустимых решений Φ_δ в критериальное пространство $V \in R^m$ [5]

$$V = \mathbf{K}(\Phi_\delta) = \{ \mathbf{v} \in R^m \mid \mathbf{v} = (k_1(f), k_2(f), \mathbf{K}, k_m(f)), f \in \Phi_\delta \}. \quad (3)$$

Вариант топологии f^o включается в подмножество Парето, если на множестве Φ_δ не существуют другие варианты топологии f , для которых выполняется векторное неравенство [4, 5]

$$\mathbf{k}(f) \geq \mathbf{k}(f^o). \quad (4)$$

Единственный вариант топологии сети выбирается в результате сужения подмножества Парето-оптимальных проектных решений до единственного варианта топологии с привлечением дополнительной информации. При этом может быть использован метод на основе построения скалярной функции ценности, оптимизация которой приводит к выбору одного варианта системы из подмножества Парето. В частности, может быть использована аддитивная форма целевой функции [5]

$$F(k_1, k_2, \dots, k_m) = \sum_{j=1}^m c_j f_j(k_j), \quad (7)$$

где c_j – шкалирующие коэффициенты, $f_j(k_j)$ – некоторые скалярные функции полезности, являющиеся оценками полезности варианта системы f по j -му показателю качества $k_j(f)$.

Был выполнен сравнительный анализ разных вариантов топологий транспортных сетей, представленных на рис. 6–11. Транспортная сеть, которая имеет “древовидную” топологию (рис. 6) – это самый дешевый вариант построения сети, но в данном случае происходит накопление вероятности ошибок и общего процента неготовности сети. Кроме этого, узким местом топологии является соединение с контроллером радиосети BSC. Здесь сосредоточивается трафик от всех предыдущих BTS, что требует широкополосного канала связи. Выход из строя оборудования на

данном участке делает сразу недоступной большую часть сети, что приводит к большим, в том числе экономическим, потерям для оператора. Для приведенной структуры используется 66 соединений для подключения 26 базовых станций. При этом процент неготовности BTS составляет 0,0127 %. Оптимизировать такую сеть можно применив кольцевые соединения.

На рис. 7–11 представлены различные варианты топологии с использованием кольцевых соединений. Для каждого из них рассчитаны показатели неготовности (N). На рис. 7 рассматривается усовершенствованная структура исследуемой сети. Для повышения процента готовности на концах сети используют соединения кольцом трех BTS. При такой конфигурации суммарный коэффициент неготовности BTS равен 0,00964 %. Но естественно стоимость такой конфигурации сети значительно выше. На рис. 8 представлен третий вариант конфигурации сети, кольцом соединены основания деревьев и BSC. При такой конфигурации суммарный коэффициент неготовности BTS равен 0,0077 %, который меньше на 0,00194 % по сравнению с предыдущей структурой, что составляет 20 %. Таким образом, соединение большого количества BTS кольцом более эффективное чем объединение небольших участков.

На рис. 9–11 представлены варианты комбинированной конфигурации сети. При комбинированной структуре достигается максимальное снижение коэффициента неготовности каждой BTS. Однако у сетей с такой топологией самая высокая стоимость среди предложенных. В то же время, вариант 6 дает самый низкий показатель неготовности, несмотря на практически одинаковую стоимость вариантов 4, 5 и 6.

Как видим, топология с самым низким коэффициентом неготовности имеет самую высокую стоимость, а топология, имеющая самую низкую стоимость, характеризуется очень высоким коэффициентом неготовности. Таким образом, указанные показатели качества связаны между собой и являются противоречивыми. Описанный выше подход оптимизации топологии основывается на сравнении относительной неготовности BTS в сети. Фактически, конфигурация зависит от желаемой средней неготовности для каждой BTS и сбалансированной стоимости для достижения высокой готовности.

В результате проведенного анализа указанных вариантов транспортной сети можно сделать следующие выводы:

- использование кольцевых соединений (варианты 2–6) значительно уменьшает коэффициент неготовности по сравнению с использованием древовидной топологии (вариант 1);
- намного эффективнее соединять в кольцо наиболее нагруженные звенья (вариант 3), чем небольшое количество базовых станций на концах сети (вариант 2);
- конфигурации 4–6 дают наибольшие показатели готовности, но при этом имеют наиболее высокую стоимость. При этом при относительно равной стоимости вариант 6 имеет самый низкий показатель неготовности.

Таким образом, необходимо рассмотреть и сравнить варианты топологий с точки зрения теории многокритериальной оптимизации. Необходимо исключить безусловно худшие варианты топологий по безусловному критерию предпочтения и выбрать Парето-оптимальные варианты.

Рассмотренные варианты топологии транспортной сети представлены в пространстве нормированных показателей качества: стоимости и коэффициента неготовности (рис. 12).

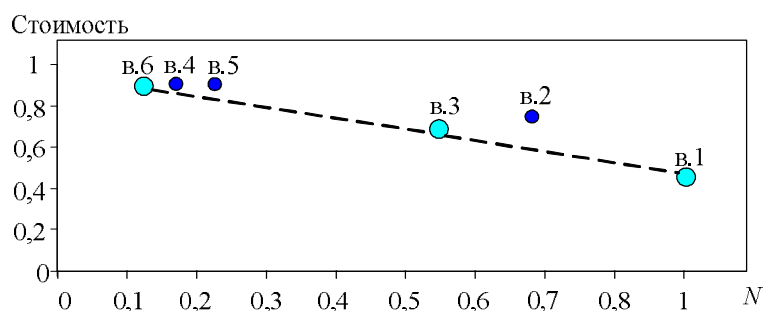


Рис. 12. Представление вариантов топологий сети в критериальном пространстве показателей качества

Из рис. 12 видно, что варианты 2, 4 и 5 являются безусловно худшими по критерию предпочтения Парето. Остальные являются нехудшими вариантами, которые включены в подмножество Парето-оптимальных вариантов топологий транспортной сети. При использовании условного критерия предпочтения, основанного на минимизации скалярной целевой функции (7) при равных коэффициентах полезности показателей качества таким оптимальным вариантом выбрана топология транспортной сети № 6 (рис. 11), для которой коэффициент неготовности равен 0,0017 %.

Выводы

1. Выполнен анализ этапов и задач планирования транспортных сетей мобильной связи. Определены исходные данные, технические характеристики и показатели качества, которые учитываются при планировании транспортных сетей. Особенностью таких сетей является то, что их показатели качества не только связаны и противоречивы между собой, но и их значения зависят от выбранной конкретной топологии сети. Поэтому для выбора оптимальных топологий транспортной сети с учетом совокупности показателей качества следует использовать основные положения многокритериальной оптимизации.

2. Приведены результаты решения задачи дискретного выбора оптимальных топологий транспортной сети с учетом совокупности показателей качества: коэффициента неготовности и стоимости сети. Сформировано множество допустимых топологий, оценены значения введенных противоречивых показателей качества и найдено подмножество Парето-оптимальных вариантов топологии сети в критериальном пространстве оценок показателей качества. С использованием условного критерия предпочтения из подмножества Парето выбран единственный вариант топологии транспортной сети.

1. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation. 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G /Edited by Ajay R Mishra. – UK: John Wiley & Sons Ltd, 2004. – 286 pp.* 2. *Patacca J–P. Core and Access Transmission Network Planning / Jean–Pierre Patacca, John Vasek, Murray Felton. – Ericsson Radio Systems AB, 1999. – 32 pp.* 3. *Климаш М.М. Оптичні та радіоканали телекомунікацій. / М.М. Климаш, О.А. Лаврів, Р.І. Бак. – Львів, 2010. – 424 с.* 4. *Чеботарёва Д.В. Применение методов многокритериальной оптимизации при планировании сетей сотовой связи / Д.В. Чеботарёва, В.М. Безрук // Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2008. – № 618. – С. 117 – 126.* 5. *Bezruk V.M. Multicriterion optimization in telecommunication networks planning, designing and controlling / V.M. Bezruk, A.N. Bukhanko, D.V. Chebotareva, V.V. Varich // Open Book “Telecommunications Networks”. – Chapter 11. – Rijeka: INTECH, 2012. – P. 251 – 274.*