

Многокритериальный подход к автоматизации проектирования радиосетей

М.С. Сковпин¹, М.Л. Лапшина²

¹Воронежский государственный технический университет, miharus@yandex.ru

²Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова

Аннотация — Рассматривается задача планирования радиосетей на примере сетей сотовой связи. Показывается многокритериальный подход к ее решению. Рассматриваются методики формирования допустимых вариантов системы и выбора единственного оптимального решения с помощью метода анализа иерархий.

Ключевые слова — телекоммуникационные сети, сети сотовой связи, планирование, многокритериальная оптимизация, метаэвристики, генетические алгоритмы, критерий Парето, метод анализа иерархий.

I. ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие сетей мобильной радиосвязи наблюдается во всем мире. Активно развиваются сотовые, транкинговые, пейджинговые сети, а также сети абонентского радиодоступа. Активный рост числа радиосредств делает актуальной задачу эффективного использования радиочастотного спектра (РЧС) и, как следствие, – задачу построения систем, позволяющих оптимально планировать сети радиосвязи.

В процессе проектирования сети сотовой связи составляется частотно-территориальный план, наиболее полно охватывающий зону, в которой планируется работа ССС, определяющий места установки базовых станций и распределяющий выделенные частотные каналы между сотами. От эффективности данного процесса зависит качество обслуживания абонентов, надежность и стоимость будущей сети связи. Для уменьшения капитальных затрат должна осуществляться оптимизация частотно-территориального плана, т. е. необходимо разрабатывать план, обеспечивающий заданную зону обслуживания, емкость сети, требуемое качество обслуживания при минимальном числе базовых станций и используемых частот.

II. ЗАДАЧА СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ СЕТИ

Одним из наиболее сложных и важных этапов развертывания ССС является проектирование, так как на этом этапе должно быть обеспечено максимально близкое к оптимальному по критерию эффективность-стоимость построение сети. В течение данного этапа определяются места установки БС и распределяются

частотные каналы между сотами (с учетом принципа повторного использования частот) для обеспечения связью заданной территории с требуемым качеством при минимальной стоимости инфраструктуры (минимальном числе БС). Такая задача очень сложна, так как, с одной стороны, слишком частая расстановка БС экономически невыгодна, с другой стороны, при редком расположении БС могут появиться необслуживаемые участки территории. Дополнительно задача усложняется трудностью аналитической оценки характеристик сигналов (распространение сигналов, расчет напряженности), а также неравномерностью трафика в границах обслуживаемой территории.

В ходе разработки проекта необходимо выполнять большой объем расчетов, требующих интенсивного использования вычислительных средств, так как конфигурация и параметры сети существенно зависят от условий местности (рельефа, характеристик застройки и т.п.). Таким образом, проектирование начинается с создания электронной карты территории – переноса в компьютер топографической карты местности со всеми параметрами и характеристиками, существенными для составления проекта. Затем разрабатывается предварительный план расположения БС и сот сети с учетом характеристик намечаемой к использованию аппаратуры и результатов приближенной оценки энергетического баланса. Далее с помощью выбранных моделей распространения радиоволн и характеристик местности для полученной схемы уточняются параметры электромагнитного поля в пределах зоны обслуживания, что позволяет оценить качество покрытия. Для той же схемы составляется частотно-территориальный план (распределение частот по сотам в соответствии с принципом повторного использования частот), а также оцениваются трафик и емкость для характерных участков и сети в целом. Процесс проектирования является итерационным, и, если по показателям качества покрытия, трафика или емкости составленный план сети не удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, производится его корректировка, и для нового плана производятся заново все перечисленные расчеты.

Также в процессе проектирования сети обязательно проводятся экспериментальные измерения характеристик электромагнитного поля, по

результатам которых схема сети корректируется. Необходимость проведения экспериментальных измерений (а также их объем и частота повторений) определяется исходя из опыта проектировщиков сотовой сети. Окончательная оценка качества проекта производится уже на этапе введения сети в эксплуатацию, на котором также неизбежна его корректировка и доработка, особенно в самом начале работ, когда производится настройка и оптимизация сети. Фактически этот этап работы оказывается одним из самых трудоемких. Для повышения качества сети проект дорабатывается по мере ее развития и совершенствования.

III. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ

Предположим, что система $\varphi = (s, \vec{\beta}) \in \Phi_D$ определяется структурой s (набор элементов и соединений) и вектором параметров $\vec{\beta}$. Для информационной системы должен быть задан набор входных воздействий X и выходных результатов Y . Вся систему можно представить в виде функции отображения $\varphi: X \rightarrow Y$. Предполагается, что в процессе проектирования разрабатывается точное описание системы $\varphi \in \Phi$. Так, в частности, при формулировании задачи составляется математическое описание условий и целей функционирования системы. Также задаются ограничения на условия, структуру $s \in S_D$, параметры $\beta \in B_D$ и на показатели качества системы, что определяет набор допустимых проектных решений $\Phi_a = S_a \times B_a$.

Существует большое количество способов задания подобных множеств, например [1]:

- 1) неявное задание с помощью ограничения в зависимости от условий эксплуатации, сформулированных в строгой математической форме;
- 2) перечисление допустимых вариантов системы;
- 3) определение формального механизма для генерации вариантов системы.

Выбор критерия оптимальности тесно связан с формализацией понятия оптимальности. Существуют два подхода к описанию предпочтения лицом, принимающим решения (ЛПР), одного варианта другому: ординалистический и кардиналистический.

Ординалистический подход основан на введении бинарных отношений между парами возможных решений. В этом случае предпочтения ЛПР представляют собой бинарные отношения R на множестве Φ_D , которые отражают знания ЛПР о том, что решение φ' лучше, чем альтернативное решение φ'' : $\varphi' R \varphi''$.

Предположим, что ЛПР придерживается отношений строгого предпочтения (\succ), которое является асимметричным и транзитивным, и принимает решения на множестве альтернатив Φ_D . Решение

$\varphi_0 \in \Phi_D$ называется оптимальным в том случае, когда не существует других решений $\varphi \in \Phi_D$, для которых выполняется отношение $\varphi \succ \varphi_0$. Множество оптимальных по отношению \succ решений обозначают как $opt_{\succ} \Phi_D$. Это множество может включать в себя либо один элемент, либо конечное или бесконечное количество элементов в зависимости от структуры множества Φ и свойств отношения \succ .

Кардиналистический подход заключается во введении для каждой альтернативы $\varphi \in \Phi_D$ некоторого числа U , отражающего полезность (ценность) решения φ . Каждая целевая функция задает отношение порядка (предпочтения) R (является индикатором предпочтения) на множестве $\Phi_D(\varphi' R \varphi'')$, если выполняется условие $U(\varphi') \geq U(\varphi'')$. В данном случае может быть введена некоторая скалярная функция (критерий оптимальности), оптимизация которой приведет к выбору единственного наилучшего варианта системы.

Выбор критерия оптимальности основан на представлениях ЛПР об оптимальности. Однако из-за недостаточной определенности не всегда удается формализовать целевую функцию и скалярный критерий оптимальности. В таком случае невозможно выбрать единственный оптимальный вариант $\varphi_0 = \underset{\varphi \in \Phi_D}{extr} [U(\varphi)]$, где $U(\varphi)$ – целевая функция полезности системы. Тогда на начальных этапах планирования система характеризуется совокупностью целевых функций:

$$\vec{f}(\varphi) = (f_1(\varphi), f_2(\varphi), \dots, f_m(\varphi)), \quad (1)$$

которая определяет влияние структуры s и параметров $\vec{\beta}$ варианта системы $\varphi = (s, \vec{\beta})$ на показатели качества системы. В таком случае возникает подкласс более сложных задач оптимизации решений по показателям качества, называемый многокритериальной или векторной оптимизацией [2]. В основном постановка и решение задачи многокритериальной заключаются в замене (аппроксимации) представлений ЛПР об оптимальности системы на различные концепции оптимизации, которые могут быть формализованы в виде некоторого вектора критериев оптимальности (1), и такая задача может быть решена с использованием эффективных процедур оптимизации.

IV. ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрим некоторые практические аспекты многокритериальных методов оптимизации при планировании сетей радиосвязи на примере сети сотовой связи (ССС). Процесс поиска оптимальных вариантов построения СССР включает в себя следующие этапы [3]:

- 1) задание начального набора вариантов системы, различающихся используемыми стандартами радиосвязи, выделенными полосами частот, числом абонентов, территорией покрытия, секторами и высотой базовых станций (БС), мощностью передатчиков БС, параметрами антенн и т.д.;
- 2) выделение подмножества допустимых вариантов системы с учетом ограничений на структуру и параметры сети, а также на значения показателей качества;
- 3) выбор подмножества оптимальных по Парето вариантов ССС;
- 4) анализ и оценивание полученного подмножества вариантов;
- 5) выбор единственного варианта сети.

Сформируем множество допустимых вариантов ССС второго поколения (GSM) на основе следующих данных: количество абонентов, размер территории обслуживания, активность абонентов, выделенные частоты, мощность передатчиков БС, вероятность отказов обслуживания.

Технические параметры ССС определяются следующим образом [4]:

- 1) число выделенных частотных каналов:

$$N_k = \text{int} \left(\frac{\Delta F}{F_k} \right),$$

где F_k – ширина полосы частот, необходимая для одного канала;

- 2) число радиочастот, необходимых для обслуживания абонентов одного сектора соты:

$$n_s = \text{int} \left(\frac{N_k}{C \cdot M} \right);$$

- 3) величина допустимой телефонной нагрузки в одном секторе одной соты:

$$A = n_0 \left[1 - \sqrt{1 - \left(P_{\text{от}} \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)^{\frac{1}{n_0}}} \right] \text{ при } P_{\text{от}} \leq \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}};$$

$$A = n_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2} + 2n_0 \ln \left(P_{\text{от}} \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \text{ при } P_{\text{от}} > \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}},$$

где $n_0 = n_s n_a$, n_a – задаваемое стандартом число абонентов, которые могут использовать один канал;

- 4) количество абонентов, обслуживаемых БС:

$$N_{\text{абС}} = M \text{int} \left(\frac{A}{\beta} \right),$$

где M – число секторов, β – активность абонентов;

- 5) количество БС:

$$N_{\text{БС}} = \text{int} \left(\frac{N_a}{N_{\text{абС}}} \right);$$

- 6) радиус соты:

$$R = \sqrt{\frac{1,21 \cdot S_0}{\pi N_{\text{БС}}}};$$

- 7) расстояние между БС с одинаковыми частотными каналами:

$$D = R\sqrt{3C};$$

- 8) вероятность ошибки:

$$P = \frac{1}{(\sqrt{3C} - 1)^{2k}};$$

- 9) эффективность использования радиоспектра:

$$\gamma = 1,21 \frac{S_0}{\pi R^2 F_k C},$$

где S_0 – число активных абонентов.

В настоящее время для решения задач оптимизации появилось множество методов, называемых метаэвристиками, – стратегий высокого уровня, управляющих эвристиками низкого уровня. Различают методы траекторий (табу-поиск, моделируемый отжиг), сохраняющие одно решение, и популяционные методы (методы муравьиной колонии, эволюционное моделирование), сохраняющие конечное множество (популяцию) решений. Адекватным средством реализации процедур эволюционного моделирования являются генетические алгоритмы. Генетический алгоритм – это алгоритм, основанный на имитации генетических процедур развития популяции в соответствии с принципами эволюционной динамики.

Наиболее простым и в некоторых случаях достаточно эффективным методом решения многокритериальной задачи оптимизации является свертка критериев с использованием линейного соотношения. У такого подхода есть несколько проблем. Первая из них – это необходимость определить соотношение критериев друг с другом, что очень сложно или невозможно, если критерии нелинейны. Так же в некоторых случаях рассмотрение взвешенной суммы не всегда показывает границу Парето. Для более точной оценки решений в многокритериальном смысле в алгоритмах поиска необходимо использовать понятие доминирования по Парето. С учетом этих замечаний были разработаны специальные генетические алгоритмы, составляющие на каждой итерации архив из особей, находящихся на границе Парето (SPEA и SPEA2) [5, 6].

V. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА

Основными факторами, влияющими на выбор таких параметров сети мобильной связи, как тип модуляции, мощность передатчика, структуры приемника и качества покрытия, является модель распространения радиоволн, способ отображения реальных условий распространения в выбранной модели и предположения о структуре радиополя.

В различных сетях условия распространения радиоволн могут варьироваться от простейшей ситуации однолучевого распространения сигнала между приемником и передатчиком в условиях прямой видимости до многолучевого распространения при многократных отражениях от искусственных сооружений и складок местности в условиях доплеровского изменения частоты при движении объекта или препятствий. Так как радиоканал является статистической системой, в отличие от проводных линий связи, то его свойства могут быть определены только с некоторой вероятностью. И в значительной степени результаты расчета параметров радиоканала зависят от выбранной модели. Модели, основанные на одних и тех же принципах, различаются способом отображения реальной ситуации. Рекомендации различных национальных и международных организаций связи в значительной степени отличаются друг от друга и, таким образом, не существует единой общепринятой модели расчета распространения сигнала в городских условиях. Из-за того, что измерение параметров модели носит вероятностный характер и требует большого количества измерений и испытаний в различных условиях (погодные условия, времена года, характер застройки, географические параметры местности и т.д.), выбор адекватной модели распространения радиоволн является сложной задачей. Также для сравнения и оценки качества работы радиосети следует учитывать, что аппаратные компоненты сети, построенные исходя из выбранной модели, могут существенно различаться как функционально, так и по реализованным параметрам. Из этого следует, что различия в качестве функционирования мобильной системы связи всегда могут быть отнесены как к выбранной модели радиоканала, так и к реализованной аппаратуре.

В ходе анализа распространения радиоволн определяется дальность радиосвязи и реальные характеристики принимаемого сигнала. Классический подход к расчету распределения электромагнитного поля в присутствии отражающих и поглощающих объектов заключается в расчете напряженности поля в однородном изотропном пространстве на основе законов отражения, дифракции и рассеяния. Однако специфические условия города, такие как огромное количество фиксированных препятствий сложной формы, перемещение и непостоянство расположения приемников, передатчиков и препятствий, исключают возможность непосредственного применения такой методики и делают невозможным точный расчет распределения радиополя. Точный расчет

распределения поля используется только в исключительных, простейших случаях, например, таких как расчет зоны радиотени за большим препятствием для сигнала при точно известном расположении передатчика базовой станции, так как в других случаях возникающий при расчете объем вычислений превосходит все существующие технические возможности. Реальный расчет распределения электромагнитного поля осуществляется на основе двух моделей [7]:

- 1) «большого расстояния» (large scale model);
- 2) «малого расстояния» (little scale model).

Модель «большого расстояния» рассматривает макроэффекты, влияющие на электромагнитное поле, возникающие от препятствий большого по сравнению с длиной волны размера. Согласно этой модели уравнения для электромагнитного поля в городских условиях отличаются от уравнений свободного пространства только параметрами распространения, а также некоторой вероятностью отклонения реальных значений распределения радиополя от расчетных. То есть наличие препятствий оказывает в среднем несильное влияние на структуру электромагнитного поля, которое остается таким же, как и в свободном пространстве – стационарным, гладким и монотонным. Стационарность подразумевает неизменность структуры поля во времени, гладкость – соответствие малых изменений расстояния малым изменениям напряженности поля, монотонность – непрерывное убывание величины поля с увеличением расстояния от приемника до передатчика.

Использование экспериментально измеренных параметров модели обеспечивает наибольшую точность расчетов для конкретного региона.

Для приближенных аналитических расчетов вероятностной дальности радиосвязи используются методики на основе рекомендаций EURO COST (Европейского объединения для научных и технических исследований) и рекомендаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ)[7,8].

В основе этих методик лежат результаты статистической обработки большого количества экспериментальных данных, описывающих параметры модели для различных типовых ситуаций (земная или водная подстилающая поверхность, пригород, большой город и т. д.).

Большинство общепринятых методик расчета дальности радиосвязи были разработаны для транкинговых сетей связи. Такие сети отличаются относительно большой дистанцией связи (десятки километров) и большой высотой передающих антенн (устанавливаются на высотные дома и вышки). В таких условиях распространения можно рассматривать «средние» значения мощности.

При расчете дальности связи в небольших сотах применение данных методик возможно только с оговорками, так как на расстоянии в сотни метров и

при расчете затуханий внутри зданий практически невозможно говорить о «средней» равномерности поля.

Более того, любой расчет дальности радиосвязи при использовании любых методик может быть только оценочным, и его достоверность определяется тем, насколько «средние» условия распространения совпадают с реальными, а также зависит от правильности выбора введенных в модель поправочных коэффициентов, зависящих от условий конкретного региона.

Алгоритм построения зон обслуживания БС можно представить в следующем виде (рис. 1):

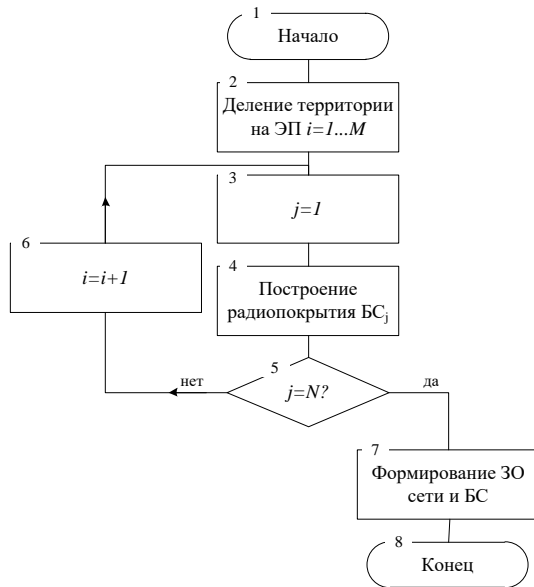


Рис. 1. Блок-схема алгоритма построения зон обслуживания

В результате построения радиопокрытия каждой базовой станции и соответствующих абонентских (мобильных) станций образуется множество зон покрытия, состоящих из элементарных площадок, изображаемых в виде квадратов с центром в точке с координатами $(Ш_j, Д_j)$ и имеющих следующий набор атрибутов:

- 1) порядковый номер, ID_i^j ;
- 2) уровень сигнала на входе приемника МС, создаваемый передатчиком БС, P_{BSi}^j , дБВт;
- 3) уровень сигнала на входе приемника БС, создаваемый передатчиком МС, P_{MSi}^j , дБВт;
- 4) ослабление сигнала на трассе БС-МС, L_i^j , дБ;
- 5) длина трассы, D_i^j , км;
- 6) азимут направления БС-МС, az_{12i}^j , град;
- 7) азимут направления МС-БС, az_{21i}^j , град;

- 8) коэффициент усиления антенны БС, G_{BSi}^j , дБ;
- 9) коэффициент усиления антенны МС, G_{MSi}^j , дБ.

Перечисленные параметры рассчитываются для каждого i -го фрагмента территории и j -ой БС следующим образом (рис. 2):

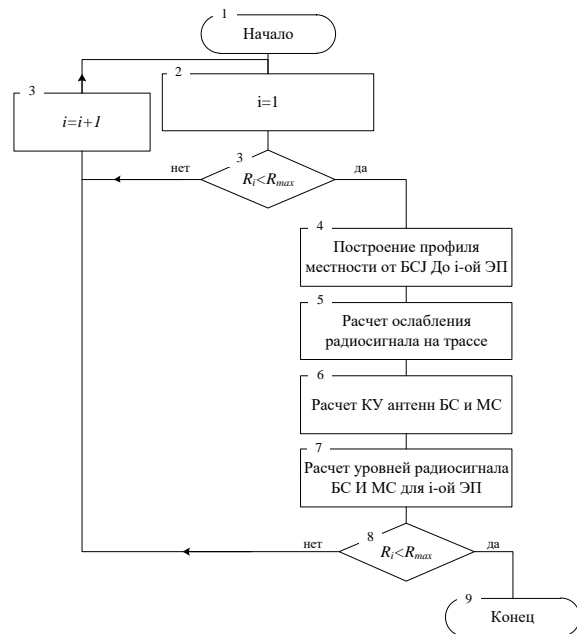


Рис. 2. Блок-схема алгоритма построения радиопокрытия БС

1) с помощью значений координат рассчитывается расстояние r_i между БС и ЭП, если оно превышает R_{max} , то осуществляется переход к следующей ЭП. R_{max} рассчитывается следующим образом:

$$R_{max} = 0,05 \cdot 10^{\min(Z_1, Z_2)},$$

где

$$Z_1 = P_{prdBS} - P_{prmMS} + G_{maxBS} - L_{prdBS} + G_{maxMS} - L_{prmMS} - 32,45 - 20 \lg(f_{prd}),$$

$$Z_2 = P_{prdMS} - P_{prmBS} + G_{maxMS} - L_{prdMS} + G_{maxBS} - L_{prmBS} - 32,45 - 20 \lg(f_{prm}),$$

L_{prdMS} – потери в антенно-фидерном тракте передатчика МС, дБ,

L_{prmMS} – потери в антенно-фидерном тракте приемника МС, дБ,

L_{prdBS} – потери в антенно-фидерном тракте передатчика БС, дБ,

L_{prmBS} – потери в антенно-фидерном тракте приемника БС, дБ.

2) Строится профиль трассы, с помощью которого определяется длина трассы $Dist_i^j$ и высоты антенн h_{BS} и h_{MS} над уровнем моря.

3) По алгоритму, описанному в рекомендации МСЭ Р.1546, определяется ослабление радиосигнал на трассе L_i^j [9].

4) Рассчитывается коэффициент усиления антенн, для этого:

а) для антенны БС рассчитывают угловое отклонение от оси основного лепестка в горизонтальной плоскости:

$$\varphi = \begin{cases} az_{12i}^j - az_{BS} & -180 \leq az_{12i}^j - az_{BS} \leq 180 \\ |az_{12i}^j - az_{BS}| - 360 & az_{12i}^j - az_{BS} > 180 \\ 360 - |az_{12i}^j - az_{BS}| & az_{12i}^j - az_{BS} < -180 \end{cases};$$

б) Далее рассчитывается угловое отклонение от оси основного лепестка передающей антенны БС в вертикальной плоскости:

$$\alpha = \Delta_{BS} - \delta, \text{ град,}$$

где

$$\delta = \begin{cases} \frac{180}{\pi} \cdot \frac{(h_{BS} - h_{MS})}{Dist_i^j}, \text{ если } Dist_i^j < 130, 4(\sqrt{h_{BS}} + \sqrt{h_{MS}}) \\ 0, \text{ если } Dist_i^j \geq 130, 4(\sqrt{h_{BS}} + \sqrt{h_{MS}}) \end{cases},$$

град,

Δ_{BS} – угол возвышения антенны, град.

в) Рассчитываются коэффициенты усиления $G_H(\varphi), G_V(\alpha)$ с помощью парциальных диаграмм направленности.

г) Рассчитывается коэффициент усиления антенны БС:

$$G_{BSi}^j = G_{\max BS} + G_H(\varphi) + G_V(\alpha).$$

д) Аналогично рассчитывается коэффициент усиления для МС G_{MSi}^j .

е) Рассчитываются уровни сигнала на входах приемников МС, создаваемые передатчиками БС, и уровни сигналов на входах приемников БС, создаваемые передатчиками МС:

$$P_{MSi}^j = P_{prdB S} + G_{BSi}^j - L_{prdB S} + G_{MSi}^j - L_{prdB MS} - L_i^j,$$

$$P_{BSi}^j = P_{prdB MS} + G_{MSi}^j - L_{prdB MS} + G_{BSi}^j - L_{prdB BS} - L_i^j.$$

Таким образом, зона обслуживания каждой БС формируется по результатам анализа всей совокупности элементов множеств зон покрытия в виде множества зон обслуживания. Зона обслуживания сети состоит из зон обслуживания всех БС, то есть является совокупностью всех множеств $3O^j$.

VI. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТНОГО ВАРИАНТА СЕТИ СОТОВОЙ СВЯЗИ

В результате работы многокритериального генетического алгоритма был получен набор оптимальных по Парето решений. Для решения задачи проектирования радиосети необходимо выбрать единственный вариант сети. Для этого необходимо привлечение дополнительной информации от лица, принимающего решения. Одним из методов выбора решения среди альтернатив является метод анализа иерархий, предложенный Т. Саати [10].

Схему поиска оптимального решения можно представить в следующем виде (рис. 3):

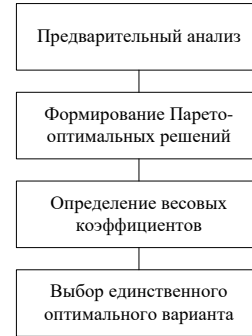


Рис. 3. Схема поиска решения

На первом этапе происходит определение критериев, участвующих в оптимизации, и условий оптимизации (территория и начальные параметры). На втором этапе с помощью генетического алгоритма формируется набор оптимальных по Парето вариантов построения сети. На третьем шаге ЛПР определяет важность параметров сети в зависимости от конечной цели оптимизации (например, обеспечение максимальной территории покрытия, емкости или минимизация стоимости). Из полученных критериев формируется иерархическая структура, подходящая для использования МАИ. На основе коэффициентов, полученных с помощью МАИ, выбирается оптимальный план.

Метод анализа иерархий – системная процедура анализа и представления проблемы в виде иерархии.

МАИ основывается на следующих трех принципах: декомпозиция, сравнение альтернатив и синтез приоритетов [10]. Анализ начинается с преобразования сложной, многокритериальной проблемы в иерархию, каждый уровень которой состоит из нескольких простых элементов, которые, в свою очередь, также разбиваются на подэлементы. На втором шаге для каждого уровня иерархии с помощью метода попарных сравнений вычисляются приоритеты элементов. Третьим шагом МАИ синтезирует приоритеты элементов в общие приоритеты альтернативных вариантов решения поставленной задачи. МАИ отличается от других общепринятых методов поддержки принятия решений тем, что не требует от ЛПР указывать точные числовые эквиваленты приоритетов для каждого элемента, а позволяет делать

это в вербальном режиме с помощью таблицы приоритетов [10].

Согласно принципам МАИ на первом этапе происходит выбор критериев, от которых зависит выбор той или иной альтернативы. Далее выбранные критерии структурируются в виде иерархии, чтобы показать их взаимодействие между собой и влияние друг на друга.

Представления заказчика о требованиях к проектируемой сети определяют основные направления оптимизации, включаемые в анализ: надежность сети, ее пропускная способность и стоимость. Для обеспечения достаточного уровня детализации критерии надежности и пропускной способности разбиваются на подкритерии. В надежности можно выделить следующие аспекты: число срывов и количество блокировок. На пропускную способность сети влияет ее емкость. Упрощенный вариант иерархии для МАИ представлен на рис. 4:

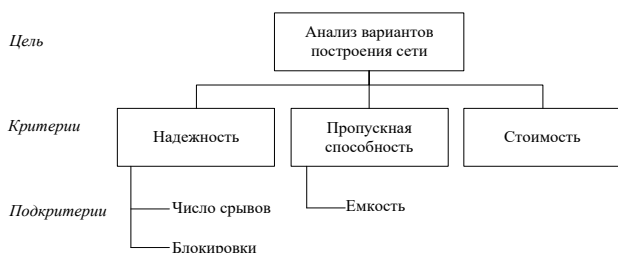


Рис. 4. МАИ-иерархия для анализа вариантов построения сети

Вторым шагом МАИ является определение приоритетов для каждого элемента иерархии. Приоритеты выставляются путем попарного сравнения каждого набора элементов с учетом элементов, находящихся выше по иерархии. Для выставления приоритетов Т. Саати была разработана специальная шкала [10].

При групповой оценке приоритетов существует несколько вариантов учета мнений и взглядов каждого эксперта. Есть четыре пути выставления групповых приоритетов при наличии согласованных целей:

- 1) соглашение;
- 2) голосование или компромисс;
- 3) геометрическое среднее индивидуальных оценок;
- 4) изолированные модели или эксперты.

Предпочтительный метод в таких случаях – это достижение соглашения между всеми экспертами, однако если оно не может быть достигнуто, то обычно используется усредненное значение оценок.

В классическом подходе к выставлению весов и приоритетов оценки являются целыми числами от 1 (для «неудовлетворительно») до 5 (для «выдающегося»). Таким образом, при применении данной шкалы оценок может сложиться некорректное предположение, что «выдающееся» должно быть в 5

раз лучше «неудовлетворительного». В МАИ эта проблема решена путем присвоения значения важности или полезности для каждого критерия с помощью попарного сравнения.

Анализ альтернативных вариантов осуществляется путем определения оценки и соответствующего значения полезности для каждой возможной радиосети, учитывая значения всех ее критериев.

Следующим этапом будет окончательный выбор проекта радиосети с помощью методик целочисленного программирования – максимизации общих предпочтений заказчика. Таким образом, выбор оптимального решения происходит с использованием приоритетов заказчика, полученных в результате применения МАИ вместо обычных методов – минимизации, например общей стоимости, или максимизации пропускной способности. Максимизация предпочтений подразумевает получение в результате наиболее подходящего проекта для каждого заказчика и его требований.

VII. ВЫВОДЫ

Рассмотрены методологии формирования и выбор вариантов сложных систем при их оптимизации с точки зрения показателей качества. Задача многокритериальной оптимизации была решена в четыре этапа. После предварительного анализа с помощью генетических алгоритмов формируется набор допустимых вариантов системы. Это множество отображается в пространство оценок. Затем в этом пространстве выделяется подмножество Парето-оптимальных оценок, задающих характеристики системы на основе множества показателей качества. На завершающем этапе выбирается единственный вариант среди Парето-оптимальных вариантов с помощью нахождения экстремума некой скалярной функции, заданной с помощью дополнительных сведений (весовых коэффициентов), полученных от ЛПП в процессе МАИ.

Были предложены методы многокритериальной оптимизации, основанные на оптимальности по Парето, для решения проблем краткосрочного и долгосрочного планирования и проектирования телекоммуникационных сетей различных типов. В процессе оптимизации были введены и учтены показатели качества системы.

ПОДДЕРЖКА

На разработку тематики был получен грант в рамках программы «УМНИК». Проект «Разработка системы автоматизированного проектирования радиосетей на основе моделей многокритериального выбора».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Greco S. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys / Springer Science & Business Media. 2006. 1048 p.

- [2] Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. 256 с.
- [3] Сквopin М.С., Лапшина М.Л. Планирование и оптимизация сетей сотовой связи // Вестник Воронежского государственного технического университета. Т. 9. № 6-3, 2013. С. 81-84.
- [4] Bezruk V. Bukhanko A., Chebotaryova D., Varich V. Multicriteria Optimization in Telecommunication Networks Planning // Designing and Controlling, Telecommunications Networks - Current Status and Future Trends, 2012. P. 251-274.
- [5] Luke Sean. Essentials of metaheuristics. Vol. 3. -Raleigh: Lulu, 2009. 251p.
- [6] Zitzler E., Laumanns M., Thiele L. SPEA2: Improving the strength pareto evolutionary algorithm for multiobjective optimization // Evolutionary Methods for Design, Optimization, and Control. 2002. P. 19–26.
- [7] Бабков В.Ю. Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 536 с.
- [8] Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи. М.: Эко-Трендз, 2007, 296с.
- [9] Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz / RECOMMENDATION ITU-R P.1546-1. Geneva: ITU, 2010.
- [10] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь. 1993. 320 с.

Multicriteria approach to automation of radio networks planning

M.S. Skovpin¹, M.L. Lapshina²

¹Voronezh State Technical University, miharus@yandex.ru

²Voronezh State University of Forestry and Technologies in the name of G.F. Morozov

Keywords — telecommunications networks, cellular network planning, multi-objective optimization, metaheuristics, genetic algorithms, Pareto criterion, analytic hierarchy process.

ABSTRACT

The focus of this article is on the cellular network planning problem. Due to network complexity, these tasks require intelligent, automated approaches that are able to deal with many factors in order to enable design of high capacity networks with a high service quality at the lowest possible cost. The necessity of optimization of the design solutions is shown. Multi-criteria approach to planning second and third generation systems is represented. Also the technique of forming a system of allowable options by genetic algorithms and selecting of a single optimal solution using the analytic hierarchy process is compiled.

SUPPORT

A grant under the program “UMNIK” was received for development of subjects. The project title is “Development of computer-aided design system of radio networks planning on the basis of multi-criteria choice models”.

REFERENCES

- [1] Greco S. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys / Springer Science & Business Media. 2006. 1048 p.
- [2] Podinovskii V.V., Nogin V.D., Pareto Optimal Solutions of Multicriteria tasks. M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1982. 256 p (in Russian).
- [3] Skovpin M.S., Lapshina M.L. Planning and optimization of cellular networks // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. N 9. № 6-3, 2013. P. 81-84 (in Russian).
- [4] Bezruk V. Bukhanko A., Chebotaryova D., Varich V. Multicriteria Optimization in Telecommunication Networks Planning // Designing and Controlling, Telecommunications Networks - Current Status and Future Trends, 2012. P. 251-274.
- [5] Luke Sean. Essentials of metaheuristics. Vol. 3. -Raleigh: Lulu, 2009. 251p.
- [6] Zitzler E., Laumanns M., Thiele L. SPEA2: Improving the strength pareto evolutionary algorithm for multiobjective optimization // Evolutionary Methods for Design, Optimization, and Control. 2002. P. 19-26.
- [7] Babkov V.Y., Voznyuk M.A., Mikhailov P.A. Mobile networks. The frequency-territorial planning. M.: Gorjachaja linija-Telekom, 2007. 536 p (in Russian).
- [8] Berlin A.N. Digital cellular communication systems. M.: Eco-Trendz, 2007. 296p (in Russian).
- [9] Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz / RECOMMENDATION ITU-R P.1546-1. Geneva: ITU, 2010.
- [10] T. Saaty Decisions. Analytic Hierarchy Method. M.: Radio i svjaz'. 1993. 320 p (in Russian).