

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОПТИКО-ВОЛОКОННЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

*Киямов Рахматулло Рузиевич*

*Касбински техникум пищевой промышленности*

*rahmatullo.kiyamov@mail.ru*

**Аннотация:** в статье рассказывается о возможности повышение пропускной способности мобильных телекоммуникационных оптико-волоконных сетей связи с применение методов территориального планирования, рассмотрении нескольких вариантов векторно-сравнимых решений задач векторной многокритериальной оптимизации.

**Annotation:** the article describes the possibility of increasing the capacity of mobile telecommunications fiber-optic communication networks using territorial planning methods, considering several options for vector-comparable solutions to vector multicriteria optimization problems.

**Annotatsiya:** maqolada ko'p mezonli vektorli optimallashtirish muammolarini vektor bilan taqqoslanadigan echimlarning bir nechta variantlarini ko'rib chiqqan holda, hududiy rejalashtirish usullaridan foydalangan holda mobil telekommunikatsiya optik tolali aloqa tarmoqlarining sig'imini oshirish imkoniyati tasvirlangan.

**Ключевые слова:** территориальный, многокритериальной, оптимизация, канальная модель, базовая станция, сети мобильной связи, пропускной способность

### Введение

С каждым новым поколением увеличивается количество предоставляемых услуг, и, как следствие, требования потребителей телекоммуникационных услуг становятся более жёсткими.

Из-за растущего в геометрической прогрессией количества пользователей сотовой связи и возрастающими требованиями к качеству, было принято решение разрабатывать новый стандарт сетей 5G (пятое поколение).

### Основная часть

Применение методов территориального планирования решает задачу построения сети, удовлетворяющей исходным требованиям. Необходимо построить такую сеть мобильной связи  $S''$ , которая обладала бы наилучшей, с точки зрения безусловного критерия предпочтения, совокупностью показателя качества, где  $K^-(S'')$ :

$$\bar{K}(S'') \leq \bar{K}(S') \tag{1}$$

Пусть любой или, по крайней мере, один из показателей качества  $K_i(S'')$  оптимизированной сети лучше, чем у исходной сети  $S'$ .

Выбор решения, при котором сеть обладает наилучшими показателями вектора качества  $K(S)$  наиболее верно происходит при рассмотрении нескольких вариантов векторно-сравнимых решений задач векторной многокритериальной оптимизации.

Учитывая все требования, предъявляемые к планированию беспроводных сетей широкополосного доступа, сделан вывод о применении для планирования сетей 5G метода кластерного планирования.

Задачей территориального планирования сети с применением кластерного метода является расстановка на заданной территории минимального количества базовых станций с заданным числом абонентов и условий местности. В диссертации исходя из принципа многокритериальности, предлагается модифицированная задача, в которой учитываются не только потери распространения сигналов на основе канальной модели SUI, но и стоимостные характеристики модели. Решение задачи в данном случае сводится к вычислению целевой функции стоимости (2) и ее дальнейшей минимизации:

$$\varphi = \sum_k \sum_m \sum_n W_{kmn} X_{mn} Y_{kn} + \sum_m \sum_n c_n X_{mn} + \sum_k \sum_m \frac{1}{g_{km}} Y_{km} \rightarrow \min \tag{2}$$

$$W_{kmn} \begin{cases} W_{kmn}^1 > 0, & \text{если расстояние } r \leq R_1 \\ W_{kmn}^2 > 0, & \text{если расстояние } R_1 < r \leq R_2, \quad \text{усл. ед.} \\ W_{kmn}^3 = 0, & \text{если расстояние } r > R_2 \end{cases}$$

$$X_{mn} = \begin{cases} 1, & \text{если станция } m - \text{го типа, расположена на } s - \text{ом месте} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$Y_{km} = \begin{cases} 1, & \text{если абонент подключен к станции расположенной на } s \text{ месте} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где  $W_{kmn}$  – стоимость подключения  $k$ -го абонента к станции  $n$ -го типа;  $g_{km}$  – коэффициент, учитывающий условия распространения сигнала мобильной связи в канале между  $k$ -м клиентом и базовой станцией, размещенной на  $t$ -м планируемом месте (место - кандидат);  $m$  – число мест кандидатов на расположение базовых станций с известными координатами  $m=1, M^-$ ;  $n$  – количество типов станций,  $n=1, N^-$ ;  $k$  – число абонентов с заданными координатами  $k=1, K^-$ ;  $R_1, R_2$  – радиус действия базовых станций первого и второго типа.

Для данной функции принята следующая система ограничений:

1. На каждом из предполагаемых мест расположения (место - кандидат) должно быть размещено не более одной базовой станции:

$$\forall m \sum_{n=1}^N X_{mn} \leq 1 \quad (3)$$

2. Каждый абонент должен быть обязательно подключен только к одной базовой станции:

$$\forall k \sum_{m=1}^M Y_{km} = 1 \quad (4)$$

3. Суммарный трафик всех абонентов, подключенных к станции  $n$ -го типа и размещенной на  $m$ -ом месте, не должен превышать значения производительности станции:

$$\forall m \sum_{n=1}^N b_n X_{mn} \geq \sum_{k=1}^K b_k Y_{km}, \quad (5)$$

где  $b_n$  – производительность станции  $n$ -го типа, Гбит/с;  $b_k$  – требуемая скорость передачи информации для  $k$ -го абонента, Гбит/с.

Разработанная канальная модель распространения сигнала позволяет провести планирование сетей сотовой связи пятого поколения путем оптимального расположения базовых станций с учетом потерь, возникающих при передаче сигнала по радиоканалу. Базовые станции располагаются в зависимости от внутриканальных и межканальных помех, а также местности, плотности застройки, наличия насаждений, высот антенн базовых станций и абонентов, погодных условий с учетом экономической обоснованности.

Каждый из выбранных вариантов построения сети мобильной связи  $M_i$  можно описать целевой функцией (6) и функцией полезности (7).

$$\min K_i = K(N_i(\bar{x}), V_i(\bar{x}_v)), \quad (6),$$

$$C_i(\bar{x}_N, \bar{x}_v) \leq C_{\text{доп}} \quad , \quad (7),$$

где  $K_i$  – вектор оптимального решения для сети мобильной связи 5G;  $N_i$  – частный критерий надежности передачи данных;  $V_i$  – частный критерий пропускной способности сети;  $C_i$  – частный критерий материальных затрат при создании сети;  $X_n$  – вектор надежности передачи данных;  $X_v$  – вектор пропускной способности сети;  $C_{\text{доп}}$  – допустимое значение частного критерия материальных затрат.

На этапе планирования сети сотовой связи 5G и на этапе дальнейшей эксплуатации векторы надежности передачи данных имеют следующий вид:

$$\bar{x}_N = \left\{ \begin{matrix} \rho_{ab}, \\ P_k, \\ \varphi_k \end{matrix} \right\}, \quad \bar{x}_N = \left\{ \begin{matrix} \tau_{ab}, \\ \chi \end{matrix} \right\}, \tag{8}$$

Вектор пропускной способности представим в следующем виде:

$$\bar{x}_v = \left\{ \begin{matrix} \mu_{link\_ij} \\ \mu_{MUX\_i} \\ \mu_{ring\_N} \\ \mu_{network} \end{matrix} \right\}, \tag{9}$$

где  $\mu_{link\_ij}$ ,  $\mu_{MUX\_i}$ ,  $\mu_{ring\_N}$ ,  $\mu_{network}$  – коэффициенты использования емкости канальных групповых трактов, мультиплексоров, колец и сети в целом.

Общим условием для рассматриваемых моделей с учетом трех критериев, является использование исключительно метода кластерного планирования при построении сетей мобильной связи 5G.

Ограничения для модели с учетом критерия надежности передачи данных описываются следующим множеством:

$$\left\{ \begin{matrix} 2 \leq \bar{\tau}_{ab\text{номин.}} \leq 5\text{мкс/км}, \\ n_{\text{рест\_номин.}} \leq 2, \\ 10^{-9} \leq BER \leq 10^{-11}, \\ t_{\text{перкл.SNCP}} \leq 30\text{мс}, \\ t_{\text{перкл.MSP,MS-SPRing}} \leq 50\text{мс}. \end{matrix} \right. \tag{10}$$

Для модели функциональной надежности ограничения, которые накладываются сектором телекоммуникаций МЭС и операторами телекоммуникаций следующие [1,2]:

- среднее допустимое время прохождения сигнала по маршруту для любой пары узлов составляет 2-5 мкс/км;
- количество рестартов для одного соединения – 2 (устанавливается оператором);
- значение BER в диапазоне  $10^{-9} \leq BER \leq 10^{-11}$ ;
- полная вероятность работоспособности сети должна быть не меньше, чем 0.99999.

Для моделей с учетом критерия пропускной способности применяются следующие ограничения:

$$\begin{cases} v_{ij} \leq v_{link_{ij}}, \\ v_{ring\_N} \leq v_{\Sigma\_ringN}, \\ 0,7 \leq \mu_{link_{ij}} \leq 0,8, \\ 0,7 \leq \mu_{MUX_i} \leq 0,8, \\ 0,7 \leq \mu_{ring\_N} \leq 0,8, \\ 0,7 \leq \mu_{network} \leq 0,8. \end{cases} \quad (11)$$

Для моделей материальных затрат при создании сети используют ограничения:

$$\begin{cases} C_{MOD} \leq C_{MAX\_MOD}, \\ C_{NETWORK} \leq C_{MAXnetwork}, \\ 15 \leq r \leq 30\%, \\ 3 \leq t \leq 5лет. \end{cases} \quad (12)$$

где  $C_{MOD}$  – затраты оператора на модернизацию сети;  $C_{MAX\_MOD}$  – максимально возможные затраты оператора на модернизацию сети;  $C_{NETWORK}$  – капитальные затраты на строительство сети;  $C_{MAXNETWORK}$  - максимально возможные инвестиционные вложения на строительство сети;  $r$  – величина средне рыночной прибыли среди операторов на рынке СНГ в период 2016-2018 гг.;  $t$  – период окупаемости инвестиций.

Значения выбранных частных критериев должны отвечать следующим условиям:

- быть положительными и больше нуля:

$$N_i > 0, V_i > 0, C_i > 0; \quad (13)$$

- значения частных критериев и вектора стремятся к минимуму:

$$N_i, V_i, C_i \rightarrow min, K_i \rightarrow min. \quad (14)$$

Нахождение оптимального значения основывается на сравнении вариантов по определенным трем критериям с целью определения эффективного варианта. Наиболее приемлемым способом решения поставленной задачи, является метод оптимизации по Парето. То есть, свойством эффективности должно обладать любое решение, претендующее на то, чтобы его назвали оптимальным

При проведении экспериментов исследования было проанализировано множество случайных задач различной размерности, для подтверждения

теоретических предпосылок о необходимости учета коэффициента распространения сигнала в задаче оптимальной расстановки базовых станций для сетей пятого поколения.

Проведен анализ продолжительности работы алгоритма для разного количества абонентов при постоянной численности потенциальных мест расстановки базовых станций и для постоянного количества абонентов и различной численности базовых станций.

Проведена оценка стоимости построения сети в зависимости от количества мест расстановки БС. Результаты представлены в таблице 1, 2 и на рисунках 1, 2, 3.

Таблица 1 – Результаты решения задачи оптимального размещения БС при увеличении числа абонентов

Количество мест расстановки БС	20	25	40	50	70
Стоимость	1594,68	884,052	125,99	124,12	115,99
Время работы алгоритма, сек	255,45	124,11	443,06	476,85	492,90



Рисунок 1 – Зависимость времени работы алгоритма от числа потенциальных абонентов

Таблица 2 – Результаты стоимости построения сети, времени работы алгоритма при увеличении числа места расположения БС.

Количество поколений	20	25	40	50	70
Время работы алгоритма, сек	1594,68	884,052	125,99	124,12	115,99
Значение целевой стоимости	255,45	124,11	443,06	476,85	492,90
Количество неподключенных абонентов	0	10	15	22	32

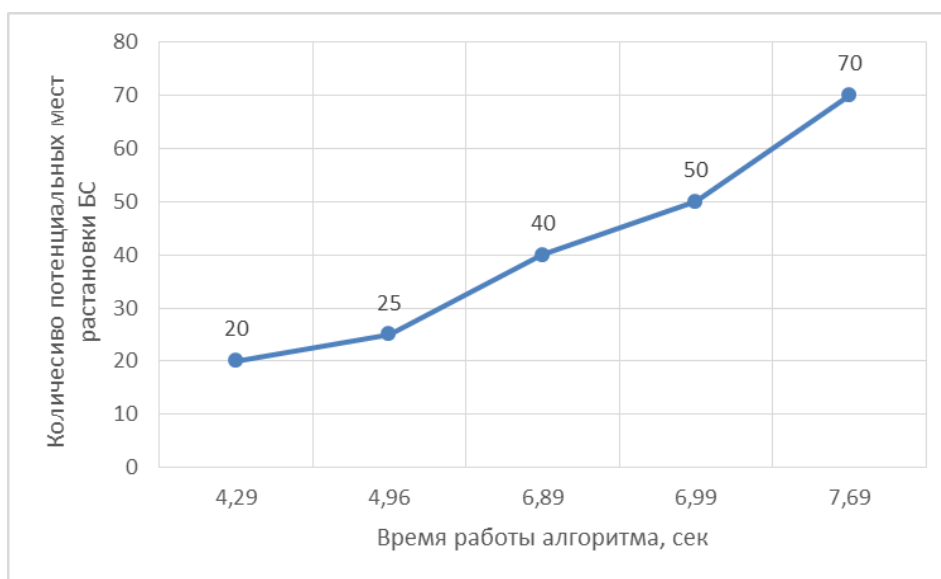


Рисунок 2 – Зависимость времени работы алгоритма от количества потенциальных мест расстановки базовых станций



Рисунок 3 – Зависимость стоимости проектируемой сети от количества потенциальных мест расстановки базовых станций

### **Вывод**

Территориальное планирование дает возможность эффективное использование транспортной сети так, что пропускной способности транспортной сети будет использовано максимально.

Таким образом с применением метода территориального планирования и рациональным использованием существующих ресурсов добьемся к повышению пропускной способности мобильных телекоммуникационных оптико-волоконных сетей связи.

Анализ полученных результатов дает основание утверждать следующее:

- увеличение количества абонентов влияет на скорость решения задачи в большей степени, чем рост числа мест кандидатов;
- стоимость проектируемой сети обратно пропорционально количеству абонентов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Павловская, К.А. Задача оптимального размещения базовых станций в сетях пятого поколения / К.А. Павловская // Сборник научных трудов ДОНИЖТ, 2019 №55 – Донецк, 2019. – С. 19-23.
2. Петров В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия. – М.: МЭИ, 2005.
3. Осин А.В. Влияние самоподобности речевого трафика на качество обслуживания в телекоммуникационных сетях. – М: МГУС, 2005.
4. Dang T.D., Sonkoly B., Molnar S. Fractal analysis and modeling of VoIP traffic // Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium. – NETWORKS 2004, 11th International, 2004.
5. Karam M.J., Tobagi F. A. Analysis of the Delay and Jitter of Voice Traffic Over the Internet // Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking. – Elsevier North-Holland, Inc., 2002.
6. Кокорев А.Е., Кузнецов П.Г., Абилов А.В. Исследование трафика пакетной передачи голоса Voice over IP. – Ижевск, Ижевский государственный технический университет, 2006.
7. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография: Под ред. О.И. Шелухина. – М.: Радиотехника, 2003.