

УДК 621.372

И.А. Саитов, Б.И. Соловьев, О.О. Басов, И.Г. Кобзарева**ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ**

Предлагается новый подход к решению задачи построения (оптимизации) топологической структуры транспортной сети связи. Разработан алгоритм на основе человеко-машинной процедуры поиска решений, позволяющий находить оптимальную квазиоднородную структуру графа сети с требуемыми топологическими характеристиками.

Ключевые слова: транспортная сеть связи, топологическая структура сети, задача нелинейного программирования, многокритериальная оптимизация, топологические характеристики.

Введение. Важным этапом в построении транспортной сети связи (ТСС) является синтез ее структуры. При этом под ТСС понимается часть первичной сети связи, включающая взаимозвязанную совокупность технологически сопряженных сетевых узлов и систем коммутации, систем и линий передачи, предназначенных для надежной передачи нормализованных цифровых потоков между сетями доступа. Структура ТСС представляется в виде связного неориентированного графа $G_T(A, B)$ без петель и кратных ребер, где $A = \{a_i\}, i = \overline{1, N}$ – множество сетевых узлов и сетевых станций (вершины графа), $B = \{b_{ij}\}, i, j = \overline{1, N}, i \neq j$ – множество линий, соединяющих узлы сети (ребра графа) [2]. Тогда синтез структуры представляет собой выбор или выделение из всей совокупности графов некоторого подмножества, которое наилучшим образом соответствует принципам построения и целям функционирования сети.

В общем случае полученное пространство будет неограниченным ввиду существования различного множества графов, представляющих структуру сети. Значительное уменьшение заданного пространства достигается ограничением определенного подкласса структур, определяемых как однородные структуры [1].

Синтез структуры ТСС декомпозируется на два этапа: формирование узловой основы и построение сетки линий. Нахождение числа и координат узлов (определение узловой основы) производится на основе требований к параметрам цифровых каналов ТСС и рационального использования энергетики цифровых систем передачи (ЦСП) с учетом взаимного расположения узлов сети.

Теоретические исследования. Представим общую узловую основу A сети в виде объединения подмножеств:

$$A = A_1 \cup A_2. \quad (1)$$

К подмножеству узлов A_1 относятся стационарные узлы, из которых образуются корреспонденции

рующие пары узлов $Z = \{z_k\}, k = \overline{1, m}$. Координаты данных узлов $\{x_i^{(1)}, y_i^{(1)}\}, i = \overline{1, N_1}$ в основном определяются конкретными условиями и инфраструктурой с учетом дополнительных ограничений.

Тогда задача формирования узловой основы СПД заключается во введении дополнительных узлов множества A_2 с координатами $\{x_i^{(2)}, y_i^{(2)}\}, i = \overline{N_1 + 1, N_1 + N_2}$ в состав A исходя из придания сети некоторых свойств.

По координатам множеств узлов A_1 и определяется матрица расстояний

$$L = \|l_{kl}\|, \\ l_{kl} = \sqrt{(x_k - x_l)^2 + (y_k - y_l)^2}, \quad (2) \\ k \neq l; k = \overline{1, N_1}; l = \overline{1, N_1}.$$

Для определения участков введения и количества узлов используется цифровая карта местности. Уточнение значений координат узлов множества A_2 осуществляется путем решения оптимизационной задачи.

Наиболее часто эта задача формулируется в виде задачи нелинейного программирования с целевой функцией в виде среднеквадратичного или чебышевского критерия близости. Однако данные критерии имеют свои особенности. Так, среднеквадратичный критерий обладает площадным эффектом. Это вызывает смещение вводимых на участках узлов в сторону скопления существующих узлов сети, что приводит к значительному отклонению межузловых расстояний от оптимального значения и выходу $|R_0 - l_{ij}|$ за пределы реализационного допуска ε , что может быть эффективно использовано при определенном расположении A_1 и A_2 .

Чебышевский критерий позволяет получить лучшее приближение l_{ij} к значению R_0 , но методы решения чебышевских задач сопряжены с большими вычислительными трудностями и необходимостью использовать значения производных нецеле-

вых функций, которые имеют точки разрыва.

Поэтому задача по введению дополнительного узла на участке формулируется в следующем виде. Найти координаты $\{x_j, y_j\}$ узла α , который доставляет минимум функции

$$f(\alpha) = \sum_{ij} (R_0 - l_{ij}(\alpha))^{\chi} \rightarrow \min \quad (3)$$

$$i = \overline{1, N_1} \quad j = \overline{N_1 + 1, N_1 + N_2}$$

при ограничениях (линейных или нелинейных)

$$g_{j_s}(\alpha) \geq 0, \quad s = \overline{1, S}. \quad (4)$$

В зависимости от характера расположения существующих на участке узлов значение χ может изменяться. При $\chi = 2$ реализуется среднеквадратичный критерий близости. С ростом χ целевая функция (3) аппроксимирует решение в смысле чебышевского критерия с большей точностью. Использование целевой функции вида (3) значительно снижает вычислительную сложность задачи формирования узловой основы СПД по сравнению с прямым алгоритмом чебышевского приближения.

Индикатором выбора определенного значения χ в (3) является расположение центра тяжести $\alpha_u = \{x_u, y_u\}$ существующих узлов $A_1 \cup A_2$ на рассматриваемом участке. Вычисляются расстояния от центра тяжести до существующих узлов на участке $l_{u,i}$. Далее выбирается $l_{u,i}$, доставляющее максимальное значение $\max |R_0 - l_{u,i}|$, и проверяется выполнение условия:

$$\max |R_0 - l_{u,i}| \leq \varepsilon. \quad (5)$$

В случае, когда (5) выполняется и центр тяжести не попадает в область ограничений (4), используется среднеквадратичный критерий близости, так как получаемый при этом вектор координат $\{x_j, y_j\}$ узла α располагается вблизи центра тяжести – сгущения узлов. В противном случае выбирается $\chi > 2$ и реализуется степенной критерий

$$f(\alpha) = \sum_{ij} (R_0 - l_{ij}(\alpha))^{\chi}. \quad (6)$$

Данный тип задачи относится к классу задач нелинейного программирования. Для нахождения минимального значения данной функции могут использоваться различные методы решения задачи оптимизации нелинейной функции при наличии ограничений.

На полученной узловой основе осуществляется формирование сетки линий путем построения цикла Гамильтона (ГЦ) на основе алгоритма Литтла с учетом минимизации общей протяженности ребер и введения дополнительных ребер, не принадлежащих ГЦ [3]. Выполненные расче-

ты и теоретические данные показывают, что метод Литтла обладает специальной схемой решения. При решении задачи на узловой основе с выровненными расстояниями, получение оптимального ГЦ реализуется за время, близкое к полиномиальному, что делает алгоритм пригодным для расчета сетей реальной размерности.

Следующей процедурой является введение ребер в ГЦ. Теоретически обосновано, что если граф является гамильтоновым, то решение задачи по введению дополнительных ребер является субмодулярным относительно среднего расстояния. При этом получение гарантированного выигрыша происходит при помещении ребра между вершинами, имеющими максимальный ранг пути. Принимая ранги узлов формируемой структуры за совокупность сжимающихся чисел, используют процедуру замены вводимых ребер, основанную на известных теоретических правилах, что позволяет максимизировать и выровнять ранги реберных сечений сети [5].

Введение дополнительных ребер в ГЦ приводит к формированию пространства A , элементами которого являются структуры графа с заданным числом вершин N , ребер n и собственными топологическими характеристиками: \bar{S} – суммарная протяженность сетки линий сети и среднее расстояние p , характеризующие приведенную стоимость и надежность сети соответственно. Как было отмечено ранее, пространство A ограничивается классом однородных структур B_x , который задается на основе дискретного множества $B = \{b_{ij}\}, i, j = \overline{1, N}, i \neq j$, представляющего совокупность всех ребер полносвязного графа $G(A, B)$, а каждый элемент данного пространства есть граф $G_k(A, B_k)$, обладающий некоторыми свойствами однородных структур, где $B_k, k = \overline{1, r}$ есть выборка ребер из множества $B = \{b_{ij}\}$, а r – число возможных однородных структур графа с N вершинами и n ребрами. В этом случае пространство $B_x = \{\alpha_k\}$ будет представлять собой комбинаторное пространство выборок (сочетаний) из элементов множества $B = \{b_{ij}\}$. На полученном пространстве $A = \{\alpha_k\}$ задаются функции, определяющие среднее расстояние в графе $G_k(A, B_k)$ и стоимость на его реализацию:

$$f_1(\alpha_k) = p_k = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n r_{i,j}}{N \cdot (N-1)}, \quad (7)$$

$$f_2(\alpha_k) = \bar{S} = \sum_{b_{i,j} \in B_k} l_{i,j}, i, j = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Оптимумы целевых функций стоимости и надежности смещены друг относительно друга. Следовательно, их минимальные значения представляют собой две точки комбинаторного пространства допустимых топологических структур и не могут быть достигнуты одновременно на некоторой структуре $G_k(A, B_k)$. Ввиду того, что целевые функции (7,8) носят противоречивый характер, то есть улучшение одного критерия может быть достигнуто только за счет ухудшения другого, задача состоит в нахождении компромиссного решения, оптимального в смысле Парето.

Для достижения оптимальных значений указанных топологических характеристик сети, определяющих надежность и приведенную стоимость, решается задача многокритериальной оптимизации, которая заключается в выборе такого графа $G_k(A, B_k)$, для которого среднее расстояние p и суммарная протяженность ребер \bar{S} принимают значения, которые имеют минимальные отклонения от оптимальных:

$$\Delta p^* = p^* - p^0 = \arg \min p, \quad (9)$$

$$\Delta \bar{S} = \bar{S}^* - \bar{S}^0 = \arg \min \bar{S}, \quad (10)$$

где p^0, \bar{S}^0 – оптимальные значения по каждой функции цели.

Для нахождения оптимальной структуры на пространстве $A\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$, каждый элемент которого определяет соответствующие значения функций $f_i(\alpha_k), i = 1, 2, k = \overline{1, r}$, задача оптимизации формулируется следующим образом: найти такую альтернативу (допустимую структуру графа $G_k(A, B_k)$), которая доставляет минимальные значения функциям:

$$f_1(\alpha_k) = p_k = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N r_{i,j}}{N \cdot (N-1)}, \quad (11)$$

$$f_2(\alpha_k) = \bar{S} = \sum_{b_{i,j} \in B_k} l_{i,j}, i, j = \overline{1, N}. \quad (12)$$

при ограничениях:

$$p_0 \leq p_k < \frac{[N/2] + [N/2]^2}{N-1}, \quad (13)$$

если N – нечетное,

$$p_0 \leq p_k < \frac{[N/2]^2}{N-1}, \quad (14)$$

если N – четное, и

$$\overline{S_{ГЦ}} < \overline{S_k} \leq \overline{S_0}, \quad (15)$$

где p_0, \bar{S}_0 – значения среднего расстояния и стоимости для однородных графов.

Учитывая, что каждая альтернатива пространства A является неулучшаемой по значениям функций $f_i(\alpha_k), i = 1, 2$, альтернативы пространства $A\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}, k = \overline{1, r}$ несравнимы между собой и являются эффективными [4]. Поэтому решением оптимизационной задачи (11-15) может быть такая альтернатива α_k , которая не доставляет наименьшее значение по каждой функции, а является приемлемой для обеих функций. Под приемлемостью следует понимать существование такой альтернативы α^* , при которой величина отклонений от оптимальных значений по каждой функции

$$\Delta f_i(\alpha^*) = f_i(\alpha^*) - f_i^0 \quad (16)$$

достигает наименьшего значения. Поскольку наименьшее значение $\Delta f_i(\alpha^*)$ не достигается одновременно на одной альтернативе, то возникает необходимость сравнивать эти величины между собой, что приводит к привлечению дополнительной информации от экспертов, т.е. эвристике.

Для каждой альтернативы пространства A существует вектор

$$\rho = \{\rho_i\} = \left\{ \rho_i > 0, i = 1, 2, \sum_{i=1}^2 \rho_i \right\} \quad (17)$$

и число k такие, что любая альтернатива удовлетворяет одновременно равенству:

$$\rho_i \cdot \omega_i(\alpha) = k. \quad (18)$$

Вектор ρ показывает предпочтение функций в пространстве альтернатив, выраженное в количественной шкале. Он определяет направление в двумерном пространстве значений функций $\omega_i(f_i(\alpha)), i = 1, 2$, которое задается углами β_i между осями координат и самим вектором ρ :

$$\cos \beta_1 = \frac{\rho_2}{\sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}}, \quad (19)$$

$$\cos \beta_2 = \frac{\rho_1}{\sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}}. \quad (20)$$

Определение весовых коэффициентов ρ_i основывается на задании экспертом допустимых отклонений от оптимальных значений по каждой функции, при этом указывается диапазон изменения этих функций $[f_i^0, f_{i(\max)}]$ в пространстве альтернатив A . Если эксперт задал допустимые значения, $f^* = \{f_i^*\}, i = 1, 2$, то для них вы-

числяются $\omega_i^*(f_i^*)$, и тогда весовые коэффициенты определяются следующим образом:

$$\rho_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1 + \omega_2}, \quad (21)$$

$$\rho_2 = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2}. \quad (22)$$

Полученные коэффициенты полностью определяют вектор ρ , который указывает направление поиска альтернативы из A в пространстве значений принятых преобразований.

Для решения задачи многокритериальной оптимизации (11 – 15) используется человеко-машинная процедура (ЧМП) поиска решения задачи, основанная на задании предпочтения по каждой из функций $f^* = \{f_i^*\}, i=1,2$, и позволяющая эксперту от шага к шагу диалога с ЭВМ более точно выражать свои предпочтения в количественной шкале [4]. Сущность данной процедуры заключается в следующем. Первоначально экспертом задаются желательные предпочтения по каждой функции $f^* = \{f_i^*\}$, и производится вычисление $\omega_i^*(f_i^*)$. При этом эксперт хочет найти такое решение задачи α_k , $k = \overline{1,r}$, что

$$\omega_i(\alpha_k) = \omega_i^* \quad (23)$$

либо

$$\omega_i(\alpha_k) \leq \omega_i^*. \quad (24)$$

В первом случае экспертом определяется вектор предпочтений ρ в пространстве значений $\omega_i(\alpha_k)$, и решением задачи является компромиссная альтернатива α_k , которая обеспечивает минимальные взвешенные относительные потери $\rho_i \cdot \omega_i(\alpha_k)$ по каждому критерию одновременно. Для получения данного решения используется метод ограничений, который основывается на минимизации критерия

$$F(\alpha) = \sum_{i=1}^2 \rho_i \cdot \frac{f_i(\alpha) - f_i^0}{f_{i(\max)} - f_i^0}, \quad (25)$$

с учетом ограничений

$$f_i(\alpha) \leq f_i^0 + \frac{k}{\rho_i} (f_{i(\max)} - f_i^0), i=1,2. \quad (26)$$

Выбор критерия (25) возможен в том случае, если пространство альтернатив A является выпуклым, а функции, определенные на данном пространстве, являются вогнутыми. Использование данного критерия позволяет найти единственное решение оптимизационной задачи (11 – 15).

Процесс нахождения компромиссной альтернативы α_k является итерационным с пара-

метром $k \in (0, 1/2)$, на каждом шаге которого проверяется совместимость системы неравенств (26). При уменьшении k уменьшаются относительные взвешенные потери по каждой функции и происходит приближение к альтернативе, обеспечивающей минимальные потери по $\omega_i(f_i(\alpha))$. Итерационный процесс останавливается, когда наименьшее $k(l)$ (l – номер шага), при котором система (26) еще совместна, отличается от ближайшего значения $k(l+1)$, при котором система (26) уже не совместна, не более чем на $\varepsilon \geq 0$. Величина ε задается исходя из приемлемого времени решения задачи.

Во втором случае эксперт задает совокупность направлений поиска, что указывает на неединственность желательного предпочтения. Обозначим через θ^* множество точек, удовлетворяющих (24). При этом возможны следующие варианты:

$$\theta^* \cap W_A \neq \emptyset, \quad (27)$$

$$\theta^* \cap W_A = \emptyset, \quad (28)$$

где W_A – множество всех значений функций $\omega_i(f_i(\alpha))$.

Для проверки данных условий используется следующее правило. Если для некоторой точки ω_i выполняется

$$\omega_i \leq \omega_i^*, i=1,2 \quad (29)$$

и хотя бы одно неравенство строгое, то справедливо (27). Если хотя бы одно из неравенств не выполняется, то реализуется (29).

Обозначим через D множество значений $\omega_{0i}(f_i(\alpha)) \in W_A$. Для каждого элемента этого множества справедливо

$$\omega_{0i} \leq \omega_i^*, i=1,2, \quad (30)$$

если выполняется (27), и

$$\omega_{0i} \leq \omega_i^*, i=1,2, \quad (31)$$

если выполняется (28).

Совокупность всех ω_{0i} порождает множество векторов p_0 , которое называется конусом возможных предпочтений $conv(\omega^*)$ (КВП). КВП определяются желательными значениями по каждой функции и считаются непротиворечивыми, если на каждом шаге общения эксперта с ЭВМ выполняется

$$conv(\omega^{*(l+1)}) \subseteq conv(\omega^{*(l)}). \quad (32)$$

Проверка непротиворечивости конусов осуществляется по одному из правил:

$$\omega^{*(l)} \in W_A, \omega^{*(l+1)} \in W_A, \quad (33)$$

$$\omega^{*(l)} \notin W_A, \omega^{*(l+1)} \in W_A, \quad (34)$$

$$\omega^{*(l)} \notin W_A, \omega^{*(l+1)} \notin W_A,$$

либо $\omega^{*(l)} \in W_A, \omega^{*(l+1)} \notin W_A$ (35)

и если выполняются соответственно условия:

$$\omega^{*(l+1)} \leq \omega^{*(l)}, \quad (36)$$

$$\omega^{*(l+1)} \geq \omega^{*(l)}, \quad (37)$$

$$\omega^{*(l+1)} \in \prod_i [\omega_{i,D}, \omega_i^D], \quad (38)$$

где $\omega_{i,D} = \min\{\omega_i(\alpha_k)\}$, $\omega_i^D = \min\{\omega_i(\alpha_k)\}$.

При переходе от шага к шагу при решении задачи возможны следующие взаимные расположения КВП.

$$1. \text{conv}(\omega^{*(l+1)}) \cap \text{conv}(\omega^{*(l)}) = \text{conv}(\omega^{*(l+1)})$$

В этом случае выполняются (33 – 38) и выбранные значения $\omega_i^{*(l+1)}$ ведут к сходимости процедуры.

$$2. \text{conv}(\omega^{*(l+1)}) \cap \text{conv}(\omega^{*(l)}) = \text{conv}(\omega^{*(l)}),$$

о чем свидетельствует выполнение одного из условий:

$$\omega^{*(l)} \notin W_A, \omega^{*(l+1)} \in W_A, \omega^{*(l+1)} \leq \omega^{*(l)}, \quad (39)$$

$$\omega^{*(l)} \in W_A, \omega^{*(l+1)} \in W_A, \omega^{*(l+1)} \leq \omega^{*(l)}. \quad (40)$$

Это говорит о том, что эксперт попал в область своей некомпетентности либо ему безразлично, какая из точек выбрана в области D .

$$3. \text{conv}(\omega^{*(l+1)}) \cap \text{conv}(\omega^{*(l)}) = \text{conv}(\omega^{**}),$$

где

$$\text{conv}(\omega^{**}) \subset \text{conv}(\omega^{*(l+1)}) \text{ и } \text{conv}(\omega^{**}) \subset \text{conv}(\omega^{*(l)}).$$

Это означает, что эксперт изменил свои предпочтения на множестве значений функций.

Поскольку человеко-машинная процедура носит итерационный характер, то критерием ее окончания будет выполнение одного из условий:

– КВП вырождается в вектор ρ^* , порождаемый ω^* ;

– расстояние между верхней и нижней границами области D будет меньше некоторой наперед заданной величины $\varepsilon_i > 0$, т.е.

$$\Delta\omega_i = \omega_i^D - \omega_{i,D} < \varepsilon_i.$$

В первом случае решением оптимизационной задачи (42 – 46) будет альтернатива $\alpha^* \in A$, во втором – любая точка из области D .

Изложенный подход реализуется алгоритмом, блок-схема которого представлена на рисунке 1.

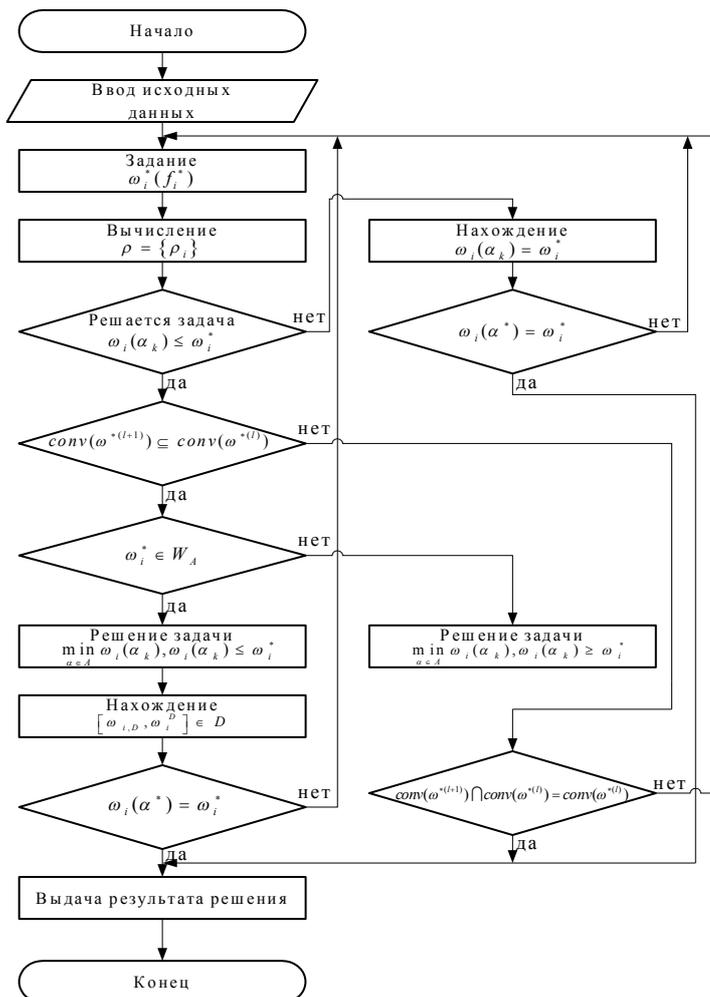


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма решения задачи оптимизации на основе ЧМП

Начальный этап. Определение наименьших f_i^0 и наибольших $f_{i(\max)}$ значений по каждой функции. Выбор типа преобразования $\omega_i(f_i(\alpha))$.

Шаг 1. Задание $f^* = \{f_i^*\}, i=1,2$, вычисление $\omega_i^*(f_i^*)$. Полагаем $l = l + 1$.

Шаг 2. Вычисление $\rho = \{\rho_i\}$.

Шаг 3. Если решается задача $\omega_i(\alpha_k) = \omega_i^*$, перейти на шаг 4. Если нет, перейти на шаг 6.

Шаг 4. Нахождение α^* для $\omega_i(\alpha_k) = \omega_i^*$.

Шаг 5. Если $\omega_i(\alpha^*) = \omega_i^*$, перейти на шаг 13. Если нет, перейти на шаг 1.

Шаг 6. Если $\text{conv}(\omega^{*(l+1)}) \cap \text{conv}(\omega^{*(l)})$, перейти на шаг 7. Если нет, перейти на шаг 12.

Шаг 7. Если $\omega_i^* \in W_A$, перейти на шаг 8. Если нет, перейти на шаг 9.

Шаг 8.

Решение задачи $\min_{\alpha \in A} \omega_i(\alpha_k), \omega_i(\alpha_k) \leq \omega_i^*$. Переход на шаг 10.

Шаг 9. Решение задачи

$$\min_{\alpha \in A} \omega_i(\alpha_k), \omega_i(\alpha_k) \geq \omega_i^*$$

$\alpha \in A$

Шаг 10. Нахождение $[\omega_{i,D}, \omega_i^D] \in D$.

Шаг 11. Если $\omega_i(\alpha^*) = \omega_i^*$ или $\Delta\omega_i < \varepsilon_i$, перейти на шаг 13. Если нет, перейти на шаг 1.

Шаг 12.

Если $\text{conv}(\omega^{*(l+1)}) \cap \text{conv}(\omega^{*(l)}) = \text{conv}(\omega^{*(l+1)})$, перейти на шаг 13. Если нет, перейти на шаг 1.

Шаг 13. Выдача результата решения.

Таким образом, результатом решения задачи (11 – 15) является квазиоднородная топологическая структура $G_T(A, B)$, у которой значения среднего расстояния ρ_k и стоимости \bar{S}_k имеют минимальные отклонения от своих оптимумов.

Экспериментальные исследования. Проиллюстрируем решение задачи построения структуры на примере. Исходными данными являются узловая основа и Гамильтонов цикл. Пусть задано требование $h_{cb} = 3$ для каждой корреспондирующей пары узлов.

Тогда, согласно теореме Менгера, ранг каждого узла в графе должен быть $r_i \geq 3, i = \overline{1, N}$, т.е. каждому узлу в графе будет инцидентно не менее трех ребер. Исходя из указанных требований, получим следующее множество квазиоднородных топологических структур при $N = 8$, представленных на рисунке 2.

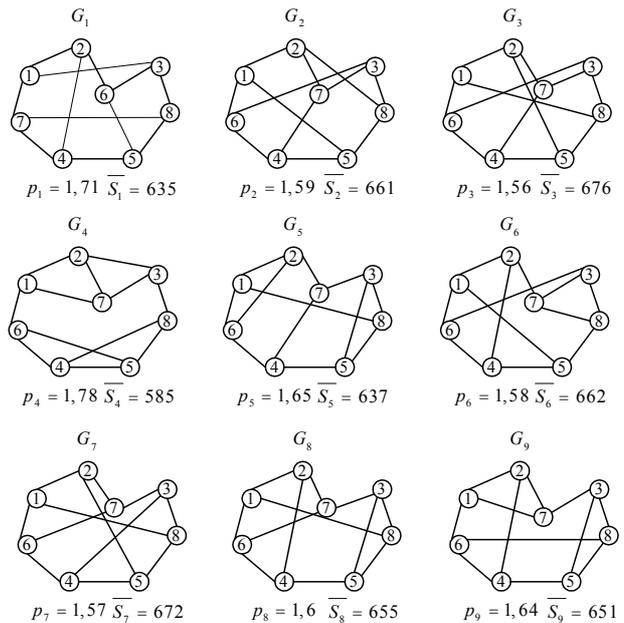


Рисунок 2 – Допустимые структуры при $N = 8$

Каждая структура определяет значения функций f_1 (среднее расстояние) и f_2 (стоимость). Выполним преобразование указанных функций, приводящих их к безразмерному виду. Результаты приведены в таблице.

Таблица

$\omega_i \backslash \alpha_k$	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9
ω_1	0,68	0,13	0	1	0,4	0,1	0,05	0,18	0,3
ω_2	0,54	0,83	1	0	0,57	0,84	0,95	0,76	0,72

Значения функций $\omega_1(\alpha_k)$ и $\omega_2(\alpha_k)$ задают точки в двумерном пространстве, которые определяют множество допустимых структур W_A , представленное на рисунке 3.

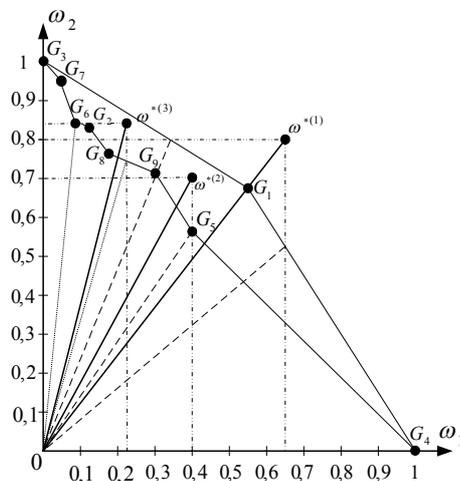


Рисунок 3 – Множество допустимых структур в двумерном пространстве

Эксперту выдается информация об оптимальных и наибольших значениях по каждой функции (G_3 и G_4) и характере поведения функций на множестве альтернатив. На основе полученной информации эксперт задает желательные значения по каждой функции, что соответствует точке $\omega^{*(1)}$. Если эксперту необходимо найти $\omega_i(\alpha_k) = \omega_i^{*(1)}$, то решением будет точка G_1 , лежащая на векторе предпочтений p , определяемом точкой $\omega^{*(1)}$.

Если необходимо найти $\omega_i(\alpha_k) \leq \omega_i^*$, то решением является точка G_5 , находящаяся в КВП, задаваемом $\omega^{*(1)}$. В случае недопустимого варианта решения эксперт изменяет свои предпочтения, тем самым, задавая точку $\omega^{*(3)}$. Тогда решением будет являться G_8 .

Таким образом, путем последовательного диалога с экспертом производится нахождение оптимальной квазиоднородной структуры $G_T(A, B)$ с требуемыми топологическими характеристиками.

Библиографический список

1. Артамонов Г.Т., Тюрин В.Д. Топология сетей ЭВМ и многопроцессорных систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 248 с.
2. Давыдов Г. Б., Рогинский В. Н., Толчан А. Я. Сети электросвязи. – М.: Связь, 1977. – 360 с.
3. Литл Д., Мурти К., Суини Д., Кэрел К. Алгоритм решения задачи о коммивояжере // Экономика и математические методы. 1965. Т.1. № 1.
4. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 286 с.
5. Фрэнк Г., Фриш И. Сети, связь и потоки. – М.: Связь, 1978. – 448 с.