

Добиться уменьшения вероятности ложных тревог при этом можно используя традиционный алгоритм «И» совместного принятия решения, аналогичный используемому в комбинированных детекторах. В этом случае решение об обнаружении должно приниматься при одновременном обнаружении НП обоими устройствами.

Пары разнесенных детекторов с перекрывающимися ЗО

Снижения вероятности обнаружения при движении нарушителя в произвольном направлении можно избежать, используя две пары детекторов, как на рис. 5, которые дополнительно развернуты по отношению друг к другу на 90° (рис. 7, а) или две пары совмещенных детекторов с таким же угловым смещением осей диаграмм направленности (рис. 7, б). Это позволит эффективно обнаружить нарушителя при движении во всех направлениях.

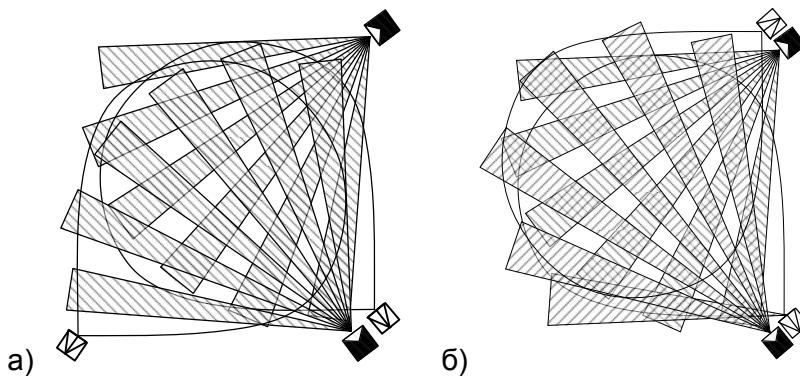


Рисунок 7 – ЗО пар разнесенных детекторов

Использование алгоритма «И» для устройств каждой пары позволит сохранить низкую вероятность ложной тревоги.

III Заключение

Сформулируем полученные в работе результаты.

1. Можно сделать вывод о сравнительно низкой эффективности используемых в настоящее время структур средств обнаружения в случае профессиональных способов проникновения на охраняемый объект.
2. Для достижения высокой вероятности обнаружения нарушителя, движущегося в одном направлении, предлагается использовать пары отдельных разнесенных детекторов разного принципа действия с совмещенными ЗО, оси которых перпендикулярны.
3. Для достижения высокой вероятности обнаружения нарушителя, движущегося в произвольном направлении, предлагается использовать две пары отдельных разнесенных или совмещенных детекторов с угловым смещением на 90° осей диаграмм направленности.

Литература: 1. Волхонский В. В., Крупнов А. Г. Особенности разработки структуры средств обнаружения угроз охраняемому объекту // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – № 4(74). – С. 131-136. 2. Волхонский В. В., Воробьев П. А. Методика оценки вероятности обнаружения несанкционированного проникновения оптоэлектронным извещателем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 1(77). – С. 120-123. 3. Волхонский В. В. Извещатели охранной сигнализации. Изд. 4-е доп. и перераб. – СПб.: Экополис и культура. – 2004. – 272 с.

УДК 621.395

СИНТЕЗ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ЗАДАНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Валерій Правило
ВІТІ НТУУ “КПІ”

Анотація: Розглянуто методику синтезу структури телекомунікаційної мережі за показниками

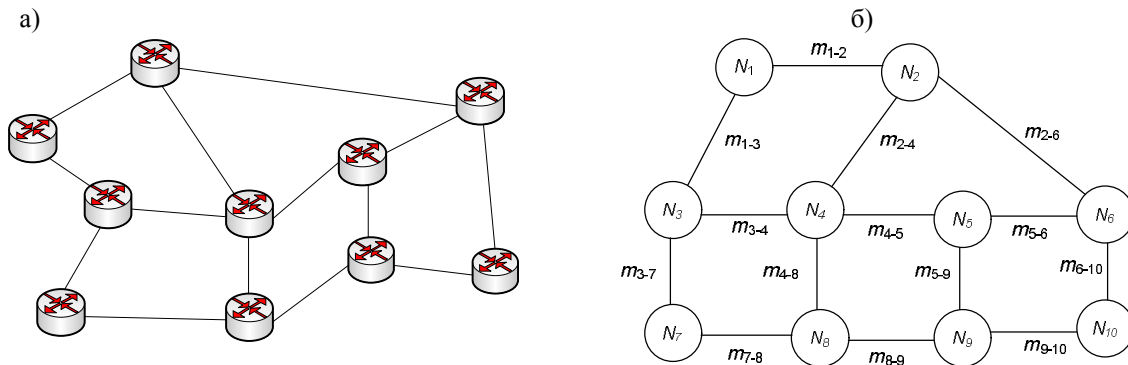
мінімальної вартості та структурної надійності з використанням алгоритмів евристичного пошуку. Проведено порівняльний аналіз найпоширеніших евристичних алгоритмів синтезу початкової структури телекомунікаційної мережі. Представлено блок-схему алгоритму методики синтезу структури телекомунікаційної мережі за показниками мінімальної вартості й структурної надійності.

Summary: The technique of synthesis of structure of a telecommunication network on indexes of the minimum cost and structural reliability with usage of algorithms of heuristic search is considered. The comparative analysis of the most widespread heuristic synthesis algorithms of initial structure of a telecommunication network is carried out. The block diagram of algorithm of a technique of synthesis of structure of a telecommunication network on indexes of the minimum cost and structural reliability is presented.

Ключові слова: Раціональна структура, алгоритм евристичного пошуку, структурна надійність.

I Вступ

Під синтезом структури телекомунікаційної мережі (ТКМ) розуміється визначення кількості комутаційних центрів (КЦ), місць їхнього розгортання, а також параметри ліній між ними. Структуру, що враховує місця розгортання вузлів і ліній зв'язку на місцевості, прийнято називати топологічною [1, 2]. Дуже часто для синтезу структури мережі її представляють у вигляді графу $G(N, M)$, де N – кількість вершин (КЦ), M – кількість ребер (гілок). Приклад варіанту телекомунікаційної мережі і відповідного їй графу показано на рис. 1.



**Рисунок 1 – Подання структури ТКМ у вигляді графу:
а – варіант побудови структури ТКМ;
б – відповідний даній ТКМ граф.**

Рішення задачі синтезу раціональної топологічної структури ТКМ, по своїй суті, полягає в знаходженні різних раціональних первісних топологічних структур і виборі прийняттого результату з отриманої безлічі рішень.

II Аналіз і обґрунтування алгоритмів та методів синтезу ТКМ

Можна виділити два класи алгоритмів для рішення завдань синтезу мережі зв'язку [3]:

- алгоритми строгої оптимізації;
- алгоритми евристичного пошуку.

До числа алгоритмів строгої оптимізації відносяться алгоритми, що використовують метод цілочисельного лінійного програмування й метод гілок і границь [4, 5]. Дані алгоритми мають наступні недоліки:

- у більшості випадків істотні витрати машинного часу не дозволяють знайти раціональне рішення;
- не завжди можливо коректно описати нелінійні обмеження існуючих систем за допомогою лінійних співвідношень, що приводить до похибки одержуваних результатів;
- у ряді випадків у процесі рішення завдання необхідно змінити обмеження, що не завжди можливо.

Ці недоліки ускладнюють застосування алгоритмів строгої оптимізації для проектування мереж військового зв'язку, бо за наявності обмежень для багатовузлової мережі великої розмірності вони вимагають значних витрат часу на обчислення. У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження евристичних алгоритмів, які дозволяють знайти рішення, близькі до раціональних, при значному зменшенні

обсягу обчислень. Побудова евристичного алгоритму є компромісом між прагненням поліпшити якість мережі й необхідністю скоротити обсяг зроблених при пошуку рішення обчислень.

Найбільше розповсюдження одержали евристичні алгоритми, які в умовах обмеження часу дозволяють при покроковій зміні заданої первісної структури мережі одержати вузький діапазон структур, що задовольняють заданим вимогам.

На сьогодні відома досить велика кількість алгоритмів, створених для рішення проблем проектування багатовузлових мереж. Основні з них це – алгоритми Краскала, Єжі-Віл'ямса, Фогеля, Шарма та ін.

Алгоритм Краскала [2, 6] стартує від повного графу. На початку роботи алгоритму Краскала є $|N|$ незалежних компонентів, кожен з яких складається з однієї вершини. Далі на кожному кроці обирається ребро найменшої ваги, що з'єднує два компоненти, додається у вже побудовану безліч ребер мінімального остовного дерева. Ці два компоненти поєднуються в один. Коли залишився один компонент – мінімальне остовне дерево побудоване.

В алгоритмі Єжі-Віл'ямса як стартова структура використовується радіальна мережа. Далі, для кожної пари вершин обчислюється економія від заміни гілки, що з'єднує одну з вершин із центром, на гілку між цими вершинами. Перестановка гілок здійснюється для пари вершин з максимальною економією, за умови виконання обмежень на транзитні з'єднання [2].

Алгоритм Шарма використовує полярні координати кінцевих пунктів [1]. Площа навколо КЦ, що є центром, розбивається поворотом променя на сектори так, щоб в кожний потрапила кількість КЦ, яка визначається обмеженнями. В кожному секторі за допомогою одного з описаних алгоритмів будується мінімальне зв'язуюче дерево, що потім з'єднується з центром.

В алгоритмі Фогеля [2] для кожного КЦ підраховується виграш $E_i = I_{ij} - I_{ji}$ від кожного підключення до найближчого підграфу й наступного за порядком найближчого підграфу. Серед всіх варіантів вибирається підграф, що максимізує економію. Одночасно перевіряються задані обмеження. Випробовувана вершина підключається до найближчого вузла підграфу. Вартість з'єднання між двома сегментами визначається як вартість найдешевшого каналу зв'язку між двома КЦ, що належать різним підграфам. Алгоритм закінчує роботу коли всі КЦ виявляються підключеними.

Розглянуті евристичні алгоритми синтезу початкових структур ведуть до одного із припустимих рішень. Однак знайдене рішення не може бути поліпшено цим же алгоритмом, незалежно від того, яким далеким є це рішення від раціонального. Близькість до раціонального рішення залежить насамперед від первісної структури мережі, стратегії евристики, обмеження по тривалості обчислень й обчислювальних потужностей ЕОМ. Дослідження показують, що алгоритм Краскала найбільш простий у реалізації й працює краще інших. Він дозволяє одержувати субраціональні рішення й забезпечує можливість послідовно наблизитися до раціонального рішення. З огляду на вищесказане, пропонується доцільним використати алгоритм Краскала для первісного синтезу структури мережі.

Для подальшого поліпшення синтезованої за допомогою евристичного алгоритму Краскала початкової структури ТКМ з метою одержання раціональної за вартістю й структурною надійністю кінцевої структури необхідно застосувати один з методів синтезу топологічних структур ТКМ, що носять евристичний характер. Розглянемо й порівняємо найбільш відомі й розповсюджені з них.

Метод побудови надійних мереж Стейглиця.

Метод Стейглиця орієнтований на побудову надійних топологічних структур. Сутність методу полягає в тому, що будь-яку початкову дозволена топологію, що задовольняє за вартістю, але не має мінімального значення заданого критерію, приводять до раціонального послідовним застосуванням Х-трансформацій. На кожному кроці перевіряють допустимість одержуваних проміжних топологій стосовно вимог структурної надійності. Дані кроки проводяться до вичерпання всіх Х-трансформацій, що приводять до отримання необхідного значення заданого параметру при виконанні вимог до значень мінімальної вартості.

Аналіз роботи методу Стейглиця показує, що даний метод має яскраво виражений градієнтний характер, а одержувані в результаті його застосування топологічні структури значною мірою залежать від вихідної топологічної структури, з якої починається процес знаходження раціональної структури. Отже, метод Стейглиця не може гарантувати одержання раціональної топологічної структури. Для підвищення точності рішення даний метод застосовують до різних вихідних топологічних структур і з безлічі отриманих рішень вибирають краще. Основним недоліком даного методу є припущення, що пропускна здатність каналу не залежить від навантаження, а також сталість загальної кількості каналів зв'язку.

Метод заміни гілок.

Метод заміни гілок дозволяє досягти одного з локальних мінімумів шляхом локальних перетворень. Кожна ітерація даного методу застосовується до структури із заданим коефіцієнтом зв'язності k й складається з наступних етапів.

1. Локальне перетворення. Введення нового каналу зв'язку замість старого так, щоб була збережена зв'язність структури.

2. Методом заміни дуги визначають пропускні здатності й потоки в каналах, оцінюється вартість і пропускна здатність мережі; якщо значення цільової функції поліпшується, то структурне перетворення приймається.

3. Якщо всі можливі локальні перетворення виконані, то процес знаходження раціональної структури припиняється, інакше – повернення до етапу 1.

Недоліками даного методу є:

- залежність рішень від вихідної топологічної структури мережі;
- неможливість зміни загальної кількості каналів зв'язку в мережі в ході пошуку рішення, тому що замість вилученого каналу зв'язку вводиться новий;
- необхідність розгляду більшої кількості локальних перетворень і при зростанні розмірності мережі час рішення завдання зростає в експоненціальній формі.

Метод видалення гілок.

Метод видалення гілок застосовується у випадку, якщо існує можливість апроксимації дискретних функцій вартості каналів зв'язку з достатньою точністю ввігнутими кривими. Метод застосовується до повнозв'язної топологічної структури, з якої далі видаляються неекономічні гілки (канали зв'язку). Видалення неекономічних каналів зв'язку на кожному кроці здійснюється в результаті роботи алгоритму відхилення потоку для ввігнутої цільової функції, що приводить до локального оптимуму, використовуючи ввігнутий характер функції вартості. Алгоритм відхилення потоку припиняє роботу у випадку, якщо при черговому видаленні каналу зв'язку порушується зв'язність мережі. Для одержання більш точного наближення до глобального оптимуму даний метод рекомендується застосовувати до декількох первісних структур.

Даний метод також є градієнтним, але на відміну від методу заміни гілок і методу Стейглиця він змінює загальну кількість каналів зв'язку в мережі в ході пошуку рішення. Недоліками методу видалення гілок є:

- відсутність можливості вводити нові гілки (канали зв'язку);
- отримані топології сильно залежать від виду цільової функції;
- необхідність застосування методу до різних початкових структур.

Результати експериментальних досліджень показують, що даний метод у більшості випадків дає кращі рішення, ніж метод заміни гілок, і досить ефективно видаляє всі неекономічні канали зв'язку.

Метод насиченого перетину.

У методі насиченого перетину розглядаються не всі гілки мережі, а тільки ті, які з найбільшою ймовірністю поліпшують вартість і загальну структурну надійність мережі. В основі методу лежить поняття „насиченого перетину”.

Перетин – це кількість каналів зв'язку, видалення яких розбиває мережу на дві незв'язані частини. Перетин називається насиченим, якщо потік у кожному каналі зв'язку перетину дорівнює його пропускній здатності.

У мережі існує досить багато перетинів. Коли завантаження мережі зростає, один з перетинів стає насиченим. Тоді єдиний спосіб збільшення загальної пропускної здатності мережі – це збільшення пропускної здатності каналів зв'язку або додавання нового каналу зв'язку в перетині. Метод насиченого перетину прагне зберегти загальну пропускну здатність мережі в заданих межах ітеративного зменшення загальної вартості каналів зв'язку при виконанні обмежень на середній час затримки й зв'язності структури.

Відповідно до методу насиченого перетину, ітеративно будується розподілена мережа при заданій інтенсивності потоку, що проходить мережею, і наявності обмежень на пропускну здатність і надійність. Алгоритм методу насичених перетинів містить у собі п'ять основних кроків для кожної ітерації.

1. Маршрутизація. Визначаються раціональні шляхи встановлення з'єднання для даного варіанту мережі, при яких середня кількість гілок є мінімальною.

2. Визначення насиченого перетину. Як тільки раціональні шляхи встановлені, гілки впорядковуються відповідно до їх завантаження. Потім гілки по черзі видаляються в порядку зменшення навантаження. Мінімальний набір гілок, що роз'єднують мережу, називається насиченим перетином.

3. Фаза додавання. На цьому кроці в мережу додаються гілки з найменшою вартістю, які будуть відводити трафік від насиченого перетину. Для ефективного відводу трафіку повинні бути з'єднані вузли, що перебувають по обидві сторони насиченого перетину й відносно віддалені від нього.

4. Фаза видалення. На цьому кроці із сильнозв'язної топологічної структури видаляються гілки. Видаляється по одній гілці на кожній ітерації, при цьому вибирається найбільш вартісна й найменш цінна лінія.

Аналіз показує, що порівняно з методом побудови надійних мереж Стейглиця й методом заміни гілок метод насичених перетинів ефективніший в обчислювальному аспекті й дозволяє одержати такі ж або кращі значення цільової функції.

Практично в усіх вище розглянутих методах рішення задачі синтезу топологічної структури ТКМ застосовується метод заміни із залученням різних евристик. Метод заміни являє собою пошукову процедуру, що поліпшує вихідну топологічну структуру ТКМ, за заданим критерієм, послідовно змінюючи незначні ділянки. При цьому самі методи не вирішують завдання синтезу вихідної топологічної структури ТКМ. Як початкова топологічна структура зазвичай обирається довільна топологія мережі, отримана з застосуванням певного алгоритму синтезу початкової топології. У даних методах послідовні заміни застосовують доти, доки чергова операція заміни приводить до поліпшення значення цільової функції.

Проаналізувавши основні методи синтезу структур мереж зв'язку можна зробити наступні висновки:

- алгоритми строгої оптимізації знаходять досить обмежене використання при проектуванні реальних мереж зв'язку й в основному можуть використовуватися для оцінки точності евристичних алгоритмів;

- процедури повного перебору або випадкового рівномірного вибору припустимих рішень із безлічі припустимих забезпечують, в принципі, знаходження раціонального рішення. Однак, їх практична реалізація для реальних завдань великої розмірності є надмірно громіздкою й не може бути здійснена при практичних обмеженнях на пам'ять ЕОМ і час рішення.

- найбільше поширення для синтезу мереж одержали евристичні алгоритми, які при обмеженому часі, як правило, дозволяють знайти краще рішення, ніж алгоритми першого класу для масштабу реальних мереж;

- всі евристичні процедури ведуть до одного із припустимих рішень, і воно не може бути поліпшено цією процедурою, незалежно від того, наскільки далеким є це рішення від оптимального;

- евристичні методи знаходження раціональної структури мереж мають один загальний недолік: у них не запропонований метод синтезу початкової структури, що задовольняє всім обмеженням. Відсутність методу синтезу початкової структури веде або до збільшення обчислювальних витрат (при введенні надмірності) або до відсутності раціонального рішення (при випадковому виборі);

- для синтезу початкової структури мережі пропонується використати алгоритм Краскала;

- для одержання раціональної структури мережі на основі синтезованої початкової структури доцільно застосовувати метод насиченого перетину, як найбільш простий у реалізації і який дає можливість включення в мережу позначених потрібних ребер не обов'язково меншої вартості, що характерно для мереж військового зв'язку.

III. Синтез раціональної структури ТКМ за показниками мінімальної вартості й структурної надійності

Завдання синтезу раціональної топологічної структури ТКМ у загальному вигляді можуть бути сформульовані в такий спосіб: спроектувати раціональну структуру ТКМ ($A = \{a_{ij}\}$), мінімізовану за вартістю ($\min C$, де C – сумарна вартість мережі зв'язку), і забезпечити задані показники структурної надійності ТКМ (W_{ij}^H або $W_{\text{ТКМ}}^H$). Методика синтезу ТКМ має відповідати наступним умовам:

- випадковому характеру взаємного розміщення заданих КЦ;

- обмеженістю часу на ухвалення рішення про будівництво або розгортання ТКМ;

- заданим обмеженням про наявність сил і засобів для будівництва ліній зв'язку, наведеним до максимально можливої кількості ліній зв'язку (L_{\max}) і їхніх довжин (l_i^{\max} , де l_i – довжина i -ої лінії зв'язку,

$i = \overline{1, L_{\max}}$).

У такій постановці формально задачу синтезу ТКМ можна записати в наступному вигляді:

$$F = \{a_{ij}\}, \Leftrightarrow \min C / W_{ij} \geq W_{ij}^H;$$

$$L \leq L_{\max};$$

$$l_i \leq l_i^{\max}, \quad i = \overline{1, L_{\max}}.$$

Вихідними даними для синтезу ТКМ будуть:

- задані показники структурної надійності ТКМ у вигляді матриці $|W^H|$, елементами якої є задані показники структурної надійності всіх напрямків зв'язку W_{ij}^H й заданий (нормований) показник структурної надійності ТКМ у цілому $W_{\text{ТКМ}}^H$;

- необхідна кількість КЦ N , з координатами їхнього розміщення (x_i, y_i) ;
- наявність сил і засобів для будівництва лінії зв'язку (L_{\max} і L_i^{\max}).

У результаті проведених розрахунків визначаються:

– раціональна структура ТКМ для забезпечення необхідних показників структурної надійності ТКМ, задана матрицею зв'язаності $|A| = \{a_{ij}\}$ або графом $G(N, M)$;

– реальні значення показників структурної надійності всіх напрямків зв'язку ТКМ, представлені у вигляді матриці $|W| = \{W_{ij}\}$ й показник структурної надійності ТКМ $W_{\text{ТКМ}}$.

Методика передбачає наступні обмеження й допущення:

- потік викликів, що надходять на обслуговування в кожен напрямок, є найпростішим;
- система приймається з явними втратами;
- імовірності зайнятості каналів всіх гілок ТКМ взаємно незалежні;
- час встановлення з'єднання дорівнює нулю;
- впливи агресивних факторів на кожний окремо взятий елемент мережі є незалежними подіями;
- не враховуються функціональні можливості устаткування елементів ТКМ і системи управління на вибір шляхів;
- не враховуються можливості ТКМ з відновлення елементів.

Основні етапи методики можуть бути сформульовані в такий спосіб.

1. Введення вихідних даних: $|W^H|, W_{ij}^H, W_{\text{ТКМ}}^H, C$.
2. Синтез початкової структури ТКМ. Даний етап є першим етапом синтезу ТКМ. На цьому етапі здійснюється генерація початкового варіанта мережі $G(N^0, M^0)$. Для синтезу початкової структури мережі запропоновано використати алгоритм Краскала.
3. На даному етапі здійснюється перевірка отриманої за допомогою алгоритму Краскала початкової структури мережі вимогам щодо мінімальної вартості. Якщо структура задовольняє вимогам, то здійснюється перехід до п. 4, якщо ні, те перехід до п. 2.
4. На даному етапі визначаються напрямки зв'язку й найкоротші шляхи встановлення з'єднань у пропонованій синтезованій структурі ТКМ. Як алгоритм визначення найкоротших шляхів устанавлення з'єднань пропонується використати алгоритм Дейкстри.
5. Визначення значень показника структурної надійності напрямків зв'язку W_{ij} .
6. Перевірка відповідності розрахованих значень показників структурної надійності напрямків зв'язку W_{ij} заданим. Якщо вимога виконується, то здійснюється перехід до п. 8, якщо не виконується, то до п. 7.
7. Поліпшення синтезованої початкової структури з метою виконання вимог щодо параметрів структурної надійності на основі методу насичених перетинів.
8. Визначення значень показника структурної надійності мережі в цілому $W_{\text{ТКМ}}$.
9. Перевірка відповідності розрахованих в цілому значень показників структурної надійності мережі $W_{\text{ТКМ}}$ заданим. Якщо вимога виконується, то здійснюється перехід до п. 10, якщо не виконується, то до п. 7.
10. Фіксуємо проект $G(N, M)$, якому відповідає максимальне значення структурної надійності.
11. Обчислюємо різницю $\Delta W = W_{\text{ТКМ}} - W_{\text{ТКМ}}^H$.
12. Порівнюємо ΔW із заздалегідь обраною величиною ε . Якщо $\varepsilon < \Delta W$, то даний варіант вважається раціональним і здійснюється перехід до етапу виводу результатів п. 13, у противному випадку до етапу синтезу початкової структури мережі п. 2.
13. Виведення результатів. На цьому етапі здійснюється вивід найкращого варіанту структури ТКМ $G(N, M)$.

Блок-схема алгоритму, що реалізує запропоновану методику синтезу структури ТКМ за показниками мінімальної вартості й структурної надійності представлена на рис. 2. і рис. 3.

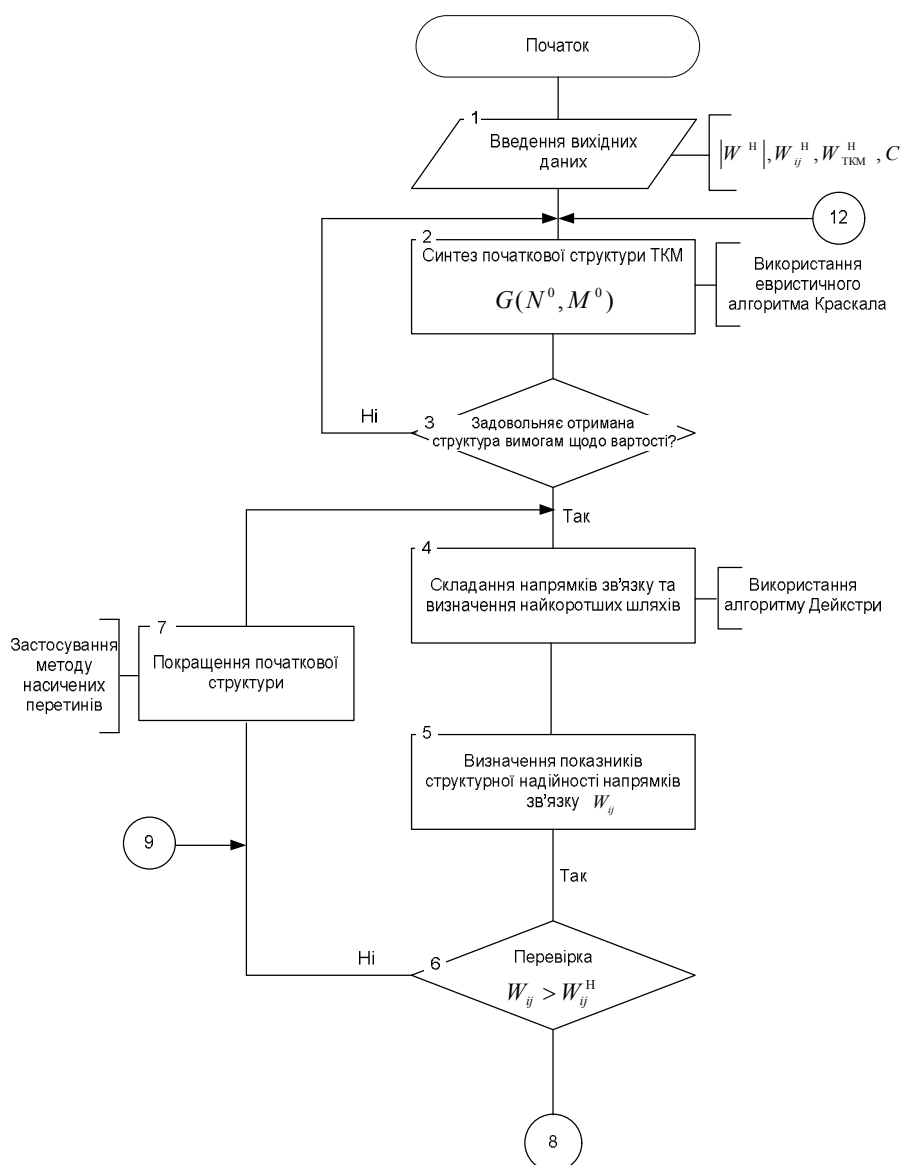


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму методики синтезу структури ТКМ за показниками мінімальної вартості й структурної надійності

III Висновки

На підставі викладеного можна зробити наступні висновки.

1. Алгоритми строгої оптимізації знаходять досить обмежене використання при проектуванні реальних ТКМ й в основному можуть використовуватися для оцінки точності евристичних алгоритмів. Процедури повного перебору або випадкового рівноімовірного вибору припустимих рішень із безлічі припустимих забезпечують, у принципі, знаходження раціонального рішення, однак, їх практична реалізація для реальних завдань великої розмірності є надмірно громіздкою.

Найбільше поширення одержали евристичні алгоритми, які при обмеженому часі, як правило, дозволяють знайти краще рішення, ніж алгоритми першого класу для масштабу реальних мереж. Евристичні методи оптимізації структури мереж мають один загальний недолік: у них не запропонований метод синтезу початкової структури, що задовольняє всім обмеженням. Відсутність методу синтезу початкової структури веде або до збільшення обчислювальних витрат (при введенні надмірності) або до відсутності раціонального рішення.

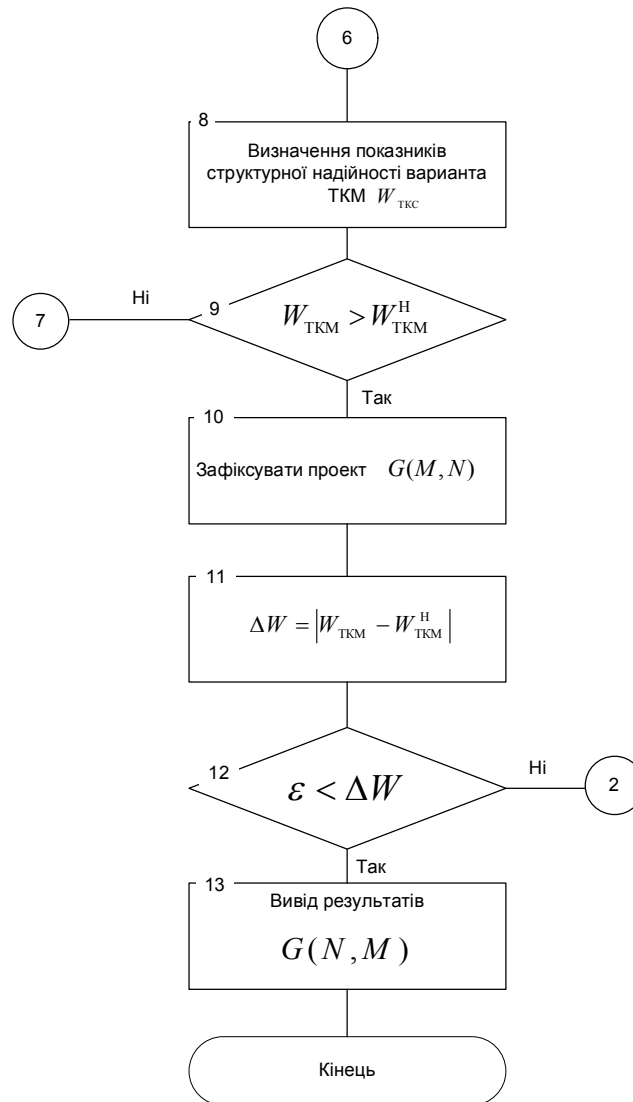


Рисунок 3 – Продовження блок-схеми алгоритму методики синтезу структури мережі зв’язку за показниками мінімальної вартості й структурної надійності

2. Особливістю представленої методики є те, що синтез структури мережі зв’язку спеціального призначення запропоновано здійснювати у два етапи: на першому етапі для звуження області пошуку синтезувати початкову структуру мережі використовуючи алгоритм Краскала, який вже на початкових етапах синтезу дозволяє одержати структуру, що задовольняє вимогам; на другому етапі для визначення раціональної структури мережі за критерієм мінімальної вартості мережі при виконанні вимог до значень показників структурної надійності запропоновано використати метод насичених перетинів.

3. Подальше дослідження необхідно продовжити в напрямку детальнішої розробки складових методики синтезу структур: методики оцінки якості функціонування, методики визначення кількості й місць розміщення КЦ, методики синтезу магістральної частини ТКМ.

Література: 1. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Построение сетей интегрального обслуживания. – Л.: Машиностроение, 1990. – 332 с. 2. Лохмотко В. В. Пирогов К. И. Анализ и оптимизация цифровых сетей интегрального обслуживания. – Мн.: Наука і техніка, 1991. – 192 с. 3. Зайченко Ю. П., Гонта Ю. В. Структурная оптимизация сетей ЭВМ. – Киев: Техника, 1986. – 168 с. 4. Янбых Г. Ф., Эттингер Б. Я. Методы анализа и синтеза сетей ЭВМ. – Л.: Энергия, 1980. – 96 с. 5. Русаков В. А. Методика анализа и синтеза сетей ЭВМ с использованием цепей Маркова // Сети ЭВМ и системы передачи данных. – М.: Знание, 1977. – с. 62–64. 5. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование. – М.: Радио и связь, 1981. – 336 с.