

УДК 621.391

Лісковський І.О., к.т.н. (Державний університет телекомунікацій)

УЗАГАЛЬНЮЮЧИЙ АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФРАГМЕНТА МЕРЕЖІ ТАКТОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДОВІЛЬНОЇ ТОПОЛОГІЇ

Лісковський І.О. Узагальнюючий алгоритм аналізу працездатності фрагмента мережі тактової синхронізації довільної топології. Розглядається питання визначення надійності типових топологічних фрагментів мережі тактової синхронізації. Розроблено узагальнюючий алгоритм аналізу працездатності фрагмента мережі тактової синхронізації довільної топології з врахуванням інтенсивностей потоків відмов і відновлень.

Ключові слова: мережа тактової синхронізації, надійність, алгоритм роботи мережного елементу, топологічний фрагмент, марковський процес

Лисковский И.О. Обобщенный алгоритм анализа работоспособности фрагмента сети тактовой синхронизации произвольной топологии. Рассматривается вопрос определения надежности типовых топологических фрагментов сети тактовой синхронизации. Разработан обобщенный алгоритм анализа работоспособности сети тактовой синхронизации с учетом интенсивностей потоков отказов и возобновлений.

Ключевые слова: сеть тактовой синхронизации, надежность, алгоритм работы сетевого элемента, топологический фрагмент, марковский процесс

Liskovskyi I.O. Generalized algorithm of analysis of capacity of the fragment time synchronization network of arbitrary topology. The question of determination of reliability of model topological fragments of network time synchronization network is examined. The generalized algorithm of analysis of capacity of time synchronization network is developed taking into account intensities of threads of refuses and renewals.

Keywords: time synchronization network, reliability, work algorithm of network element, topological fragment, markov's process

Вступ. В даний час спостерігається зростання і розвиток телекомунікаційних засобів і систем, впровадження новітніх технологій, перехід від телекомунікаційної мережі до Глобальної інформаційної інфраструктури, від телекомунікаційних послуг до інфокомунікаційних послуг.

Реалізація даного проекту неможлива без проведення відповідних змін в технологіях і архітектурі транспортної телекомунікаційної мережі (ТТМ), що вимагає, у свою чергу, модифікації мереж підтримки ТТМ нового покоління. До мереж підтримки відносяться мережі тактової синхронізації (МТС), мережі управління і мережі сигналізації.

Вимоги до ТТМ визначаються, перш за все, забезпеченням можливості передачі різномірного трафіку з використанням технології пакетної передачі інформації, тобто сучасна ТТМ повинна забезпечувати економічно ефективну агрегацію будь-якого клієнтського трафіку і його надійну, високоякісну передачу каналами зв'язку.

Постановка задачі. Разом з низкою безперечних переваг (ефективного використання смуги пропускання і порівняно низькій вартості), пакетні мережі характеризуються складною топологічною структурою, що викликає посилювання вимог до систем підтримки, і, зокрема, до систем тактової синхронізації (ТС). Мережа ТС є накладеною на фізичну топологію мережі передачі даних. Вимоги до надійності МТС залежать від вимог до ТТМ. Надійність МТС має бути, як мінімум, не гірше, ніж надійність самої ТТМ.

МТС може бути представлена як сукупність фрагментів різної топології. Це дозволяє отримати чіткі аналітичні вирази, що характеризують алгоритм функціонування досліджуваного фрагмента, його надійність і відмовостійкість. Провівши аналіз топології існуючих діючих МТС, можна зробити висновок про те, що основними топологічними фрагментами, на які може бути розбита будь-яка мережа, є кільцева, деревовидна і трикутна топології. Інакше кажучи, поєднання в тому або іншому вигляді запропонованих фрагментів

дає повне уявлення про топологію МТС в цілому. Вирішення завдання щодо підвищення якості функціонування МТС потребує дослідження залежностей надійності функціонування мережі від обраної топології мережі, використовуваного алгоритму роботи мережного елементу, інтенсивностей потоків відмов і відновлень.

Для вирішення поставленого завдання розглянемо типові за структурою топологічні фрагменти мереж, на яких функціонують МТС. Основними типами топологічних структур, які використовуються в МТС є деревовидна і кільце, які і будуть взяті за типові для дослідження. Як перспективна топологія, яка може бути використана, пропонується фрагмент з трикутною топологічною структурою (Рис.1).

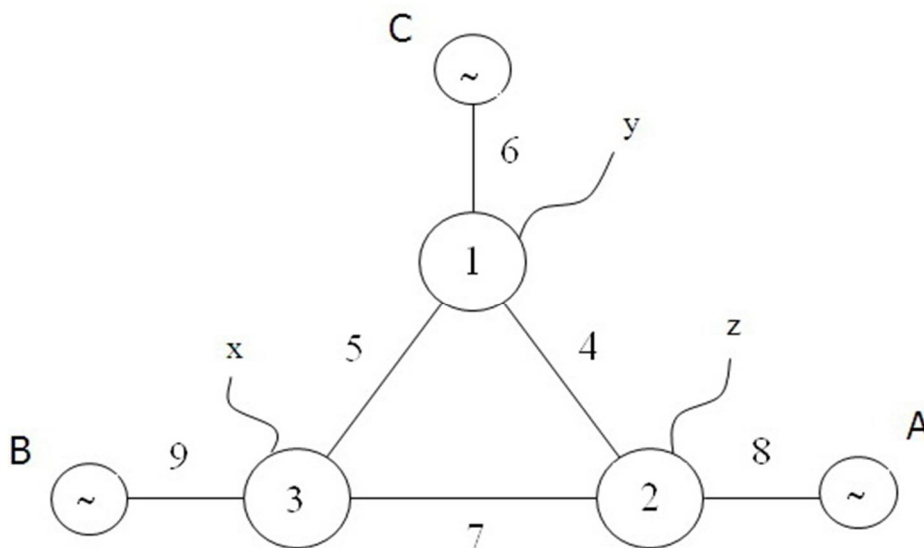


Рис. 1. Представлення трикутної топологічної структури у вигляді графа

В якості критерію застосування типу топології приймемо працездатність даного фрагмента. Сформулюємо визначення працездатності фрагмента.

Фрагмент мережі тактової синхронізації, який складається з мережних вузлів і ліній зв'язку вважається працездатним, якщо він здатний функціонувати із задалегідь заданою якістю сигналу синхронізації протягом певного проміжку часу.

Узагальнений алгоритм аналізу працездатності МТС. Нехай фрагмент мережі має кінцеву кількість дискретних станів, а відмови і відновлення в даному фрагменті відбуваються у випадкові моменти часу. Таким чином, функціонування довільного фрагменту МТС може бути представлено випадковим процесом з кінцевим числом дискретних станів, і безперервним часом [1]. Передбачимо, що всі потоки, що переводять досліджуваний фрагмент з одного стану в інше – пуассоновські і незалежні, внаслідок чого випадковий процес переходів з одного стану в інший під дією потоків відмов і відновлень, є марковським процесом з дискретними станами і безперервним часом. З врахуванням цих припущень можна представити узагальнений алгоритм аналізу працездатності фрагмента МТС довільної топології у вигляді послідовності етапів.

Етап 1. Досліджуваний фрагмент представляється у вигляді графа, в якому вершини графа відповідають мережним елементам, а ребра графа є з'єднаннями між мережними елементами.

Етап 2. Визначається повна група несумісних подій, що враховує всі можливі стани довільного фрагмента мережі.

Еман 3. Визначаються функції інтенсивностей потоків відмов і потоків відновлень виду $\lambda_{ij}(t)$ і $\mu_{ji}(t)$, які переводять досліджуваний фрагмент з одного можливого стану в інший.

Еман 4. Використовуючи групу несумісних подій, будується розмічений граф станів фрагмента мережі.

Еман 5. На основі розміченого графа складається система диференціальних рівнянь, використовуючи таке мнемонічне правило: похідна імовірності будь-якого стану дорівнює сумі всіх потоків імовірностей, що переводять систему в цей стан, мінус сума всіх потоків імовірностей, що виводять систему з цього стану, а саме:

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n p_j(t) \cdot \mu_{ji}(t) - p_i \cdot \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}(t), \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Еман 6. Визначається значення імовірності перебування мережі в одному з можливих станів шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь.

Еман 7. Визначаються умови, що призводить до втрати працездатності фрагмента МТС з врахуванням таких параметрів і критеріїв, що визначають поняття "працездатність":

- алгоритм функціонування вузла синхронізації;
- спосіб встановлення пріоритетів вхідним інтерфейсам (портам) синхронізації;
- встановлення рівнів якості (quality level) сигналів синхронізації;
- топологія фрагмента мережі.

Наприклад, для трикутного фрагмента ця умова виражається формулою [2]:

$$\begin{aligned} \bar{M}_{Tp} = & M_{Tp1} \bar{M}_{Tp2} \bar{M}_{Tp3} + \bar{M}_{Tp1} M_{Tp2} \bar{M}_{Tp3} + \bar{M}_{Tp1} \bar{M}_{Tp2} M_{Tp3} + M_{Tp1} M_{Tp2} \bar{M}_{Tp3} + M_{Tp1} \bar{M}_{Tp2} M_{Tp3} + \\ & + \bar{M}_{Tp1} M_{Tp2} M_{Tp3} + \bar{M}_{Tp1} \bar{M}_{Tp2} \bar{M}_{Tp3}, \end{aligned}$$

де \bar{M}_{Tp1} , \bar{M}_{Tp2} , \bar{M}_{Tp3} – події при яких сигнал синхронізації заданої якості буде відсутній на відповідному вихідному інтерфейсі (порту) мережного елементу.

Еман 8. Розбиття всіх несумісних подій на дві групи. Перша група подій включає ті події, які не здійснюють істотного впливу на якість функціонування мережі. Друга група подій включає ті події, кожна з яких призводить до втрати працездатності мережі.

Еман 9. Визначення імовірності знаходження фрагмента МТС в працездатному або непрацездатному стані з врахуванням розподілу станів за групами.

$$P(M_{Tp}) = \sum_k p_k + \sum_m p_m,$$

де k – індекс для станів, що знаходяться в групі, відповідній працездатності фрагмента;

m – індекс для станів, що знаходяться в групі, відповідній непрацездатності фрагмента;

$n = k+m$ – кількість незалежних станів розміченого графа системи.

Порівняльний аналіз функціонування фрагментів МТС. Дослідження функціонування фрагментів МТС трикутної, деревовидної та кільцевої топологічної структури за запропонованим методом дозволяє провести порівняльний аналіз досліджуваних фрагментів на базі отриманих для кожного фрагмента співвідношень, що визначають імовірності знаходження кожного фрагментів в працездатному стані.

Так, імовірність виходу з ладу трикутного фрагмента МТС, виражена через інтенсивність відмов і відновлень визначається таким чином:

$$P(M_{Tp}) = \sum_{i=1}^{22} p_i + \sum_{i=24}^{29} p_i + \sum_{i=31}^{36} p_i + \sum_{i=38}^{40} p_i + p_{42},$$

де p_i – імовірність перебування фрагмента в i -му стані, що отримана шляхом вирішення системи диференціальних рівнянь.

Введемо визначення структурної надійності МТС. Під структурною надійністю мережі тактової синхронізації розуміється *об'єктивна властивість мережі забезпечувати зв'язність між вузлами мережі з якістю сигналу синхронізації не гірше заданого* [3]. Стосовно досліджуваних фрагментів МТС структурна надійність визначається як імовірність знаходження фрагмента МТС в працездатному стані за визначеним вище алгоритмом.

Структурна надійність МТС в загальному вигляді є функціоналом, залежним від інтенсивності потоку відмов, інтенсивності потоку відновлень, від топології і від алгоритму функціонування вузла МТС. Таким чином, структурна надійність може бути представлена в наступному вигляді:

$$P = f[\lambda_i(t), \mu_i(t), R_j(t), F_k],$$

де $\lambda_i(t)$ – функція інтенсивності потоку відмов, що впливає на i -й елемент фрагмента мережі;

$\mu_i(t)$ – інтенсивність потоку відновлень, що впливає на i -й елемент фрагмента мережі;

F_k – тип використовуваного алгоритму, де $k=1\dots 3$, причому $k=1$ відповідає алгоритму функціонування вузлів ТС на основі таблиць пріоритетів, $k=2$ відповідає алгоритму функціонування вузлів ТС на основі повідомлень про статус синхронізації, $k=3$ відповідає алгоритму функціонування вузлів ТС з можливістю формування динамічної зміни дерева синхронізації і внесенням програмованої затримки [4].

Топологія досліджуваного фрагмента ($j=1\dots 3$, де $j=1$ відповідає трикутному фрагменту, $j=2$ – деревовидному фрагменту, $j=3$ – кільцевому фрагменту).

Розглянемо залежність зміни структурній надійності фрагментів МТС від інтенсивності потоку відмов і топології фрагмента при дотриманні наступних умов:

1) інтенсивність потоку відновлень є величина постійна і дорівнює 1;

2) вузли ТС функціонують за ідеальним алгоритмом, тобто відсутній вплив алгоритму на структурну надійність.

Встановимо початкове значення інтенсивностей потоку відмов рівним 0,8 з кроком зміни рівним 0,02. Використовуючи узагальнений алгоритм, приведений вище, визначимо, структурна надійність якого з аналізованих фрагментів є вищою.

Результати розрахунків залежності структурної надійності фрагмента МТС від інтенсивності потоку відмов і топології фрагмента приведені на Рис. 2.

Розглянемо приклад використання узагальнюючого алгоритму для вибору оптимальної топології фрагмента МТС в деяких реальних ситуаціях, відповідних типовим умовам функціонування МТС. Наприклад:

Вунадок 1. Одне з ребер тих, що йдуть від джерела має підвищену відмовостійкість. Підвищена відмовостійкість забезпечується за рахунок внутрішньостанційного розташування ребра між вузлом і задаючим генератором (рівня PRC). Дана ситуація зустрічається в багатьох випадках в мережах тактової синхронізації. Виберемо як ребро з підвищеною відмовостійкістю елемент під номером 6. Нехай інтенсивність потоку відмов, що доводиться на даний елемент $\lambda_6 = 0,8$, а інтенсивність потоку відновлень $\mu_6 = 1,0$. Для всіх останніх ребер встановимо початкове значення інтенсивностей потоку відмов рівним 0,8 з кроком зміни рівним 0,02, а інтенсивність потоку відновлень постійна і дорівнює 1,0.

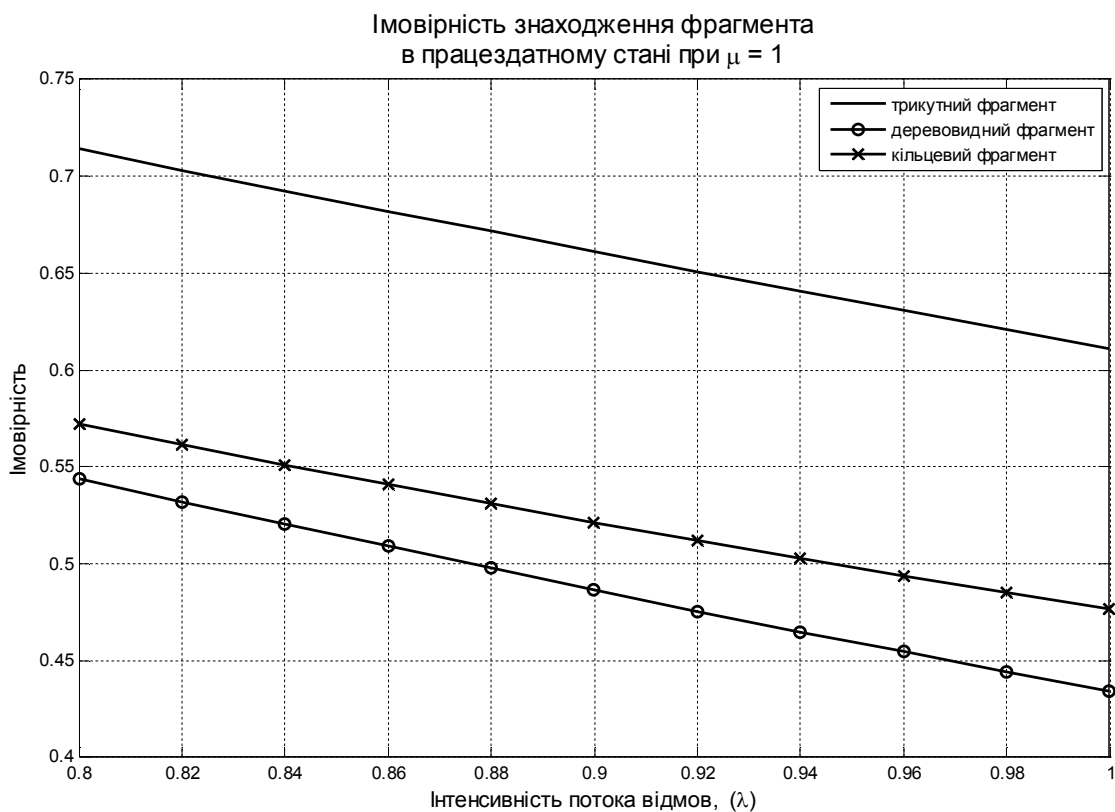


Рис. 2. Залежності структурної надійності фрагмента МТС від інтенсивності потоку відмов і топології фрагмента

Використовуючи узагальнюючий алгоритм, визначимо, наскільки вигідним є використання тієї або іншої топології.

Результати розрахунку наведено у вигляді залежності структурної надійності від інтенсивності потоку відмов на Рис. 3.

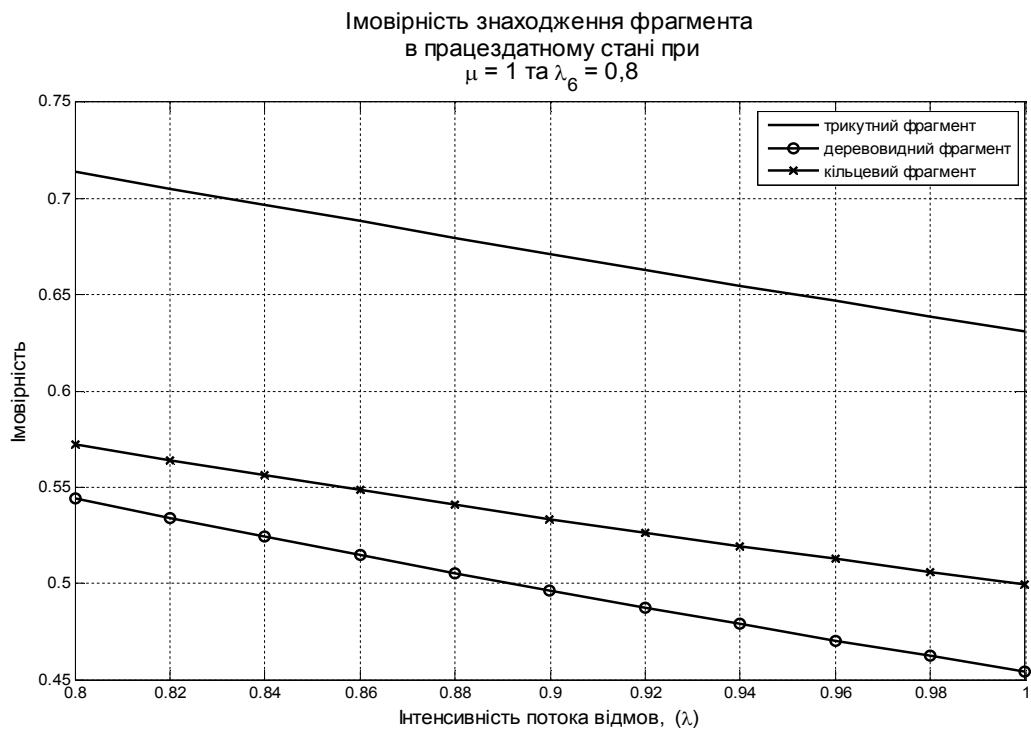


Рис. 3. Залежність структурної надійності від інтенсивності потоку відмов, якщо одне з ребер має підвищену відмовостійкість

Випадок 2. Два ребра від джерел сигналу мають підвищену відмовостійкість. Дана ситуація зустрічається в МТС при використанні двох територіально рознесених джерел сигналу синхронізації. Підвищена відмовостійкість забезпечується за рахунок внутрішньостанційного розташування ребра між вузлом і задаючим генератором (рівня PRC). Виберемо як ребра з підвищеною відмовостійкістю елементи з номерами 6 і 8. Нехай інтенсивність потоку відмов, що доводиться на дані елементи складає, $\lambda_6 = 0,8$, $\lambda_8 = 0,8$, а інтенсивність потоку відновлень $\mu_6 = \mu_9 = 1,0$. Для всіх останніх ребер встановимо початкове значення інтенсивностей потоку відмов рівним 0,8 з кроком зміни рівним 0,02, а інтенсивність потоку відновлень постійна і дорівнює 1,0. Використовуючи узагальнюючий алгоритм, визначимо, наскільки вигідним є використання тієї або іншої топології.

Результати розрахунку приведені у вигляді залежності структурної надійності від інтенсивності потоку відмов на Рис. 4.

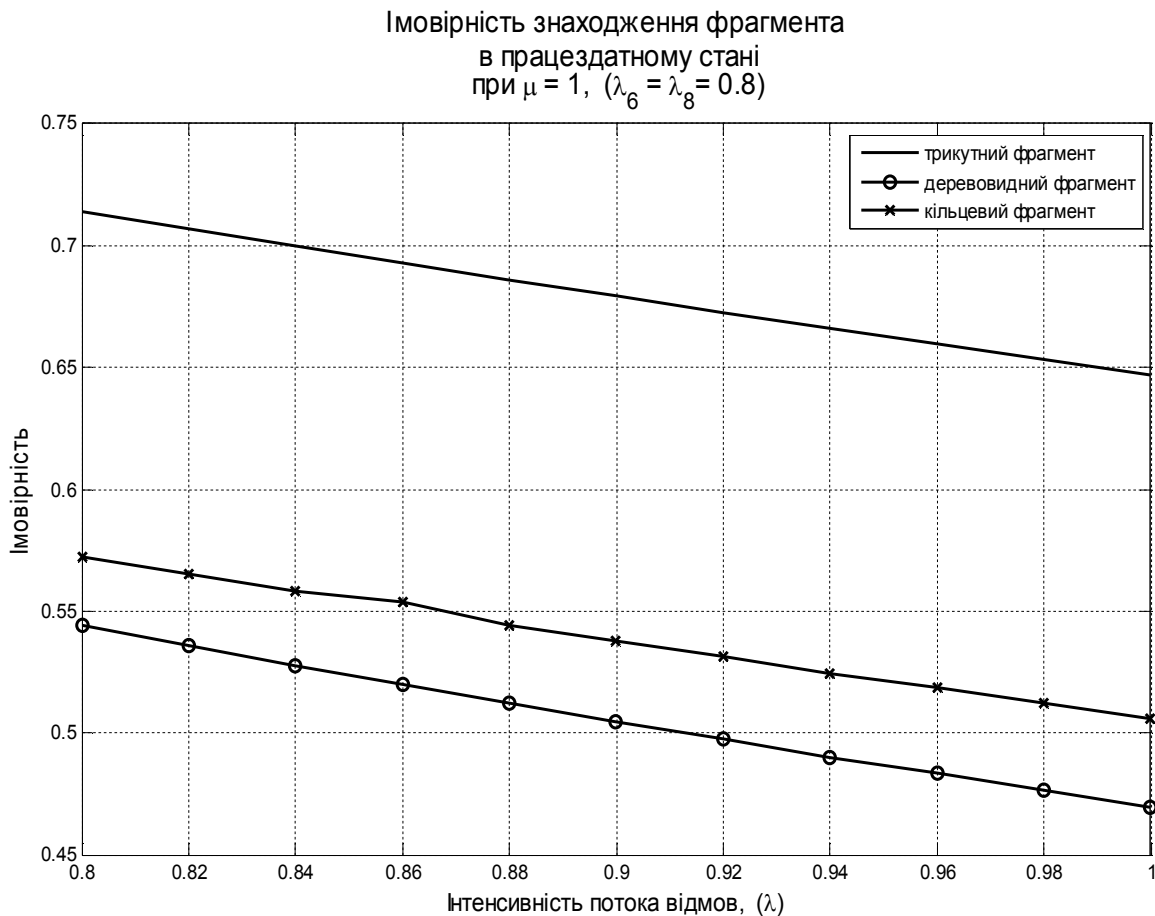


Рис. 4. Залежність структурної надійності від інтенсивності потоку відмов, якщо два ребра мають підвищену відмовостійкість

Випадок 3. Всі ребра від джерел мають незначне перевищення у відмовостійкості. Дана ситуація зустрічається, наприклад, при побудові багатокільцевих схем, або при відносному віддаленні деревовидного фрагмента від джерела, або коли існує необхідність синхронізувати мережу від приймачів сигналу GPS в умовах, коли не існує гарантії високої надійності каналу зв'язку із-за спотворень сигналу, передаваного з супутника. Виберемо тоді для елементів $\lambda_6, \lambda_8, \lambda_9 = 1,1$, а для $\mu_6, \mu_8, \mu_9 = 1,0$. Для всіх останніх ребер встановимо початкове значення інтенсивностей потоку відмов рівним 1,001 з кроком зміни рівним 0,2, а інтенсивність потоку відновлень постійна і дорівнює 1,0.

Використовуючи узагальнюючий алгоритм, визначимо, наскільки вигідним є використання тієї або іншої топології.

Результати розрахунку приведені у вигляді залежності структурної надійності від інтенсивності потоку відмов на Рис. 5.

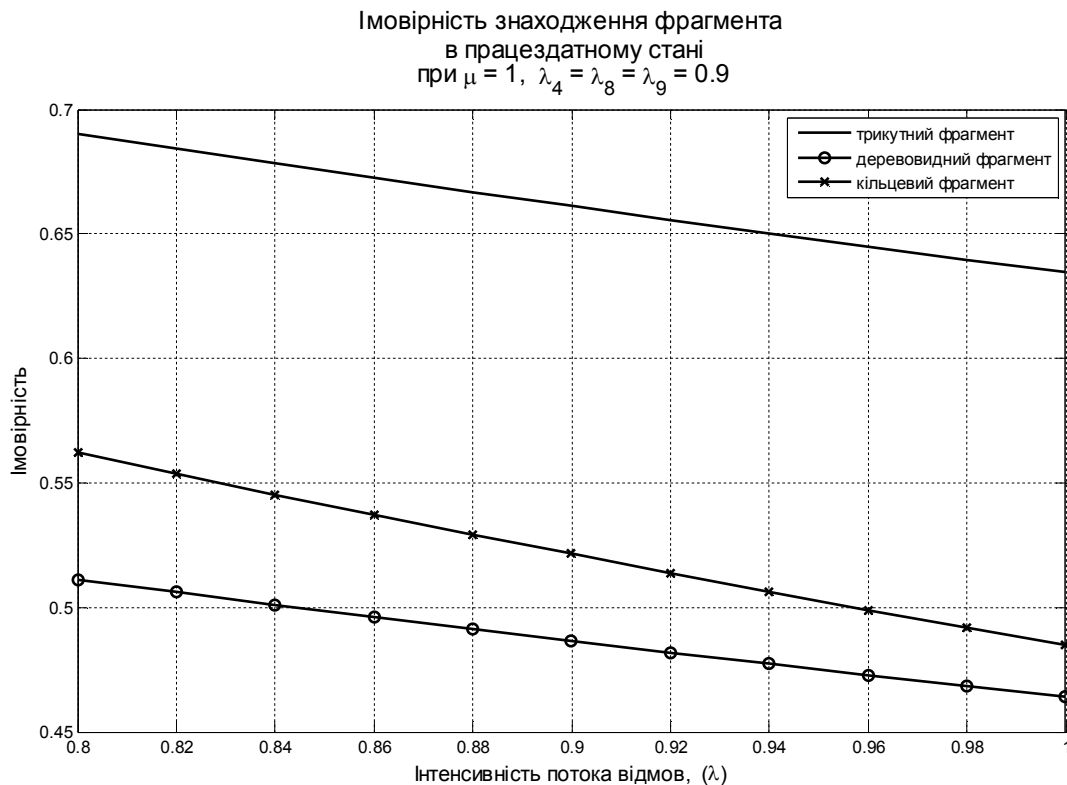


Рис. 5. Залежність структурної надійності від інтенсивності потоку відмов, якщо всі ребра від джерел мають незначне перевищення у відмовостійкості

Висновок. Таким чином показано, що у всіх випадках фрагмент з трикутною структурою має вищу відмовостійкість, проте в випадку 2 використання трикутного фрагмента недоцільне у зв'язку з тим, що вигрaш за відмовостійкістю незначний.

Література

1. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384 с.
2. Беркман Л.Н. Підвищення надійності функціонування мережі тактової синхронізації / Л.Н. Беркман, І.О. Лісковський // Матеріали IV Міжнародного науково-технічного симпозиуму "Нові технології в телекомунікаціях". – К.: ДУІКТ, 2011. – С.72-75.
3. Филин Б.П. Методы анализа структурной надежности сетей связи / Б.П. Филин. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
4. Лісковський І.О. Внесення програмованої затримки в алгоритм обробки повідомлення про статус синхронізації / І.О. Лісковський // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2008. – Випуск №11. – С. 46-50.