

# **Лекція 6.**

## **Основні характеристики ТКМ**

### **ПЛАН**

1. Пропускна здатність телекомунікаційних мереж.
2. Функціонуюче навантаження.
3. Співвідношення між пропускною здатністю і функціонуючим навантаженням в телекомунікаційних мережах.
4. Надійність функціонування телекомунікаційних мереж.
5. Живучість телекомунікаційних мереж.
6. Вимоги до цілісності і стійкості функціонування телекомунікаційних мереж.

# 1. Пропускна здатність телекомунікаційних мереж

Наявність істотних відмінних ознак у побудові і функціонуванні первинних і вторинних телекомунікаційних мереж вимагає різних підходів до визначення їх пропускної здатності.

Так, функціонування первинних мереж не залежить від виду кінцевих пристроїв, характеру створюваних ними потоків повідомлень, способів і дисциплін обслуговування заявок. Тому пропускна здатність елементів мережі (напрямків або гілок зв'язку) може визначатися числом каналів у цих елементах чи максимально можливим навантаженням, що може обслужити (пропустити) елемент мережі. У цифрових первинних мережах теоретична (за формулою К. Шенона) пропускна здатність дорівнює максимальній швидкості передачі в каналі або в тракті.

У вторинних мережах оцінка пропускної здатності числом каналів або максимальною швидкістю передачі інформації буде неточною, тому що не враховує вимог абонентів до якості обслуговування заявок. Тому для цих мереж пропускна здатність може оцінюватися обсягом інформації, що передається від джерел інформації до споживачів при заданих ймовірносно-часових обмеженнях, обумовлених вимогами до якості обслуговування.

Пропускна здатність може бути виражена через два взаємозалежних параметри: величину інтенсивності виконаного навантаження і якість обслуговування. Інтенсивність виконаного навантаження  $Y_{ij}$  може бути виражена через інтенсивність виконаного потоку заявок  $C_{ij}$  у кожному напрямку зв'язку і середній час обслуговування  $t_c$  цих заявок, тобто

$$Y_{ij} = C_{ij} t_c$$

Якість обслуговування заявок обумовлюється прийнятим на мережі способом обслуговування. Для телефонних мереж у більшості випадків приймається спосіб обслуговування заявок із втратами, для якого показником якості є величина (ймовірність)  $p$  втрат. Якщо при цьому значення інтенсивності навантаження, що надходить у напрямку зв'язку  $J_{ij}$  дорівнює  $Z_{ij}$ , то виконане в ньому навантаження складає

$$Y_{ij} = Z_{ij} (1 - p_{ij})$$

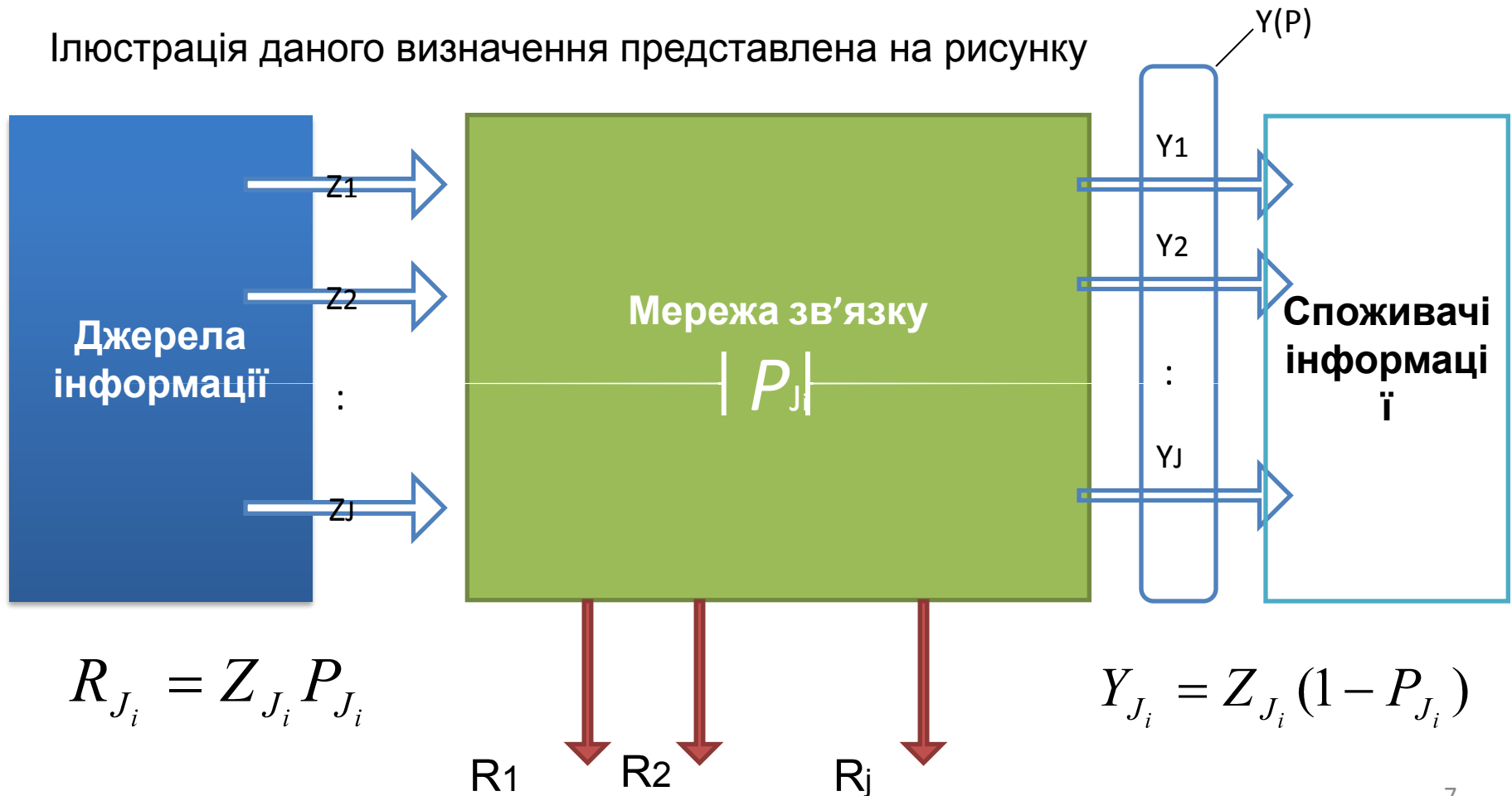
Пропускна здатність напрямку зв'язку  $Y_J(p)$  дорівнює виконаному в цьому напрямку навантаженню  $Y_J$  при виконанні вимог по якості обслуговування  $p$ :

$$Y_J(p_J) = Z_J(1 - p_J) \quad (8.2)$$

Пропускна здатність телекомунікаційної мережі оцінюється за результатами функціонування кожного напрямку зв'язку. Сумарна пропускна здатність усіх напрямків зв'язку визначає обсяг повідомлень чи навантаження в (Ерлангах), що пройшли через мережу від джерел до споживачів інформації, тобто пропускну здатність телекомунікаційної мережі в цілому.

Таким чином, можна сформулювати наступне визначення розглянутої характеристики: **пропускною здатністю телекомунікаційної мережі називають сумарне навантаження, що виконується в одиницю часу в усіх напрямках зв'язку, при забезпеченні заданих показників якості обслуговування.**

Ілюстрація даного визначення представлена на рисунку



Якщо в кожному напрямку зв'язку  $J_{ij}$ , де  $i, j \in N$ , значення виконаного навантаження дорівнює  $Y_{ij}$ , а показник якості обслуговування  $p_{ij}$ , то розподіл пропускної здатності  $Y(P)$  мережі по напрямках зв'язку найбільше повно відображається наступною матрицею:

$$Y(P) = \begin{vmatrix} Y_{11}(p_{11}) & Y_{12}(p_{12}) & \dots & Y_{1j}(p_{1j}) & \dots & Y_{1N}(p_{1N}) \\ Y_{21}(p_{21}) & Y_{22}(p_{22}) & \dots & Y_{2j}(p_{2j}) & \dots & Y_{2N}(p_{2N}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{i1}(p_{i1}) & Y_{i2}(p_{i2}) & \dots & Y_{ij}(p_{ij}) & \dots & Y_{iN}(p_{iN}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{N1}(p_{N1}) & Y_{N2}(p_{N2}) & \dots & Y_{Nj}(p_{Nj}) & \dots & Y_{NN}(p_{NN}) \end{vmatrix}$$

У випадку, коли для кожного напрямку зв'язку виконуються умови  $J_{ij} = J_{ji}$ , де  $i, j \in N$ , і  $Y_{ij} + Y_{ji} = 2Y_{ij}$  розподіл пропускної здатності  $Y(P)$  мережі по напрямках зв'язку може бути представлений наддіагональною матрицею:

$$Y(P) = \begin{vmatrix} Y_{12}(p_{12}) & Y_{13}(p_{13}) & \dots & Y_{1j}(p_{1j}) & \dots & Y_{1N}(p_{1N}) \\ & Y_{23}(p_{23}) & \dots & Y_{2j}(p_{2j}) & \dots & Y_{2N}(p_{2N}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & Y_{ij}(p_{ij}) & \dots & Y_{iN}(p_{iN}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & & \dots & Y_{(N-1)N}(p_{(N-1)N}) \end{vmatrix}$$

Чисельне значення пропускної здатності  $Y(p)$  мережі може бути отримане з виразу:

$$Y(p) = \sum_{i=1}^I Y_i(p_i) \quad \text{або} \quad Y(p) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N Y_{ij}(p_{ij})$$

де  $N$  - число комутаційних центрів у мережі;  
 $I$  – число напрямків зв'язку в мережі.

Основними факторами, що визначають значення пропускної здатності кожного напрямку зв'язку і телекомунікаційної мережі в цілому, є значення пропускної здатності гілок, тип потоку заявок, алгоритм розподілу заявок у напрямках зв'язку і прийнята система обслуговування.

## 2. Функціонуюче навантаження телекомунікаційних мереж

Внутрішній стан мереж зв'язку, обумовлений заняттям їх елементів для обслуговування заявок, що надходять, і передачі повідомлень, характеризується функціонуючим в цих мережах навантаженням. При цьому під функціонуючим розуміється сумарне (таке, що виконується по всіх гілках мережі зв'язку) навантаження  $Y_{\phi}$ . Розподіл його по гілках мережі зв'язку може бути також описаний наддіагональною матрицею:

$$Y_{\phi} = \begin{vmatrix} Y_{m12} & Y_{m13} & \dots & Y_{m1j} & \dots & Y_{m1N} \\ & Y_{m23} & \dots & Y_{m2j} & \dots & Y_{m2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & \dots & Y_{mij} & \dots & Y_{miN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & \dots & & \dots & Y_{m(N-1)N} \end{vmatrix}$$

Кожний елемент  $Y_{mij}$  матриці чисельно дорівнює величині навантаження, що виконується у відповідній гілці  $mij$ . При значенні елемента матриці зв'язаності  $a_{ij} = 0 \rightarrow Y_{mi} = 0$ , а при  $a_{ij} = 1 \rightarrow Y_{mi} > 0$ . Функціонуюче навантаження  $Y_{\phi}$  для мережі зв'язку в цілому визначається таким чином:

$$Y_{\phi} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N Y_{mij} \quad \text{або} \quad Y_{\phi} = \sum_{k=1}^M Y_{mk}$$

де  $M$  – число гілок у мережі.

### 3. Співвідношення між пропускною здатністю і функціонуючим навантаженням у телекомунікаційних мережах

У загальному випадку співвідношення між пропускною здатністю телекомунікаційної мережі і функціонуючим в ній навантаженням має вигляд

$$Y(p) \leq Y_{\phi}$$

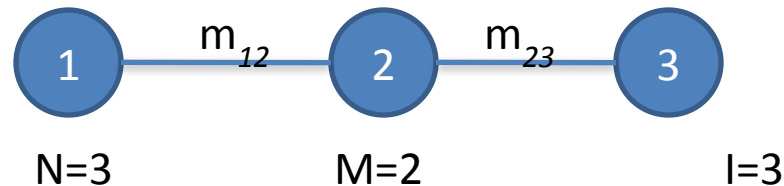
Рівність зазначених величин справедлива тільки для мереж, що некомутуються. У них кожному напрямкові зв'язку відповідає гілка  $m_{ij}$ , а будь-яке з'єднання може встановлюватися по єдиному шляху. Якщо відомо  $k$  середнє число КЦ у всіх шляхах передачі інформації, то величина функціонуючого навантаження може бути визначена таким чином:

$$Y_{\phi} = Y(p) (k-1)$$

Справедливість цих співвідношень може бути показана на простих прикладах.

### Приклад №1.

Зробимо оцінку співвідношення функціонуючого навантаження і пропускної здатності в телекомунікаційній мережі, що комутується, яка характеризується параметрами  $N = 3$ ,  $M = 2$ . Структура даної мережі представлена на рисунку:



При  $J_{ij}=J_{ji}$  число напрямків зв'язку в такій мережі

$$I = \frac{N(N-1)}{2} = 3$$

Позначимо ці напрямки зв'язку  $J_{12}$ ,  $J_{13}$ ,  $J_{23}$ . Пропускна здатність кожного з них визначається відповідно величинами навантажень  $Y_{12}$ ,  $Y_{13}$  і  $Y_{23}$  за умови виконання вимог по якості обслуговування, тобто  $p_{12}$ ,  $p_{13}$  і  $p_{23}$ . Тоді відповідно з визначенням пропускної здатності можна записати:

$$Y(p) = Y_{12}(p) + Y_{13}(p) + Y_{23}(p)$$

З рисунку видно, що гілка  $m_{12}$  повинна забезпечити виконання навантаження  $Y_{m12} = Y_{12}(p) + Y_{13}(p)$ , а гілка  $m_{23}$  –  $Y_{m23} = Y_{13}(p) + Y_{23}(p)$ . Сумарне функціонуюче навантаження на розглянутій мережі відповідно з визначенням дорівнює

$$Y_{\phi} = Y_{m12} + Y_{m23} = Y_{12}(p) + 2Y_{13}(p) + Y_{23}(p)$$

Визначимо функціонуюче навантаження згідно формули

$$Y_{\phi} = Y(p) (k-1)$$

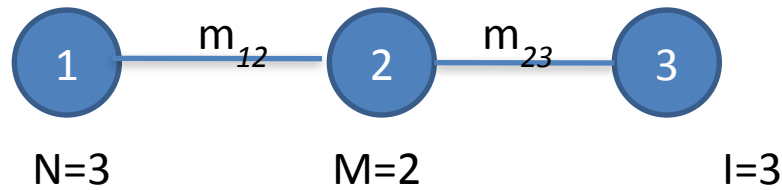
У напрямках зв'язку  $J_{12}$  і  $J_{23}$   $k = 2$ , що визначає для них  $Y_{m12} = Y_{12}(p)$  і  $Y_{m23} = Y_{23}$ . У напрямку зв'язку  $J_{13}$   $k = 3$ , а  $Y_{m13} = 2Y_{13}(p)$ . Звідси відповідно до формули

$$Y_{\phi} = \sum_{k=1}^M Y_{mk}$$

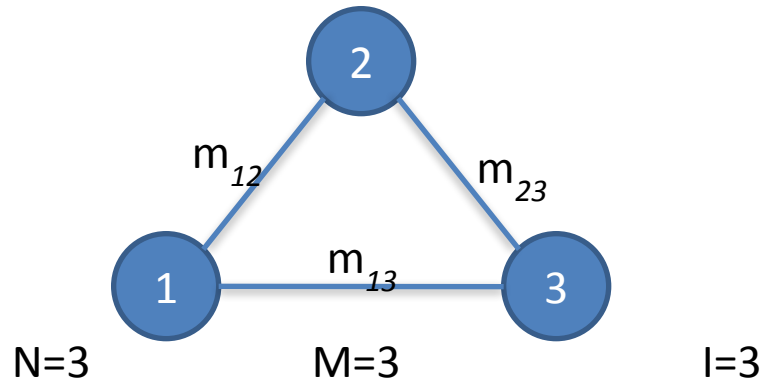
знаходимо:

$$Y_{\phi} = Y_{12}(p) + 2Y_{13}(p) + Y_{23}(p)$$

що відповідає раніше отриманому значенню.



Приклад №2. Нехай є мережа, що некомутується, у вигляді трьохелементної КЕС. При  $J_{ij}=J_{ji}$  вона характеризується наступними параметрами:  $N=3$ ,  $M=3$ ,  $I=3$ .



У цій мережі кожному напрямкові зв'язку  $J_{12}$ ,  $J_{13}$  і  $J_{23}$  відповідає своя власна гілка  $m_{12}$ ,  $m_{12}$  і  $m_{23}$ . Оскільки обхідні шляхи встановлення з'єднань відсутні, то функціонуюче навантаження в мережі дорівнює:

$$Y_{\phi} = Y_{m12} + Y_{m13} + Y_{m23} = Y_{12}(p) + Y_{13}(p) + Y_{23}(p),$$

а пропускна здатність:

$$Y(p) = Y_{12}(p) + Y_{13}(p) + Y_{23}(p).$$

Тобто, у мережі, що некомутується  $Y(p) = Y_{\phi}$ .

## 4. Надійність функціонування телекомунікаційних мереж

Характеристика, що визначає можливість абонентів обмінюватися інформацією у мережах зв'язку в умовах виникнення технічних відмовлень і експлуатаційних помилок на її елементах без помітного погіршення ймовірно-часових показників обслуговування заявок, одержала назву надійності функціонування цих мереж [2]. У зв'язку з цим під надійністю функціонування телекомунікаційної мережі розуміється її властивість забезпечувати встановлення з'єднань і передачу повідомлень у реальних умовах експлуатації при збереженні заданих значень показників якості обслуговування, встановленого для кожного напрямку зв'язку.

Надійність телекомунікаційної мережі зв'язку має ряд особливостей у порівнянні з окремими радіотехнічними пристроями. Основними з них є:

- розгалуженість мереж зв'язку, розосереджений розміщення їхніх елементів на місцевості;
- багатофазне обслуговування вимог, що надходять;
- визначення надійності мереж зв'язку по їх показниках для окремих напрямків зв'язку;
- наявність перемінного статистичного резервування, властивого багатолінійним системам масового обслуговування;
- багатотипність використовуваних засобів зв'язку навіть на одному шляху встановлення з'єднання.

У загальному випадку надійність функціонування мережі зв'язку визначається надійністю її елементів, структурою і топологією мережі, а також станом навколишнього середовища. У зв'язку з тим, що функціонально мережа зв'язку розбивається на напрямки зв'язку, кожному з яких може бути властива (задана) своя якість обслуговування заявок, що надходять до нього, надійність функціонування оцінюється окремо для кожного з цих напрямків. Сукупність показників надійності функціонування всіх напрямків зв'язку, характеризує надійність функціонування розглянутої мережі в цілому. Впливає, однак, мати на увазі, що формально незалежна оцінка надійності функціонування різних напрямків зв'язку не означає їх функціональну незалежність. Це обумовлюється тим, що ті самі елементи мережі зв'язку входять у різні напрямки зв'язку.

Як показник надійності функціонування телекомунікаційної мережі і її основних елементів (напрямків зв'язку і гілок, що входять у ці напрямки) приймається ймовірність  $W(t)$  безвідмовного обслуговування заявок, що надходять у мережу.

Для гілки мережі зв'язку, ймовірність безвідмовного обслуговування може бути визначена як

$$W_m(t) = R_m(1 - p_m),$$

де  $R_m$  – ймовірність безвідмовної роботи гілки;  
 $p_m$  – втрати заявок на даній гілці.

Ймовірність безвідмовної роботи  $R$ , що входить у цій вираз і визначає технічний стан утворюючих, наприклад, гілку засобів зв'язку. Величина  $R$  може бути визначена таким чином:

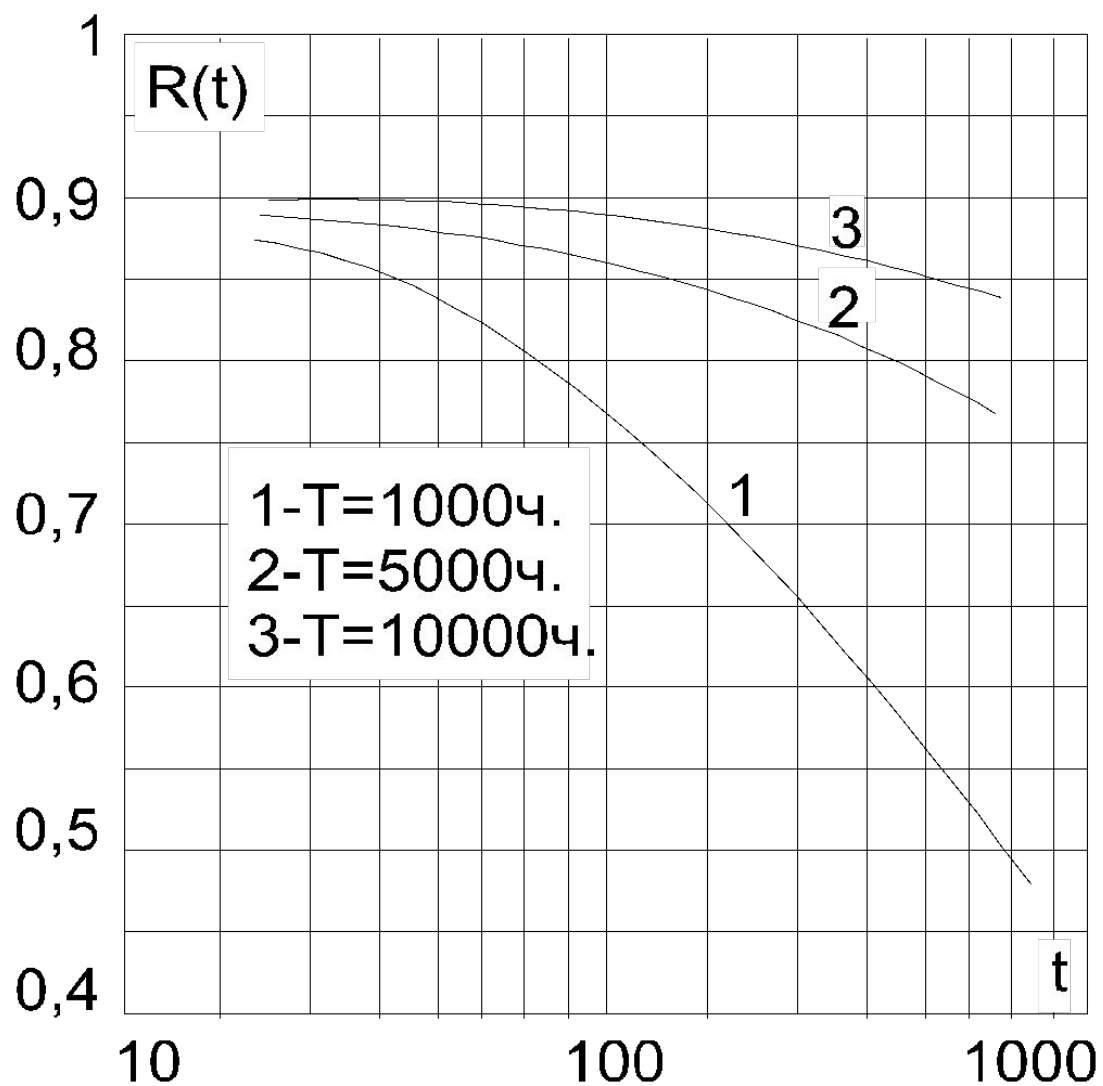
$$R = k_z e^{-t/T},$$

де  $k_z$  – коефіцієнт готовності гілки виконувати належну їй задачу;

$t$  – час виконання цієї задачі;

$T$  – середній час роботи засобів гілки до технічного відмовлення (середній час напрацювання на відмовлення).

Значення параметрів  $k_z$  і  $T$ , як правило, визначаються технічним нормуванням використовуваних засобів зв'язку. Параметр  $t$  у більшості випадків обумовлюється організаційними міркуваннями. Характер залежності  $R(t)$  може визначається розрахунковим шляхом за вищенаведеним виразом. Характер залежності  $R$  від  $t$  при різних значеннях  $T$  ілюструється рисунком.



Маються істотні відмінності в оцінці надійності окремих радіотехнічних пристроїв і елементів телекомунікаційних мереж.

Так для окремих радіотехнічних пристроїв установлюються два технічних стани: "справно" і може виконувати свої функції по прямому призначенню, і "ушкоджено", тобто знаходиться в стані технічного відмовлення і не може виконувати належні для цього пристрою функції.

Телекомунікаційні мережі і їх елементи, що відносяться до класу систем масового обслуговування, можуть знаходитися в трьох станах: "норма", "попередження" і "аварія".

Це обумовлюється поняттям відмовлення системи масового обслуговування (гілки, напрямку зв'язку, телекомунікаційної мережі в цілому), під яким розуміється подія, що полягає в погіршенні якості обслуговування заявок понад нормоване значення. При цьому якість обслуговування визначається не тільки "Ерланговими" втратами, але і технічним станом засобів зв'язку, тобто ймовірністю безвідмовного обслуговування за виразом

$$W_m(t) = R_m (1 - p_m).$$

## 5. Живучість телекомунікаційних мереж

У процесі функціонування мереж зв'язку на них можуть виникати різні екстремальні ситуації, причинами яких є різнорідні зовнішні фактори, наприклад стихійні лиха (землетруси, повені, пожежі і т.п.), вплив агресивного зовнішнього середовища (супротивника, зброї масової поразки). У результаті цього можуть уражатися як окремі елементи, так і цілі ділянки цих мереж. Такі ситуації характеризуються різким зниженням пропускної здатності мереж зв'язку, а також їх структурно-топологічними змінами (аж до розриву зв'язаності), тобто порушенням зв'язку між визначеними пунктами мережі.

Дані про можливості мережі зв'язку по встановленню з'єднань і передачі (хоча б одиничних) повідомлень у зазначених ситуаціях дає характеристика, що дістала назву *живучість мереж зв'язку*.

Під **живучістю мережі зв'язку** розуміється її властивість забезпечувати встановлення з'єднань і передачу повідомлень між підключеними до неї джерелами і споживачами інформації при виході з ладу (в умовах зовнішнього впливу) її елементів або ділянок без нормування якості обслуговування.

Фактори, що визначають живучість мереж зв'язку, можуть бути розділені на дві групи:

- процеси і явища, що викликають вихід з ладу елементів мережі зв'язку;
- міри, прийняті на мережі зв'язку та її властивості, що перешкоджають виникненню чи відмовлень підвищують зв'язаність її структури.

У першу групу факторів входять:

- агресивні прояви навколишнього середовища;
- шкідливий вплив об'єктів і штучних споруджень, розташованих поблизу елементів мережі зв'язку (вплив високих напруг і радіоперешкод, шкідливий вплив навколишнього середовища);
- вплив зброї супротивника;
- недостатня живучість елементів мережі зв'язку.

До другої групи факторів відносяться:

- раціональна побудова структури і топології мережі зв'язку;
- використання високонадійної і живучої апаратури зв'язку і засобів керування зв'язком;
- застосування спеціальних заходів захисту елементів мережі зв'язку.

Виділяють два види живучості мережі зв'язку – структурну і функціональну. Перший вид визначає верхню (теоретично досяжну) межу живучості.

Вважають, що мережа має структурну живучість, якщо можна вважати (з визначеною ймовірністю), що граф мережі, який описує її структуру, залишиться зв'язним після впливу на цю мережу визначених агресивних зовнішніх факторів, тобто якщо в зазначених умовах у кожному напрямку зв'язку зберігається (з визначеною ймовірністю) хоча б один шлях встановлення з'єднань, що забезпечує передачу повідомлень між кінцевими КЦ. Пошук шляху в розглянутому випадку здійснюється за структурою мережі. Цю задачу можна вважати тотожною відомій з теорії графів

У реальній мережі зв'язку не кожний шлях, визначений по її графу, може бути використаний для передачі повідомлень. Це обумовлюється обмеженнями, що накладаються функціональними можливостями засобів зв'язку. Такими обмеженнями можуть бути використання детермінованого процесу пошуку шляхів на комутаційних центрах (як кінцевих, так і транзитних), а також гранично припустиме число переприйомів, встановлене для даного типу систем передачі.

Властивість мережі зв'язку забезпечувати встановлення з'єднань і передачу повідомлень у напрямках зв'язку при ураженнях її елементів і ділянок у результаті зовнішніх впливів, з урахуванням функціональних можливостей засобів зв'язку на цих напрямках, називається функціональною живучістю даної мережі. Саме параметри функціональної живучості враховуються в першу чергу при оцінці можливостей мереж зв'язку.

За показник кількісної оцінки живучості приймається ймовірність виживання (збереження зв'язаності) напрямків зв'язку. Для оцінки структурної живучості – це  $W(G)$ , для оцінки функціональної живучості – це  $W_{ij}(F)$ . Живучість  $W_{ij}^{\mu}(F)$  будь-якого шляху встановлення з'єднань, як сукупності послідовно включених його елементів (комутаційних центрів, гілок), визначається добутком ймовірностей виживання кожного з цих елементів:

$$W_{ij}^{\mu} = \prod_{k=1}^n W_k \prod_{I=1}^L W_I$$

де  $n$  – число КЦ у шляху  $\mu$ ;

$W_k$  – ймовірність виживання  $k$ -го КЦ у заданих умовах;

$L$  – число гілок у шляху  $\mu$ ;

$W_I$  – ймовірність виживання  $i$ -тої гілки в заданих умовах.

При наявності в напрямку зв'язку декількох незалежних шляхів передачі інформації його живучість зберігається, якщо при поразці елементів (чи ділянок) зберігається працездатним хоча б один з цих шляхів:

$$W_{HC} = 1 - \prod_{\zeta=1}^{\chi} (1 - W_{ij}^{\mu(\zeta)})$$

де  $\chi$  – число незалежних шляхів у напрямку зв'язку.

Проаналізуємо вплив довжини і числа шляхів на результуючу живучість напрямків зв'язку при зміні показників живучості елементів мережі.

З метою спрощення аналізу покладемо, що ймовірність виживання комутаційних центрів дорівнює одиниці. Облік цього обмеження при реальних розрахунках може бути легко зроблений шляхом перерахування показників живучості гілок.

- Розглянемо напрямки зв'язку, які складаються з одного шляху передачі інформації, структура яких приведена на рис. 1. З цією метою розрахуємо значення  $W_{H3}$  живучості напрямків зв'язку в залежності від числа  $n$  проміжних КЦ на шляху при зміні показників живучості гілок  $W_{\Gamma}$  у широкому діапазоні від 0 до 1:

$$W_{H3n} = \prod_{i=1}^n W_{\Gamma i}$$

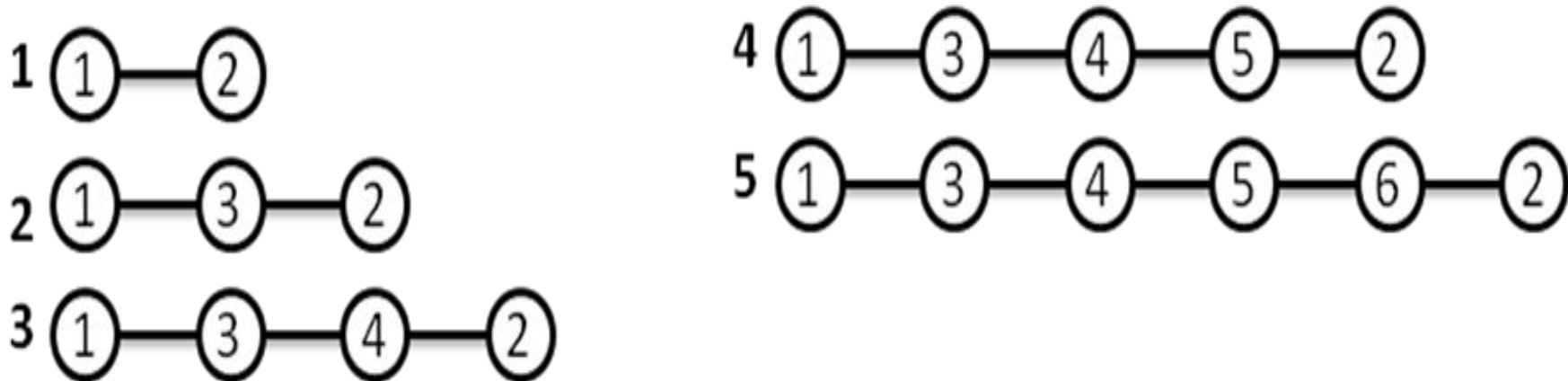


Рис. 1

Графіки даних залежностей представлені на рис. 2. Номер кривої, відповідає номеру напрямку зв'язку на рис. 1.

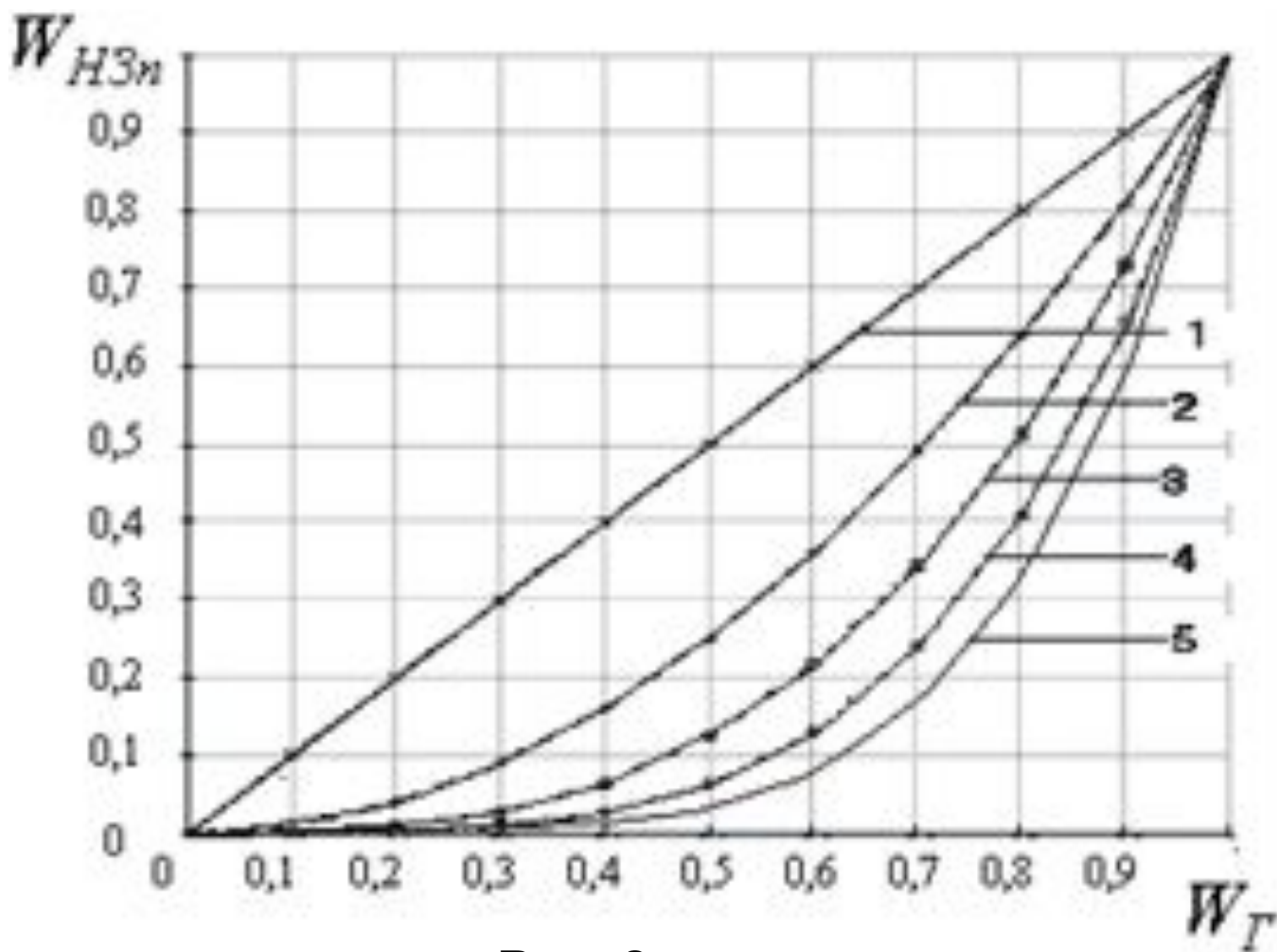


Рис. 2

З метою проведення порівняльної оцінки напрямків зв'язку на рис. 3 представлені графіки залежності абсолютних значень збільшення живучості в залежності від довжини шляху:

$$\Delta W_{H3n} = (W_{H31} - W_{H3n})$$

При цьому, індекс 3.1 говорить про те, що йде порівняння першого і третього напрямків зв'язку.

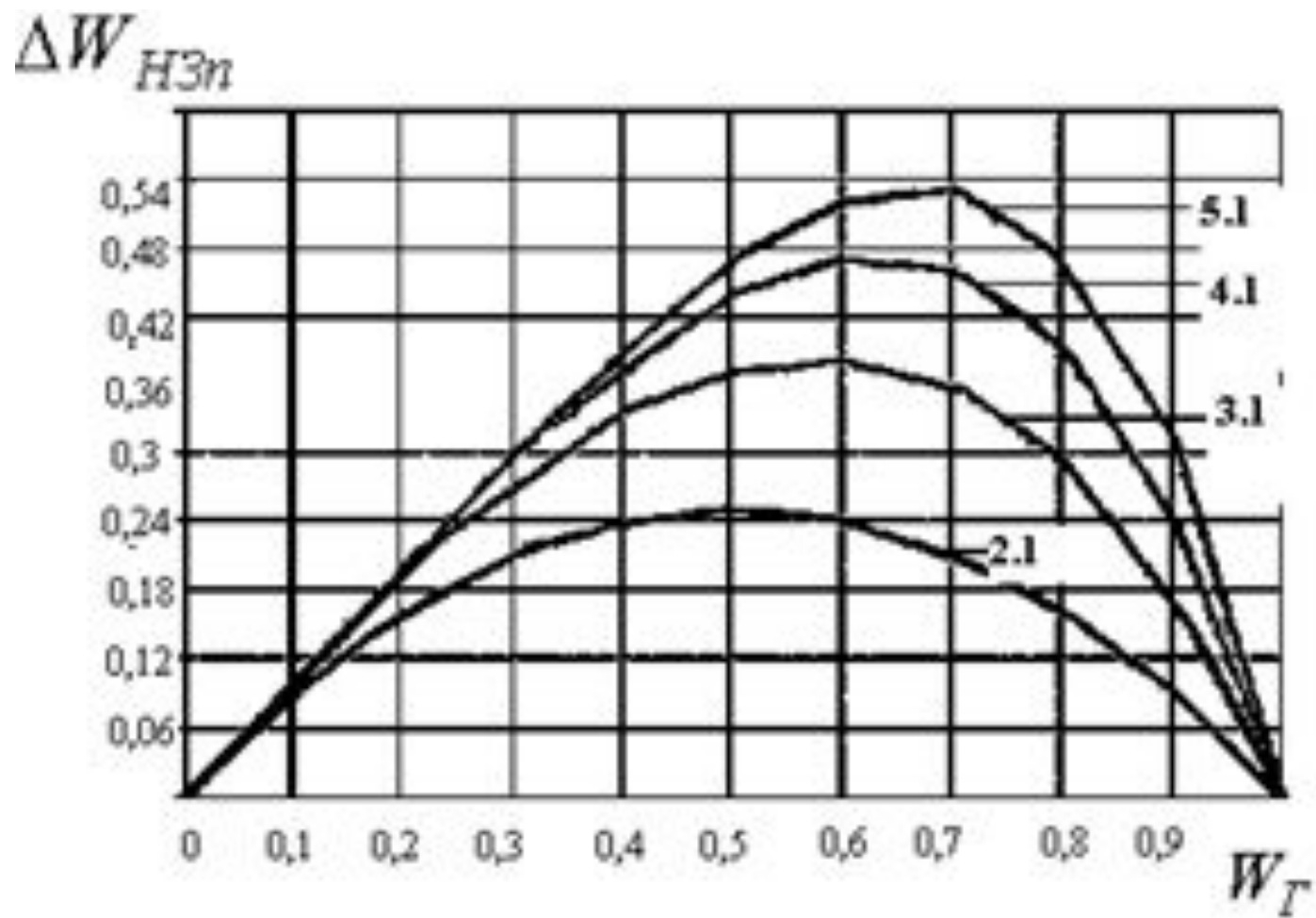


Рис.3

Аналіз отриманих залежностей показує:

- збільшення числа гілок у шляху передачі інформації веде до зниження  $W_{H3}$  його живучості;
- живучість шляху  $W_{H3}$  підвищується зі збільшенням живучості  $W_{\Gamma}$  його гілок;
- найбільш помітна зміна живучості  $W_{H3}$  спостерігається в діапазоні  $W_{\Gamma} = 0,4 \dots 0,85$  значень живучості гілок.

Розглянемо напрямки зв'язку, які складаються з декількох рівнобіжних шляхів передачі інформації, структура яких приведена на рис. 8.7. Приймемо, що показники живучості кожного окремого шляху однакові між собою.

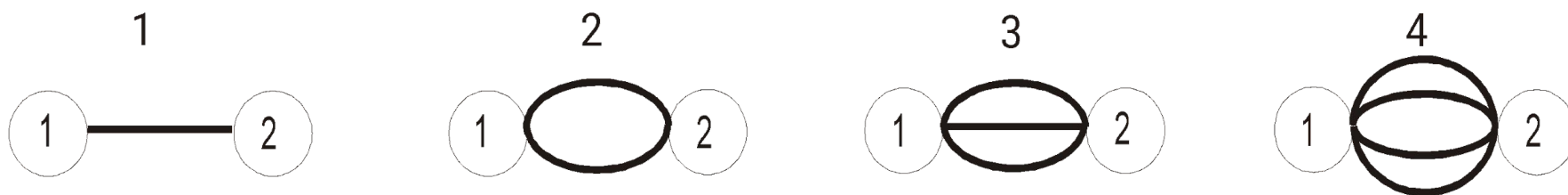


Рис. 4

Оцінка показників живучості може бути зроблена з використанням наступного виразу:

$$W_{H3n}(W_r) = 1 - (1 - W_r)^n.$$

Результати розрахунків представлені на рис. 5. Номера кривих відповідають номерам напрямків зв'язку на рис. 4.

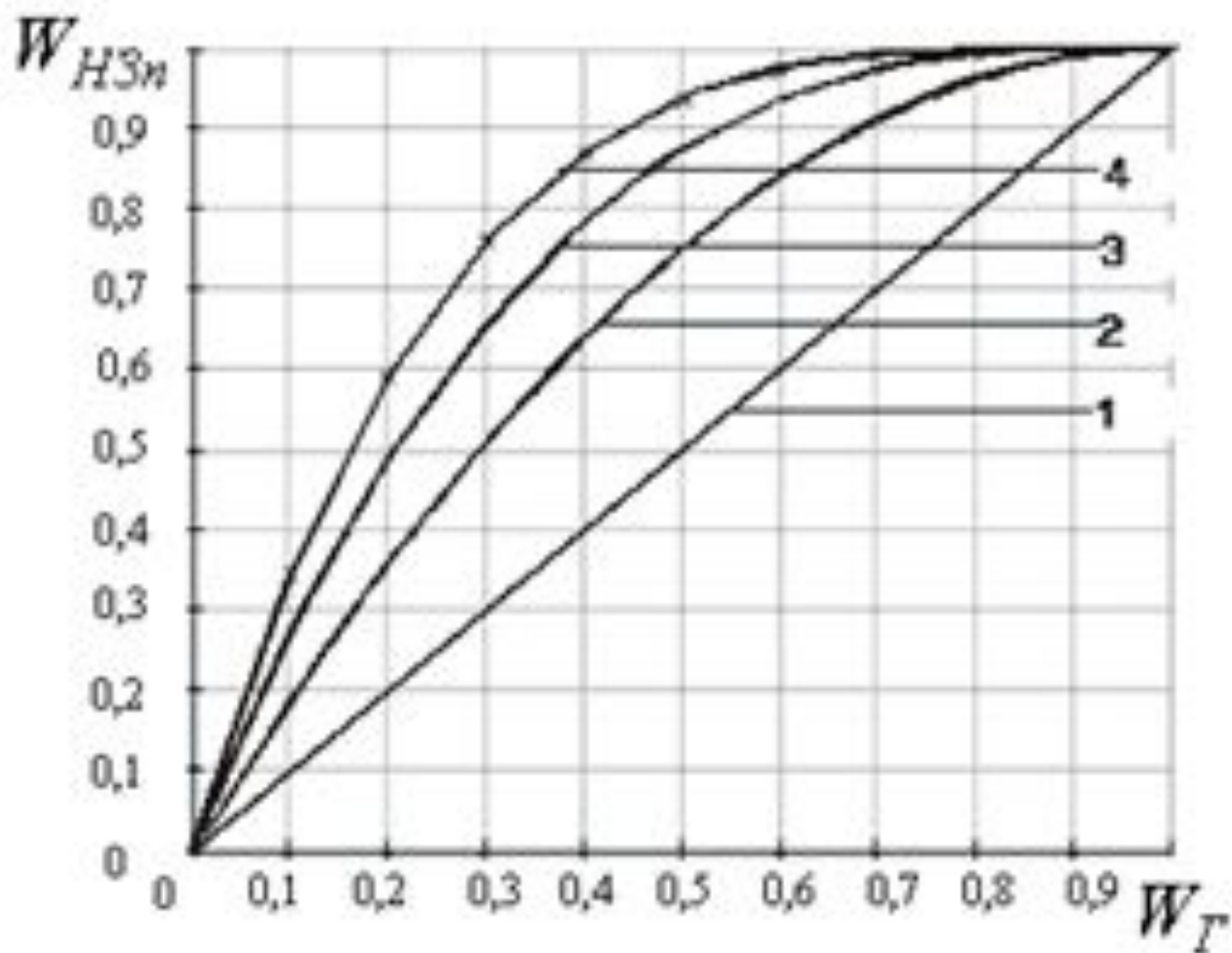


Рис. 5

На рис. 6 представлені графіки залежності абсолютних значень збільшення живучості напрямків зв'язку від числа наявних обхідних шляхів:

$$\Delta W_{H3n} = (W_{H3n} - W_{H31})$$

При цьому, індекс 3.1 говорить про те, що йде порівняння першого і третього напрямків зв'язку.

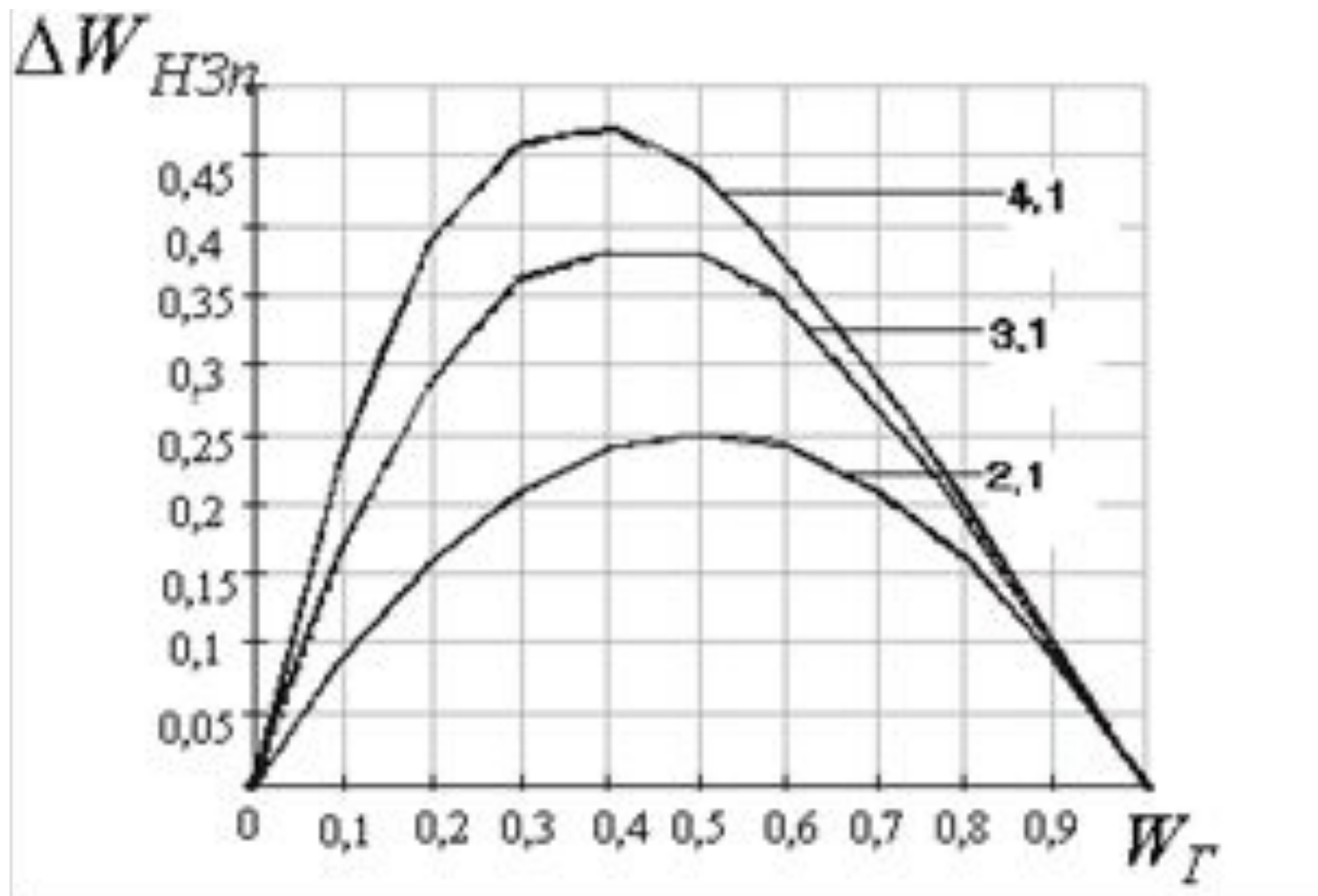


Рис. 6

Аналіз отриманих результатів показує:

- збільшення числа обхідних шляхів веде до підвищення живучості  $W_{H3}$  напрямків зв'язку;
- живучість  $W_{H3}$  напрямків зв'язку підвищується зі збільшенням  $W_{\Gamma}$  живучості складових його гілок;
- істотний вплив на живучість  $W_{H3}$  напрямків зв'язку спостерігається в діапазоні  $W_{\Gamma} = 0,5 \dots 0,75$  значень показників живучості гілок.

Проаналізуємо рівнобіжне включення двох шляхів передачі інформації. При цьому будемо послідовно збільшувати довжину обхідного шляху.

На рис. 7 представлені сім варіантів напрямків зв'язку з різною довжиною обхідного шляху.

Результати розрахунків живучості даних напрямків зв'язку представлені на рис. 8.

На рис. 9 представлені графіки залежності абсолютних значень збільшення живучості напрямку зв'язку від довжини обхідного шляху.

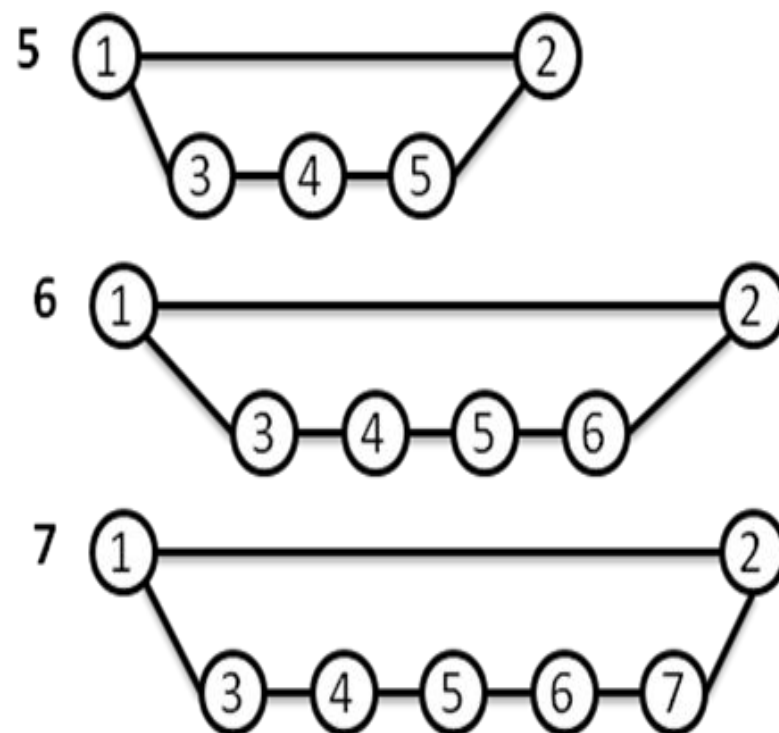
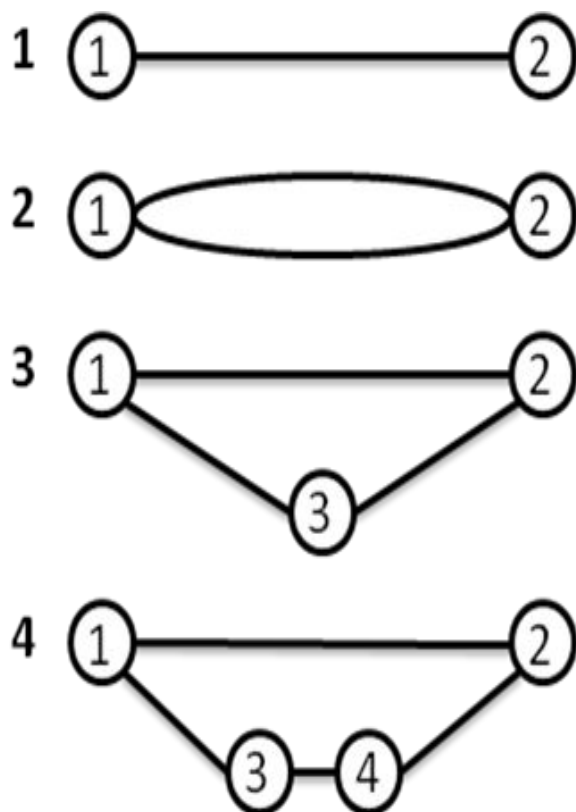


Рис. 7

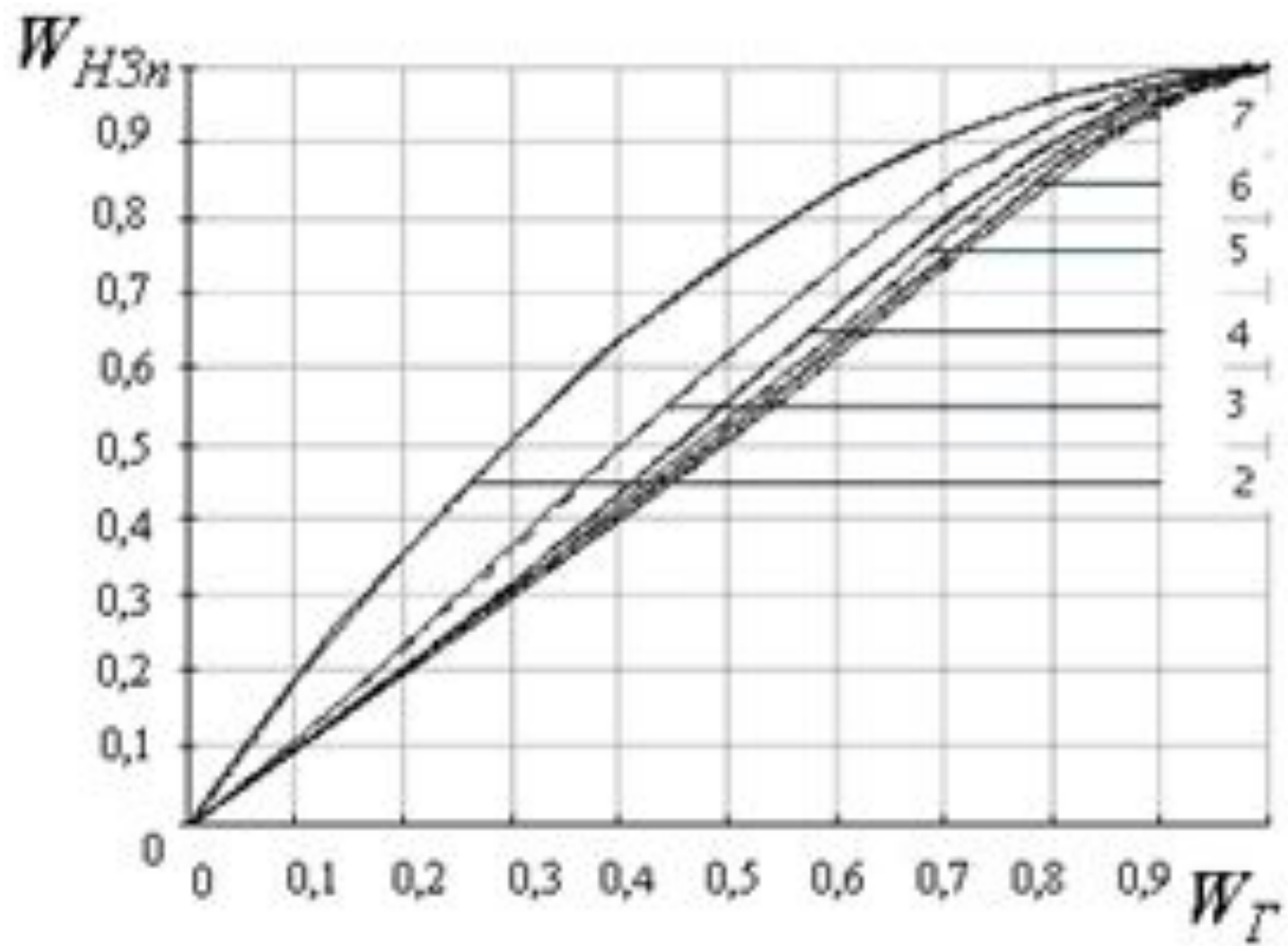


Рис. 8

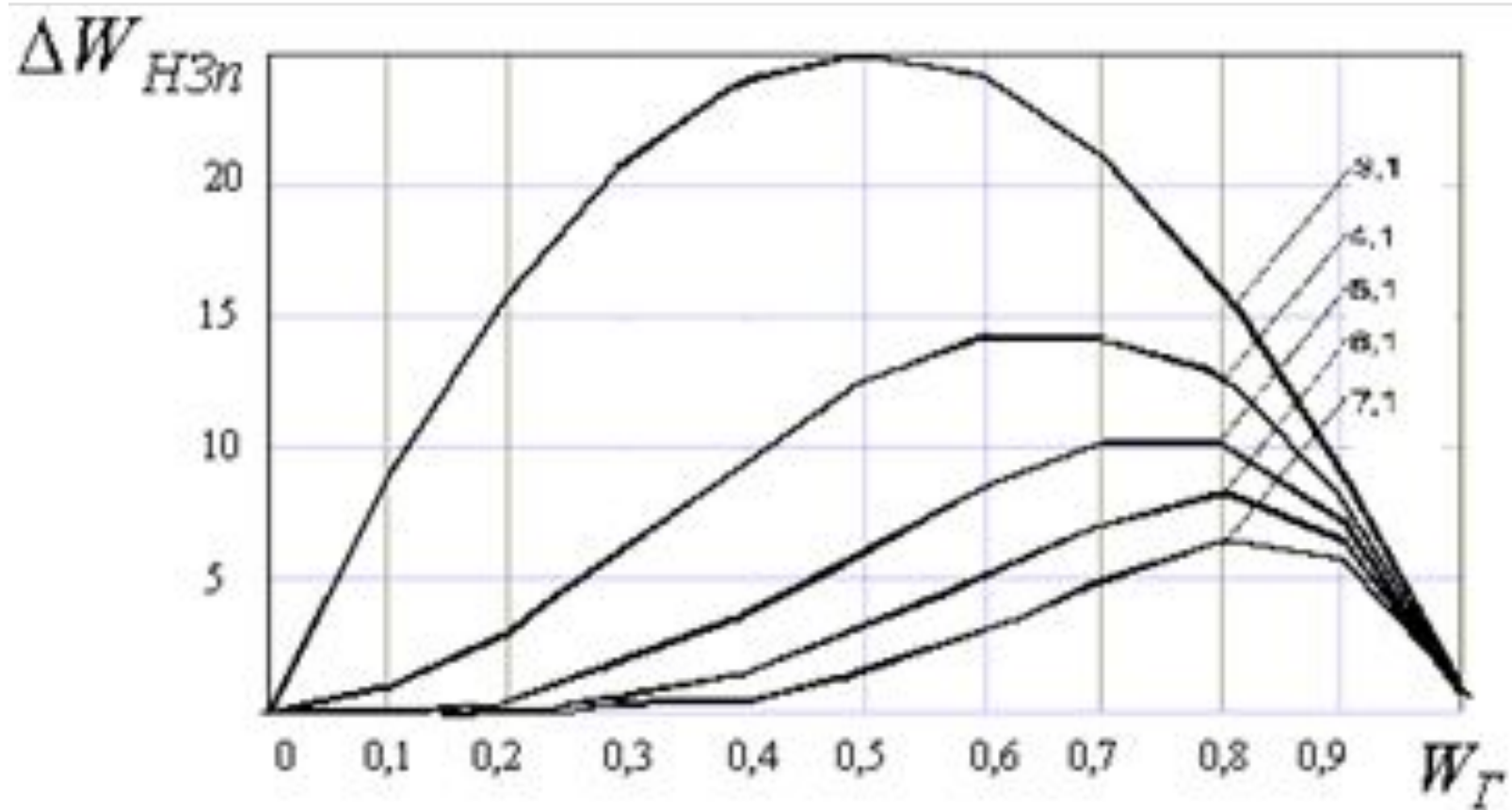


Рис. 9

- Аналіз отриманих результатів показує:
- чім коротше обхідний шлях, тим помітніше збільшення  $W_{H3}$  живучості напрямку зв'язку;
- наявність в обхідному шляху числа КЦ більш двох не дає істотного збільшення  $W_{H3}$  живучості напрямку зв'язку;
- найбільш помітна зміна показника живучості напрямку зв'язку спостерігається в області  $W_{\Gamma} = 0,3 \dots 0,8$ ;
- максимальне відносне збільшення живучості напрямків зв'язку спостерігається в області малих значень показників живучості гілок;
- найбільший ефект дає введення першого обхідного шляху.

У реальних умовах функціонування телекомунікаційних мереж кожен наступний обхідний шлях, як правило, довші попереднього. На рис. 10 представлені чотири структури напрямків зв'язку, що відображають таку тенденцію.

Графіки залежності показників живучості даних напрямків зв'язку від значень показників живучості складових їх гілок представлені на рис. 11, а абсолютні значення збільшень - на рис. 12.

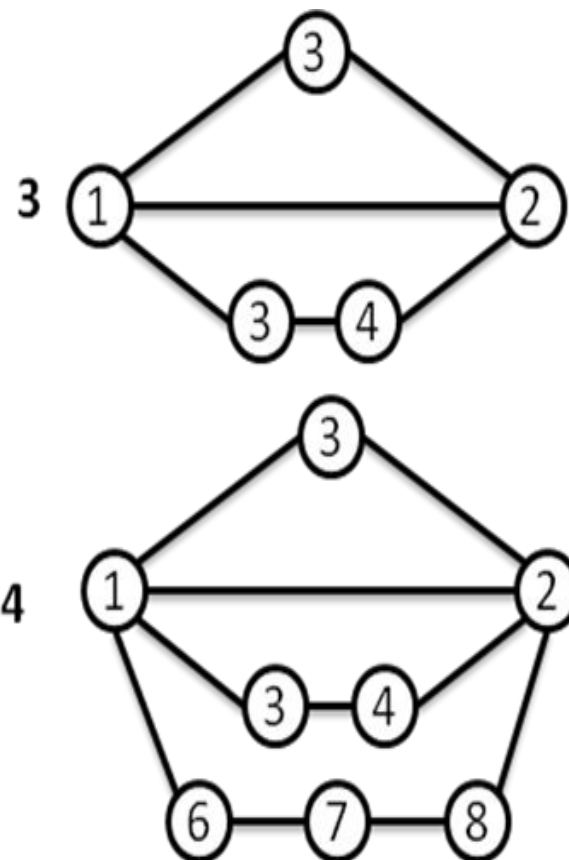
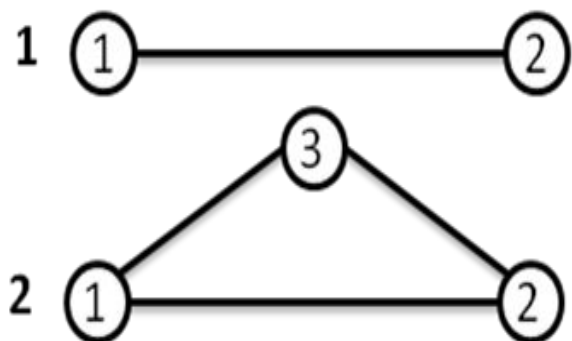


Рис.10

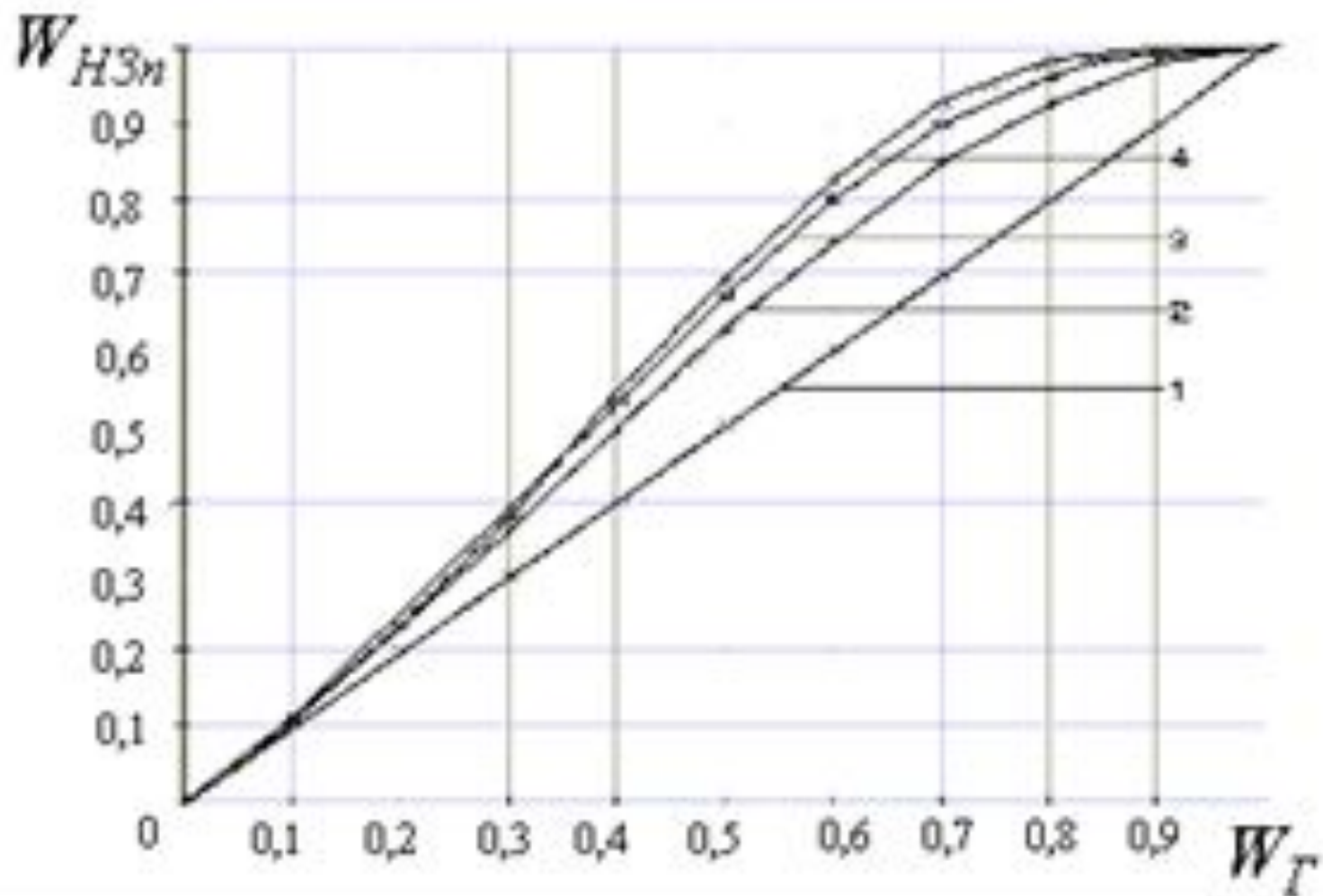


Рис.11

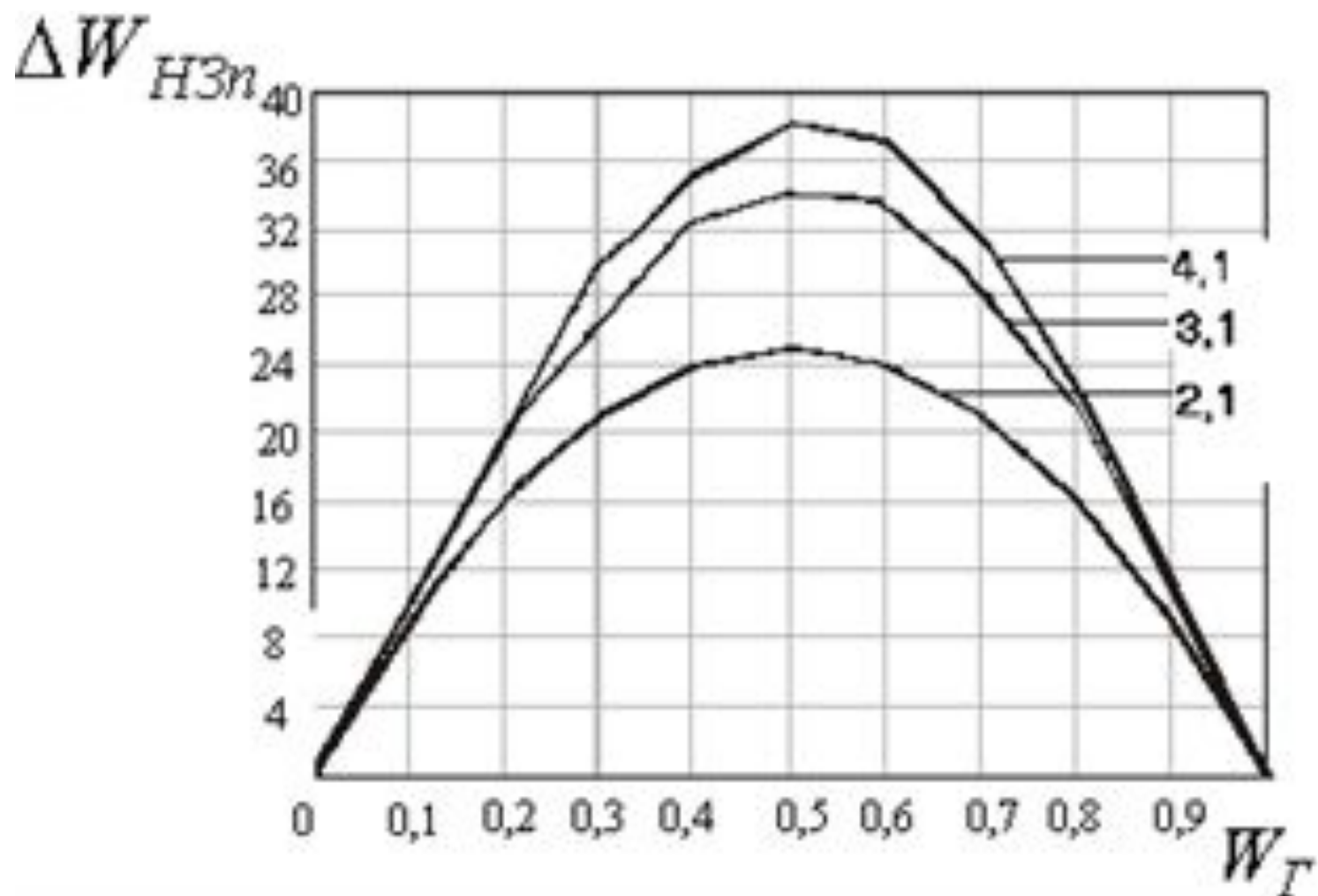


Рис.12

Підводячи підсумки проведеного аналізу показників живучості напрямків можна сформулювати наступні рекомендації:

- збільшення числа обхідних шляхів веде до підвищення живучості напрямків зв'язку;
- найбільший ефект дає введення першого обхідного шляху;
- істотний приріст живучості напрямків зв'язку спостерігається в області  $W_{\Gamma} = 0,5 \dots 0,75$  показників живучості гілок;
- значимість кожного нового шляху, що додається, виявляється нижче попереднього.

Крім того, варто додати, що з погляду живучості телекомунікаційних мереж введення обхідних шляхів більш двох не доцільно.

## 6. Вимоги до цілісності і стійкості функціонування телекомунікаційних мереж

Основні поняття:

- \* Стійкість функціонування єдиної мережі електрозв'язку - здатність мереж електрозв'язку, що входять до складу єдиної мережі електрозв'язку, виконувати свої функції при відмові частини елементів мережі і повертатися в початковий стан;
- \* Цілісність єдиної мережі електрозв'язку - здатність забезпечення взаємодії мереж електрозв'язку, що входять до складу єдиної мережі електрозв'язку, для встановлення з'єднань або сеансів зв'язку між користувачами послугами зв'язку.

## 6.1. Вимоги до цілісності 'диної мережі електрозв'язку

Цілісність єдиної мережі електрозв'язку забезпечується:

- а) сумісністю функцій (далі - функціональна сумісність) вузлів зв'язку;
- б) сумісністю електричних / оптичних параметрів (далі - фізична сумісність) і функціональною сумісністю інтерфейсів точок приєднання;
- в) функціональною і фізичною сумісністю призначеного для користувача (кінцевого) обладнання і інтерфейсів в точках абонентського доступу.

- Функціональна сумісність вузлів зв'язку, а також вузлів зв'язку і призначеного для користувача (кінцевого) обладнання забезпечується виконанням правил застосування відповідних засобів зв'язку і правилами надання послуг зв'язку.
- Фізична сумісність інтерфейсів точок приєднання, інтерфейсів абонентського доступу забезпечується виконанням правил застосування відповідних вузлів зв'язку.

- Функціональна сумісність інтерфейсів точок приєднання до мережі телефонного зв'язку забезпечується виконанням вимог до системи сигналізації по загальному каналу №7 та вимог до сигналізації по двом виділеним сигнальним каналам.
- Функціональна сумісність інтерфейсів точок приєднання до мережі телеграфного зв'язку забезпечується виконанням вимог до системи кодування з використанням міжнародного телеграфного коду № 2.

- Функціональна сумісність інтерфейсів точок приєднання до мережі зв'язку для поширення програм телевізійного мовлення та радіомовлення забезпечується виконанням вимог до європейської системи цифрового телевізійного мовлення DVB.
- Оператори зв'язку, що займають істотне становище в мережі зв'язку загального користування, зобов'язані публікувати в умовах приєднання специфікації використовуваних в точках приєднання інтерфейсів.

Примітка: У міжнародній практиці використовується аббревіатура DVB (Digital Video Broadcasting - Цифрове телевізійне мовлення).

## 6.2. Вимоги до стійкості функціонування єдиної мережі електрозв'язку

Стійкість функціонування мережі електрозв'язку забезпечується виконанням вимог до показників надійності каналів зв'язку, вузлів зв'язку та живучості мережі електрозв'язку.

Надійність каналів / вузлів зв'язку характеризується коефіцієнтом готовності каналу / вузла зв'язку і середнім часом відновлення каналу / вузла зв'язку.

- **Критерієм відмови цифрового каналу зв'язку мережі телефонного зв'язку** зі швидкістю передачі 64 кбіт/с є підвищення коефіцієнта помилок до  $10^{-3}$  і більш в секунду протягом десяти послідовних секунд.

**Критерієм відмови каналу зв'язку мережі передачі даних** є підвищення коефіцієнта помилок до  $10^{-7}$  і більш в секунду протягом десяти послідовних секунд.

**Критерієм відмови вузла зв'язку** є переривання всіх з'єднань або сеансів зв'язку на 10 послідовних секунд і більше, а також неможливість встановлення з'єднань або сеансів зв'язку на вузлі зв'язку протягом 10 послідовних секунд і більше, або вихід з ладу понад 50% задіяної ємності вузла зв'язку протягом 10 послідовних секунд і більше.

- **На мережі міжміського і міжнародного телефонного зв'язку і на мережі зонового телефонного зв'язку** для цифрового каналу зв'язку зі швидкістю передачі 64 кбіт/с коефіцієнт готовності повинен приймати значення не менше 0,998.
- **На мережі місцевого телефонного зв'язку** для цифрового каналу зв'язку зі швидкістю передачі 64 кбіт/с коефіцієнт готовності повинен приймати значення не менше 0,9994.
- **На мережі передачі даних** для каналу зв'язку коефіцієнт готовності повинен приймати значення не менше 0,99.

**Середній час відновлення каналу зв'язку має становити не більше 4,2 години.**

**Для вузла зв'язку повинні забезпечуватися наступні показники надійності:**

коефіцієнт готовності - не менше 0,99995;

середній час відновлення - не більше 0,5 години.

**Імовірність зв'язності між двома точками приєднання до мережі міжміського і міжнародного телефонного зв'язку, розташованих в різних зонах країни, після зовнішнього дестабілізуючого впливу, який рівноймовірно виводить з ладу до 10% вузлів зв'язку та каналів зв'язку мережі міжміського і міжнародного телефонного зв'язку, повинна становити не менше 0,8.**

## Рекомендовані значення показників надійності АТС, (АМТС, УАК):

| Показник                                                                                     | Значення показника |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <u>K</u> <sub>г</sub> , не менше                                                             | 0,999995           |
| <u>T</u> <sub>о</sub> , не менше, г                                                          | 100000             |
| <u>T</u> <sub>в</sub> , не менше, г                                                          | 0,5                |
| Власна середня сумарна тривалість несправного стану одного або групи закінчень, не більше, г | 0.5                |
| Кількість відмов обладнання в рік, не більше                                                 | за Рек. Q.541      |
| Середній термін служби станції, не менше, років                                              | 20                 |

Визначення критеріїв відмови засобів електрозв'язку має виконуватися з урахуванням Рекомендацій МСЕ-Т:

- G.602 - для обладнання кабельних аналогових систем передачі;
- G.821 - для обладнання цифрових систем передачі;
- Q.541 - для АТС (АМТС, ВАК).