

УДК 621.395.74

МЕТОД ФОРМУВАННЯ НИЖНЬОЇ МЕЖІ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

DOI 10.36994/2707-4110-2020-1-28-13

Князева Н.О., д.т.н., проф. Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна. knyazeva@ukr.net

Лисенко Н. О., Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна. Rosenrotta@gmail.com

Анотація. У статті показано, що завдання оцінки надійності інфокомунікаційної мережі (ІКМ) набувають все більшої актуальності як в сфері проектування, так і при експлуатації ІКМ. Надійність залишається однією з вимог до ІКМ, представлених у рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку. ІКМ відносяться до структурних систем, тому особливого значення для ІКМ набувають питання оцінки структурної надійності. Відмічено, що при визначенні структурної надійності ІКМ найбільш застосовуваним є метод, який базується на урахуванні сукупності шляхів і розрізів, при цьому показником структурної надійності мережі вважається ймовірність безвідмовної роботи напрямів зв'язку, які використовуються для передачі інформації в ІКМ. Показано недостатню наукову проробку питання визначення нижньої межі структурної надійності ІКМ, що визначає гарантований рівень структурної надійності як окремих зв'язків, так і мережі в цілому. Запропоновано метод визначення нижньої межі структурної надійності ІКМ на основі формування множини розрізів, ідея якого базується на двійковому кодуванні розрізів, що призводить до чіткої формалізації процедури побудови множини розрізів у диз'юнктивній нормальній формі і в результаті – до практичної можливості застосування запропонованого методу для визначення нижньої межі структурної надійності в сучасних ІКМ. Наведено приклад застосування запропонованого методу, який показав його переваги у порівнянні з відомим методом, що базується на формуванні двоїстої булівської функції множини шляхів, а далі – її перетворення у диз'юнктивну нормальну форму для отримання множини розрізів.

Подальшим розвитком даного напрямку роботи можуть стати:

пошук множини розрізів для оцінки нижньої границі структурної надійності окремих зв'язків і мережі в цілому для мереж із невизначеною топологією;

розробка підходів щодо отримання вагових коефіцієнтів, які визначають важливість нижньої та верхньої меж структурної надійності, а також важливість окремих напрямів зв'язку.

Ключові слова: Інфокомунікаційна мережа, структурна надійність, нижня межа структурної надійності, двійкове кодування розрізів мережі, топологічна матриця.

THE METHOD OF FORMING THE LOWER BOUND OF THE STRUCTURAL RELIABILITY OF THE INFOCOMMUNICATION NETWORK

Nina Kniazieva, Dr. habil., Professor, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine. knyazeva@ukr.net

Natalya Lysenko, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine. Rosenrotta@gmail.com

Abstract. *It is shown in the article, that the tasks of estimation to reliability of infocommunication network (ICN) acquire all greater actuality both in the sphere of planning and during exploitation ICN. Reliability remains one of requirements to ICN, presented in recommendations of the ITU. ICN behave to the structural systems, that is why the special value for ICN acquire the question of estimation of structural reliability. It is marked, that at the calculation of structural reliability ICN most applied is a method that is based on taking into account of totality of ways and cuts, here a structural reliability of network index probability of faultless work of directions of connection, that is used for an information transfer in ICN, is considered. Insufficient scientific of question of determination of lower bound of structural reliability is shown ICN, that determines the assured level of structural reliability of both separate connections and network on the whole. The method for determining the lower bound of the structural reliability of ICN based on the formation of a set of sections is proposed. The idea of the method is based on binary coding of cuts, which leads to a clear formalization of the procedure for constructing a set of cuts in disjunctive normal form and, as a result, to the practical possibility of using the proposed method to determine the lower bound of structural reliability in modern ICN. An example of application of the proposed method is given, which showed the efficiency of the method in comparison with the known method based on the formation of a dual logical function of a set of paths, and then its transformation into a disjunctive normal form to obtain a set of cuts.*

Further development of this area of work can be:

- search for a set of cuts to assess the lower bound of the structural reliability of individual links and the network as a whole for networks with an uncertain topology;*
- development of approaches to obtaining weighting factors that determine the importance of the lower and upper boundaries of structural reliability, as well as the importance of individual areas of communication.*

Keywords: *Infocommunication network, structural reliability, lower bound of structural reliability, binary coding of network sections, topological matrix.*

Вступ

Сучасний етап розвитку інфокомунікацій характеризується ускладненням структури інфокомунікаційних мереж (ІКМ), розширенням типів надаваних сервісів, зростанням обсягів трафіку, що передається. Тому завдання оцінки надійності ІКМ набувають все більшої актуальності як в сфері проектування, так і при експлуатації ІКМ. Надійність залишається однією із вимог до ІКМ, представлених у рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Т). Так, згідно з Рекомендацією МСЕ-Т X.120, ТКМ (ІКМ) повинна бути безпечною, надійною та доступною користувачеві у будь-який момент часу [1]. ІКМ

відносяться до структурних систем, тобто особливого значення для ІКМ набувають питання оцінки структурної надійності. Під структурною надійністю розуміють надійність, обумовлену структурою об'єкта, що аналізується або проектується. Показником структурної надійності об'єкта є ймовірність його безвідмовної роботи, що розраховується на основі даних, які визначають структуру об'єкта. Для ІКМ при розгляді структурної надійності враховується топологія мережі, міжкомпонентні зв'язки та характеристики надійності компонентів, а саме – характеристики надійності ділянок мережі, що застосовуються для організації шляхів передачі інформації. Структурну надійність ІКМ можна оцінювати при деяких припущеннях, які дозволяють спростити завдання оцінки й звести його до завдання аналізу зв'язності ІКМ [2- 4].

Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналіз досліджень та публікацій

Основа методів аналізу структурної надійності мереж визначеної структури була надана в 50-60-х роках ХХ сторіччя у працях Шеннона, Гнеденко, Ушакова та інших науковців. В теперішній час оцінка структурної надійності ІКМ може здійснюватися різними методами – прямого перебору, структурних перетворень, розкладання відносно особливого елемента (метод Шеннона-Мура), приблизної двосторонньої оцінки (з використанням низки відомих оцінок), статистичного моделювання станів елементів та його аналітичних модифікацій, логіко-імовірнісний метод тощо [2-5]. Слід відзначити, що особливої уваги заслуговує метод розрахунку структурної надійності ІКМ за сукупністю шляхів та розрізів, тому що найбільш важливим показником структурної надійності ІКМ вважається ймовірність безвідмовної роботи напрямів зв'язку, які використовуються для передачі інформації в ІКМ. Саме на підставі визначення ймовірності безвідмовної роботи окремих напрямів зв'язку здійснюється оцінка структурної надійності ІКМ в цілому [2, 5].

Оцінка структурної надійності окремих зв'язків, а також ІКМ в цілому за сукупністю шляхів та розрізів потребує використання ефективних методів формування множини шляхів і поділяючих їх розрізів. Слід відзначити, що питанням формування множини шляхів між заданою парою пунктів мережі присвячена низка наукових робіт. Застосування розроблених методів пошуку множини шляхів дозволяє визначити верхню межу структурної надійності ІКМ, тобто максимально досягну оцінку. Мінімальний рівень структурної надійності ІКМ визначається нижньою межею, яку слід розраховувати із застосуванням множини розрізів, поділяючих застосовувану множину шляхів. Необхідно відмітити, що отримання нижньої межі структурної надійності ІКМ – вельми важливе завдання, тому що саме нижня межа являє собою гарантований рівень структурної надійності ІКМ. Якщо цей рівень відповідає необхідному заданому значенню, це надає можливість забезпечення гарантованого сталого функціонування ІКМ. Однак слід відмітити ще недостатню наукову проробку питання визначення нижньої межі структурної надійності ІКМ. Тому

розробка та удосконалення методів визначення множини розрізів, поділяючих застосовувану множину шляхів в ІКМ, являє актуальне завдання.

Мета статті.

Метою статті є розробка методу пошуку множини розрізів, поділяючих застосовувану множину шляхів в ІКМ, для визначення нижньої межі структурної надійності ІКМ, тобто гарантованого рівня структурної надійності ІКМ.

Постановка задачі

Структура мережі задається традиційною графовою моделлю, яка являє собою мережу у вигляді множини вузлів (вершин) \mathbf{N} , що моделюють пункти мережі, $|\mathbf{N}| = n$, та множини гілок (ділянок мережі) \mathbf{L} , що моделюють прямі зв'язки, які сполучають пари вузлів, $|\mathbf{L}| = L$. Розглядається будь-яка зв'язна мережа – неорієнтовна, орієнтовна, змішаної структури. Зв'язність між парами вузлів забезпечується шляхами у вигляді послідовностей гілок без циклів та петель (маршрути в графі). В якості показника верхньої межі структурної надійності мережі застосовується ймовірність наявності зв'язку (ймовірність безвідмовної роботи хоча б одного шляху із множини маршрутів, які утворюють зв'язок даного напрямку) у деякий проміжок часу, що визначається ймовірністю безвідмовного функціонування гілок у складі шляхів. Як показник нижньої межі структурної надійності мережі застосовується ймовірність безвідмовної роботи множини розрізів, що розділяють множину шляхів даного напрямку у деякий проміжок часу, що визначається ймовірністю безвідмовного функціонування гілок у складі розрізів.

Необхідно представити метод формування нижньої межі структурної надійності мережі, тобто оцінки, що визначає гарантований рівень структурної надійності ІКМ, який, на відміну від відомих методів, не потребує виконання трудомістких операцій.

Виклад основного матеріалу

У роботах [2, 5] надано метод визначення показника структурної надійності мереж зв'язку, який базується на формуванні верхньої межі P_{BMCH} та нижньої межі P_{HMCH} структурної надійності мережі, що надає можливість визначити результуючу оцінку – показник структурної надійності усїєї мережі – $P_{ПCH}$ як ймовірність виконувати мережею свої функції – здійснювати зв'язок у відповідності з вимогами на надання сервісів. Показано, що для кожної пари вузлів (пунктів) – зв'язку $(s-t)$ – визначається множина M_{st} припустимих шляхів, що надає можливість розрахунку верхньої межі структурної надійності P_{BMCHst} як ймовірності безвідмовної роботи хоча б одного шляху μ_{st}^k множини шляхів M_{st} обслуговування заявки (1):

$$P_{BMCH\ st} = 1 - \prod_{\mu_{st}^k \in M_{st}} (1 - \prod_{a_i \in \mu_{st}^k} p_i(t)), \quad (1)$$

де a_i – ділянка шляху μ_{st}^k ; (k – число шляхів множини M_{st}); $p_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи ділянки a_i в проміжок часу t .

Запропоновано шляхи множини M_{st} представляти у диз'юнктивній нормальній формі (ДНФ), де кожному терму відповідає шлях, а ранг терму визначається рангом шляху. На основі отриманої множини шляхів M_{st} формується множина поділяючих їх розрізів σ_{st} , які також слід представляти у ДНФ, де кожному терму відповідає розріз, а ранг терму визначається рангом розрізу. Для формування множини σ_{st} у ДНФ необхідно одержати двоїсту булівську функцію множини M_{st} – замінити в M_{st} усі операції диз'юнкції на операції кон'юнкції, а операції кон'юнкції на операції диз'юнкції. У результаті формується кон'юнктивна нормальна форма (КНФ). Після перетворення КНФ (розкриття дужок на основі законів алгебри логіки) одержується множина σ_{st} у ДНФ [5].

Слід відмітити, що отримання множини розрізів на основі побудови двоїстої булівської функції множини M_{st} , а далі – її перетворення у ДНФ при застосуванні для ІКМ великої розмірності навіть при використанні шляхів, ранг яких не перевищує, скажімо, трьох-чотирьох, – являє собою занадто трудомістке завдання, особливо вважаючи на те, що усі перетворення здійснюються на підставі застосування законів та тотожностей алгебри логіки.

У даній роботі запропоновано метод формування множини розрізів, ідея якого базується на двійковому кодуванні розрізів [6], що призводить до чіткої формалізації процедури побудови множини розрізів у ДНФ та в результаті – до практичної можливості застосування запропонованого підходу для вирішення задачі визначення нижньої межі структурної надійності в сучасних ІКМ.

Кодування розрізів здійснюється зображенням їх у вигляді n -розрядного двійкового коду (n – кількість пунктів мережі), у якому кожному пункту відповідає свій розряд у послідовності 1, 2, 3, ..., n . При цьому будемо вважати, що джерелу (пункту s) відповідає одиничний символ в коді розрізу (в розряді s), а стоку (пункту t) відповідає нульовий символ в коді розрізу (в розряді t). (Двійкові коди розрізів формуються, наприклад, організацією n -розрядного лічильника).

Для визначення множини розрізів σ_{st} в ДНФ запропоновано формування топологічної матриці B .

Топологічна матриця B – це квадратна матриця розміру n , в якій у кожному i -му рядку записані ідентифікатори усіх гілок, що виходять з i -го пункту, а у кожному i -му стовпці записані ідентифікатори усіх гілок, що входять до i -го пункту. Відмітимо, що кожному i -му пункту відповідає i -й рядок та i -й стовпчик. Визначено наступне правило побудови матриці B :

Елемент матриці $b_{ij} = 1$, якщо між пунктами i та j немає прямого зв'язку, тобто гілка (ij) відсутня в мережі; крім того, $b_{ii} = 1$; $i, j = \overline{1, n}$, n – число пунктів мережі;

$b_{ij} = x$, якщо гілка (ij) існує в мережі. Тут x – ідентифікатор, який призначається гілці b_{ij} , що зв'язує пункти i та j . Так, для мережі, граф якої представлений на рис.1, матриця B подана у табл. 1.

Таблиця 1
Топологічна матриця B

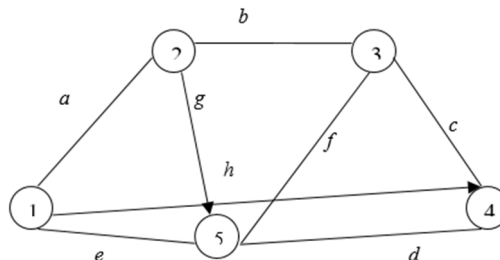
$$B = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a & 1 & h & e \\ a & 1 & b & 1 & g \\ 1 & b & 1 & c & f \\ 1 & 1 & c & 1 & d \\ e & 1 & f & d & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$


Рис. 1. Граф мережі

Перелік гілок (ділянок мережі), що входять у будь-який розріз δ_{st}^y ($y = \overline{1, Y}$, Y – кількість розрізів, що розділяють множину шляхів M_{st}), легко одержати з топологічної матриці B та коду цього розрізу, а саме:

1) фіксуються усі номери розрядів, що містять «1» у коді розрізу (назвемо їх «множина S »; зрозуміло, що номер $s \in S$);

2) фіксуються усі інші розряди, що містять «0» у коді розрізу (назвемо їх «множина T »; зрозуміло, що номер $t \in T$);

3) визначення ділянок, що складають розріз δ_{st}^y – виконання операції кон'юнкції елементів матриці B , що знаходяться на перетинанні рядків множини S та стовпців множини T .

При формуванні кон'юнкції елементів (гілок мережі), що складають розріз δ_{st}^y , звичайно слід урахувувати закони повторення та поглинання.

Виходячи із прийнятого правила побудови топологічної матриці B , слід приймати до уваги наступне: якщо в результаті виконаних дій (кон'юнкції відповідних елементів) буде отримана «1», це свідчить про те що в даній

мережі не існує розрізу, який відповідає отриманому в результаті розрахунку двійковому коду. При цьому отриманий результат – «1» не урахується в подальшому при формуванні множини розрізів у ДНФ (така ситуація може виникнути лише для незв'язної мережі).

Послідовно отримуючи двійкові коди, що містять «1» в розряді s і «0» в розряді t , виконуючи дії 1) – 3) – формуючи кон'юнкції відповідних елементів матриці B , отримуємо множину розрізів δ_{st} у ДНФ. Ця множина і є основою для визначення нижньої межі структурної надійності зв'язку $(s-t)$ – P_{HMCHst} , яка представляється ймовірністю безвідмовної роботи усіх розрізів множини δ_{st} за умови їх послідовного включення, при тому, що ділянки кожного розрізу підключені паралельно (2):

$$P_{HMCHst} = \prod_{\delta_{st}^y \in \delta_{st}} (1 - \prod_{a_i \in \delta_{st}^y} (1 - p_i(t))), \quad (2)$$

де a_i – ділянка розрізу δ_{st}^y ($y = \overline{1, Y}$, Y – число розрізів, що розділяють множину шляхів M_{st});

$p_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи ділянки a_i в проміжок часу t .

Як вже відзначалось, верхня межа структурної надійності зв'язку $(s-t)$ – P_{BMCHst} – визначається виразом (1) на підставі урахування множини шляхів M_{st} .

На основі отриманих значень P_{BMCHst} (1) і P_{HMCHst} (2) визначається показник структурної надійності зв'язку $(s-t)$ – $P_{ПЧst}$ як середньозважена величина (3):

$$P_{ПЧst} = P_{BMCHst} w_{BMCH} + P_{HMCHst} w_{HMCH} \quad (3)$$

де w_{BMCH} й w_{HMCH} – вагові коефіцієнти, що обумовлюють важливість показників P_{BMCHst} і P_{HMCHst} для визначення структурної надійності зв'язку $(s-t)$ $P_{ПЧst}$. Ці коефіцієнти доцільно визначати на основі експертних оцінок за умови (4):

$$w_{BMCH} + w_{HMCH} = 1 \quad (4)$$

Якщо умова (4) не дотримується, то розрахунок показника структурної надійності $P_{ПЧst}$ зв'язку $(s-t)$ здійснюється за виразом (5):

$$P_{ПЧst} = \frac{P_{BMCHst} w_{BMCH} + P_{HMCHst} w_{HMCH}}{w_{BMCH} + w_{HMCH}}. \quad (5)$$

Тут w_{BMCH} і w_{HMCH} – вагові коефіцієнти, які задаються у будь-якій бальній системі оцінок (наприклад, 10-и або 100-бальної).

Відзначимо, що для всіх зв'язків $(s-t)$ ($s, t = \overline{1, n}$, n – число пунктів мережі) значення w_{BMCH} й w_{HMCH} однакові, оскільки вони визначають значимість верхньої та нижньої меж структурної живучості, а не значущість зв'язків $(s-t)$.

Розрахунки за виразами (1) – (5) виконуються для всіх пар пунктів мережі, що тяжіють. У результаті для кожної пари пунктів визначається верхня (1), нижня (2) та результуюча ((3) або (5)) оцінки.

Для отримання показника структурної надійності мережі в цілому – $P_{ПСН}$ – формується середньозважена оцінка за виразом (6):

$$P_{ПСН} = \frac{\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n P_{ПСНst} W_{st}}{\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n W_{st}}, \quad (6)$$

тут W_{st} – вагові коефіцієнти, що визначають важливість зв'язків ($s-t$), які задаються в будь-якій бальній системі оцінок (наприклад, 10-и або 100-бальній)

Проілюструємо роботу представленого методу на прикладі мережі, граф якої надано на рис. 1, а топологічна матриця B задана у табл. 1.

Оскільки в графі є п'ять вершин, розрядність коду розрізу дорівнює також п'яти. Будемо нумерувати розряди коду зліва направо. Таким чином, перший розряд двійкового коду відповідає першій вершині, другий розряд – другій вершині й т.д. Нагадаємо, що одиниці в коді розрізу відповідають джерелам (вузлам s), нулі – стокам (вузлам t). Крім того, приймемо, що пункту 1 відповідають рядок 1 та стовпчик 1 матриці B , пункту 2 – рядок та стовпчик 2 і т. п.

Будемо вирішувати завдання отримання показників структурної надійності для зв'язку (1-4). При цьому завжди вважається, що значення ймовірностей безвідмовної роботи гілок мережі (ділянок розрізів) відомі, чи можуть бути розраховані.

Нагадаємо, що для даного прикладу слід фіксувати лише ті двійкові коди, які містять «1» у розряді 1 та «0» – у розряді 4.

Код розрізу: 10000; цьому коду відповідають наступні елементи матриці B : b_{12} , b_{13} , b_{14} , b_{15} . Виконуючи операцію кон'юнкції цих елементів, отримуємо розріз, що відповідає коду 10000, а саме – *ahе*.

Наступний код розрізу: 10001; цьому коду відповідають такі елементи матриці B : b_{12} , b_{13} , b_{14} , b_{52} , b_{53} , b_{54} . Виконуючи операцію кон'юнкції цих елементів матриці B , отримуємо розріз, що відповідає коду 10001, а саме – *ahfd*.

Наступний код розрізу: 10100; цьому коду відповідають такі елементи матриці B : b_{12} , b_{14} , b_{15} , b_{32} , b_{34} , b_{35} . Отримуємо розріз, що відповідає коду 10100, а саме – *ahеbcf*. Цей розріз не включається в множину δ_{14} на основі закону поглинання (в даному випадку терм *ahеbcf* поглинається термом *ahе*).

Наступний код розрізу: 10101; цьому коду відповідають такі елементи матриці B : b_{12} , b_{14} , b_{32} , b_{34} , b_{52} , b_{54} . Отримуємо розріз, що відповідає коду 10101, а саме – *ahbcd*.

Послідовно формуючи двійкові коди, які містять «1» у розряді 1 та «0» – у розряді 4, виконуючи операцію кон'юнкції відповідних елементів матриці B (з урахуванням законів алгебри логіки) отримаємо множину розрізів δ_{14} у ДНФ (7):

$$\delta_{14} = aeh + cdh + adfh + behg + bdfh + cefhg \quad (7)$$

Застосовуючи вираз (2), на основі отриманої множини розрізів δ_{14} (7), виконаємо розрахунок нижньої межі структурної надійності зв'язку (1-4) мережі (рис. 1).

$$P_{НМСН14} = (1 - (1 - p_a)(1 - p_e)(1 - p_h))(1 - (1 - p_c)(1 - p_d)(1 - p_h)) \cdot \\ \cdot (1 - (1 - p_a)(1 - p_d)(1 - p_f)(1 - p_h))(1 - (1 - p_b)(1 - p_e)(1 - p_h)(1 - p_g)) \cdot \\ \cdot (1 - (1 - p_b)(1 - p_d)(1 - p_f)(1 - p_h))(1 - (1 - p_c)(1 - p_e)(1 - p_f)(1 - p_h)(1 - p_g)) \quad (8)$$

Множину шляхів M_{14} можна знайти одним з відомих методів, наприклад, побудовою дерева шляхів:

$$M_{14} = h + ed + abc + agd + efc + abfd + agfc.$$

Використовуючи вираз (1), отримаємо верхню межу структурної надійності зв'язку (9):

$$P_{ВМСН14} = (1 - (1 - p_h)(1 - p_e p_d)(1 - p_a p_b p_c)(1 - p_a p_g p_d)(1 - p_e p_f p_c)) \cdot \\ \cdot (1 - p_a p_b p_f p_d)(1 - p_a p_g p_f p_c)) \quad (9)$$

У виразах (8) та (9) p_a, p_b, \dots – це значення ймовірностей безвідмовної роботи гілок a, b, \dots мережі (ділянок розрізів, шляхів) в проміжок часу t , які вважаються відомими.

Надалі застосування виразів (3) – (6) надає можливість отримання показників структурної надійності як окремих зв'язків, так і мережі в цілому.

Таким чином, для отримання нижньої межі структурної надійності окремих зв'язків формування множини розрізів здійснюється послідовністю простих арифметичних (лічильник) та логічних (кон'юнкція, диз'юнкція) операцій, що забезпечує запропонованому методу обчислювальні переваги у порівнянні з відомим методом, що базується на формуванні двоїстої булівської функції множини шляхів, а ділі – її перетворення у ДНФ.

Висновок

Підсумовуючи викладене, варто відзначити такі результати.

Запропоновано метод визначення нижньої межі структурної надійності ІКМ на основі формування множини розрізів, ідея якого базується на двійковому кодуванні розрізів, що призводить до чіткої формалізації процедури побудови множини розрізів у диз'юнктивній нормальній формі та в результаті – до практичної можливості застосування запропонованого підходу для визначення нижньої межі структурної надійності в сучасних ІКМ, а саме – до визначення гарантованого рівня структурної надійності як окремих зв'язків, так і мережі в цілому. Наведено приклад застосування запропонованого методу, який показав його обчислювальні переваги у порівнянні з відомим методом, що базується на формуванні двоїстої булівської функції множини шляхів, а ділі – її перетворення у ДНФ.

Подальшим розвитком даного напрямку роботи можуть стати:

пошук розрізів для оцінки нижньої межі структурної надійності окремих зв'язків і мережі в цілому для мереж із невизначеною топологією;

розробка підходів щодо отримання вагових коефіцієнтів, які визначають важливість нижньої та верхньої меж структурної надійності, а також важливість окремих напрямів зв'язку.

Література

1. Рекомендации МСЭ-Т - Серия X: Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность, 04/2008.
2. Князева Н.О. Оцінка структурної надійності телекомунікаційної мережі / Н.О. Князева, О.Л. Ненов // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». — № 688. Комп'ютерні системи та мережі. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. — С. 129–137.
3. Родионов А.С., Родионова О.К. Кумулятивные оценки средней вероятности связности пары вершин случайного графа // Проблемы информатики. 2013. 19. С. 3-12.
4. Youssef M., Khorramzadeh Y., Eubank S. Network reliability: The effect of local network structure on diffusive processes // Physical Review. 2013. E 88(5). Article 052810.
5. Князева Н.О. Управління інтелектуальними сервісами в мережах наступного покоління / Н.О. Князева, С.В.Шестопалов // Одеса: „Бондаренко М.О.”, – 2017. – 268 с.
6. Князева Н.А. Повышение структурной живучести телекоммуникационной сети / Н.А. Князева // International Journal Information models and analyses. – 2013. – V.2, №3. – P. 275-284.

References

1. Rekomendatsii MSE-T - Seriya X: Seti peredachi dannykh, vzaimosvyaz' otkrytykh sistem i bezopasnost', 04/2008.
2. Kniazieva N.O. Otsinka strukturnoyi nadiynosti telekomunikatsiyanoi merezhi / N.O. Knyazyeva, O.L. Nenov // Visnyk natsional'noho universytetu «L'vivs'ka politekhniky». - № 688. Komp'yuterni systemy ta merezhi. - L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi Politekhniky, 2010. - S. 129-137.
3. Rodionov A.S., Rodionova O.K. Kumulyativnyye otsenki sredney veroyatnosti svyaznosti pary vershin sluchaynogo grafa // Problemy informatiki. 2013. 19. С. 3-12.
4. Youssef M., Khorramzadeh Y., Eubank S. Network reliability: The effect of local network structure on diffusive processes // Physical Review. 2013. E 88(5). Article 052810.
5. Kniazieva N. O. Upravlinnya intelecyualnimi servisami v merezhakh nastupnogo pokolinnya / N.O. Kniazieva, S.V. Shestopalov // Odesa: «Bondarenko M.O.», - 2017. – 268 s..
6. Kniazieva N. A. Povishenie strukturnoi zhivuchesti telecommukaciyanoi seti / N.A. Kniazieva // International Journal Information models and analyses. – 2013. – V.2, №3. – P. 275-284.