

Саланда І. П.

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка, Кременець

Сачук Ю. В.

Східноєвропейський національний університет ім. Лесі Українки, Луцьк

МЕТОД СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНИХ ГІПЕРМЕРЕЖ ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМУМУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ

Пропонується метод синтезу структури функціонально стійкої інформаційної мережі. В якості показника функціональної стійкості використовується зв'язність гіпермережі, що характеризує структуру сучасної інформаційної мережі. Такі мережі функціонують під впливом перешкод та завод. Тому увесь час зникають та з'являються лінії зв'язку, підключаються та відключаються вузли. В таких умовах мережа має автоматично реструктуруватись, самостійно налаштовуватись та забезпечувати стійке функціонування. Разом з тим, коли більшість вузлів є мобільними, то енергетичні характеристики таких вузлів не є незалежними. Вони можуть зв'язуватись (налагоджувати лінії зв'язку) тільки з найближчими (в межах радіуса дії), а не з усіма вузлами.

Досліджені методи оптимізації мереж, які базуються на підвищенні зв'язності гіпермережі за рахунок додавання нових ребер не завжди виявляються придатними, оскільки змінюється структура вторинної мережі і, відповідно, необхідно перерахувати ємності пучків каналів цієї мережі. Тому виникає завдання підвищення зв'язності гіпермережі за рахунок розпаралелювання ребер вторинної мережі. В цьому випадку структура вторинної мережі залишається незмінною.

У процесі вирішення вказаного завдання удосконалено математичну модель гіпермережі на базі заданих гіперграфів та розроблено метод синтезу на основі евристичного алгоритму, який дає хороші результати на достатньо широкому класі завдань. Вказаний метод дозволяє реалізувати концепцію самоорганізуючих мереж в частині оптимального реструктурування динамічно змінюваної структури мережі з постійним обчисленням показників функціональної стійкості для управління надмірністю. Реалізація запропонованого методу дозволить вирішити питання третього етапу забезпечення функціональної стійкості розгалужених інформаційних систем – відновлення функціонування за рахунок перерозподілу надмірності та реструктуризації мережі за критерієм максимуму зв'язності. Ці процеси мають суттєве значення для інформаційних мереж, що повинні функціонувати протягом тривалого часу в автономному режимі без фізичного втручання обслуговуючого персоналу.

***Ключові слова:** інформаційна мережа, зв'язність, методи оптимізації, надмірність, гіпермережа, функціональна стійкість.*

Salanda I. P.

Kremenets Regional Humanities and Pedagogical Academy named after Taras Shevchenko, Kremenets

Sachuk Yu. V.

Lesya Ukrainka Eastern European National University, Lutsk

METHOD OF SYNTHESIS OF OPTIMAL HYPERNETS BY MAXIMUM FUNCTIONAL STABILITY CRITERION

The method of synthesis of structure of functionally stable information network is offered. Functional sustainability is the hyperconnectivity that characterizes the structure of a modern information network. Such

networks operate under the influence of interference. That is why communication lines disappear and connect, nodes connect and disconnect. In such circumstances, the network should be automatically restructured, self-configured and maintained in a sustainable manner. However, when most nodes are mobile, the energy performance of such nodes is not independent. They can only connect (establish communication lines) to the closest ones (within range) and not to all nodes.

The network optimization techniques explored based on increasing hyperconnectivity by adding new edges are not always suitable because the structure of the secondary network is changing and the beam capacities of this network need to be recalculated accordingly. Therefore, the challenge is to increase hyperconnectivity by parallelizing the edges of the secondary network. In this case, the structure of the secondary network remains unchanged.

In the process of solving this problem, a mathematical model of hypernet based on given hypergraphs was improved and a method of synthesis based on a heuristic algorithm was developed, which produces good results on a sufficiently wide class of problems. This method allows to realize the concept of self-organizing networks in the part of optimal restructuring of the dynamically changing network structure with constant calculation of the indicators of functional stability for redundancy management. Implementation of the proposed method will resolve the issue of the third stage of ensuring the functional stability of branched information systems - restoration of functioning due to redundancy redistribution and network restructuring by the criterion of maximum connectivity. These processes are essential for information networks that must function for a long time offline without the physical intervention of the operating staff.

Keywords: *information network, connectivity, optimization methods, redundancy, hypernet, functional stability.*

Саланда И. П.

Кременецкая областная гуманитарно-педагогическая академия им. Тараса Шевченко, Кременец

Сачук Ю. В.

Восточноевропейский национальный университет им. Леси Украинки, Луцк

МЕТОД СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ ГИПЕРСЕТЕЙ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМУ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Предлагается метод синтеза структуры функционально устойчивой информационной сети. В качестве показателя функциональной устойчивости используется связность гиперсеть, характеризующий структуру современной информационной сети. Такие сети функционируют под воздействием помех и помех. Поэтому все время исчезают и появляются линии связи, подключаются и отключаются узлы. В таких условиях сети нужно автоматически реструктурироваться, самостоятельно настраиваться и обеспечивать устойчивое функционирование. Вместе с тем, когда большинство узлов являются мобильными, то энергетические характеристики таких узлов не являются независимыми. Они могут связываться (налаживать линии связи) только с самыми близкими (в пределах радиуса действия), а не со всеми узлами.

Исследованные методы оптимизации сетей, базирующиеся на повышении связности гиперсети за счет добавления новых ребер, не всегда оказываются пригодными, поскольку меняется структура вторичной сети и, соответственно, необходимо пересчитать емкости пучков каналов сети. Поэтому возникает задача повышения связности гиперсети за счет распараллеливания ребер вторичной сети. В этом случае структура вторичной сети остается неизменной.

В процессе решения указанной задачи усовершенствована математическая модель гиперсети на базе заданных гиперграфов и разработан метод синтеза на основе эвристического алгоритма, который дает хорошие результаты на достаточно широком классе задач. Указанный метод позволяет реализовать концепцию самоорганизующихся сетей в части оптимального реструктурирования динамично меняющейся структуры сети с постоянным вычислением

показателів функціональної устойчивості для управління избыточностью. Реализация предложенного метода позволит решить вопрос третьего этапа обеспечения функциональной устойчивости разветвленных информационных систем - восстановление функционирования за счет перераспределения избыточности и реструктуризации сети по критерию максимума связности. Эти процессы имеют существенное значение для информационных сетей, которые должны функционировать в течение длительного времени в автономном режиме без физического вмешательства обслуживающего персонала.

Ключевые слова: информационная сеть, связность, методы оптимизации, избыточность, гиперсеть, функциональная устойчивость.

Вступ. Головною вимогою до інформаційних мереж є виконання мережею її основної функції – забезпечення абонентів мережі потенційною можливістю доступу до розподілених інформаційних ресурсів. Всі інші вимоги – продуктивність, надійність, точність, сумісність, керованість, живучість, розширюваність і масштабованість – пов'язані з якістю виконання цього основного завдання.

У цьому плані особливий інтерес становить побудова функціонально-стійких мереж, які дозволяють вирішувати поставлені завдання під впливом потоків експлуатаційних відмов і пошкоджень, умисного втручання в обмін і обробку інформації, а також при помилках обслуговуючого персоналу [1]. Фактично функціональна стійкість складної технічної системи тісно пов'язана з надійністю, стійкістю до відмов, живучістю і характеризує здатність об'єкта до відновлення функціонування за рахунок використання надмірності. Для вирішення проблеми раціонального введення надмірності і вирішується завдання синтезу оптимальної структури [2].

Постановка завдання. Завдання синтезу оптимальних структур гіпермереж допускають застосування традиційних оптимізаційних методів: лінійного і динамічного програмування [3]. Оскільки ці методи погано враховують структурні особливості виникаючих завдань, в більшості випадків вони виявляються недостатньо ефективними, і тому в даній роботі не розглядаються, а основна увага приділяється методам теорії графів і споріднених дисциплін (теорія гіпермереж, потоки в мережах та ін.) [4].

У загальному вигляді завдання синтезу структури оптимальної гіпермережі $S=(X, V, R)$ формулюється наступним чином. Нехай задані графи первинної мережі $PS=(X, V)$ і вторинної $WS=(Y, R)$, а також параметри елементів PS і WS : вага вершин, гілок, ребер, довжина гілок і т.д. Потрібно знайти гіпермережу S таку, щоб деяка цільова функція, яку описують показники функціональної стійкості, набула оптимального значення при деяких обмеженнях на структуру гіпермережі.

Аналіз досліджень і публікацій. Підвищення ефективності функціонування інформаційних мереж є важливим науковим завданням. Вирішенню цього завдання присвячено багато наукових робіт. Однак, на наш погляд, основна увага в них приділяється вирішенню часткових завдань, а саме – побудови резервованих інформаційно-керуючих мереж [5], відмовостійких обчислювальних мереж [6], адаптивних систем управління [7].

Існуючі методи оптимізації мереж, які базуються на підвищенні зв'язності гіпермережі за рахунок додавання нових ребер не завжди виявляються придатними, так як змінюється структура вторинної мережі і, відповідно, необхідно перерахувати ємності пучків каналів цієї мережі.

Тому виникає завдання підвищення зв'язності гіпермережі за рахунок розпаралелювання ребер вторинної мережі. В цьому випадку структура вторинної мережі залишається незмінною.

Метою дослідження є розробка методу синтезу оптимальної структури гіпермереж за критерієм максимуму функціональної стійкості.

Результати дослідження.

Математичною моделлю сучасної інформаційної мережі, яка дає можливість описати мережеві процеси, а саме процеси реструктуризації та самоналаштування в умовах підключення нових вузлів та їх зникнення, є гіпермережа [8].

Абстрактна гіпермережа, як математична модель структур інформаційних мереж є універсальною, так як з її допомогою можна описати структури, які складаються з різних типів каналів зв'язку. Принципова відмінність гіпермереж від інших структурних моделей полягає в тому, що в створенні структури беруть участь більше двох твірних множин[9].

Гіпермережеві моделі. Формально абстрактну гіпермережу можна описати шістькою $AS=(X, V, R; P, F, W)$, яка включає наступні об'єкти:

- $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – множина вершин;
- $V=(v_1, v_2, \dots, v_g)$ – множина гілок;
- $R=(r_1, r_2, \dots, r_m)$ – множина ребер;
- $P: V \rightarrow 2^X$ – відображення, яке кожному елементу $v \in V$ ставить у відповідність множину $P(v)$ з X його вершин. Тим самим відображення P визначає гіперграф $PS=(X, V; P)$;
- $F: R \rightarrow 2^V_{PS}$ – відображення, яке кожному елементу $r \in R$ ставить у відповідність

множину $F(r)$ його гілок, причому сімейство підмножин гілок 2^V_{PS} містить такі підмножини, гілки яких складають зв'язну частину гіперграфа PS ; відображення F визначає гіперграф $FS=(V, R; F)$;

- $W: r \rightarrow 2^{P(F(r))} \forall r \in R$ – відображення, яке зіставляє кожному елементу $r \in R$ підмножину $W(r)$ з $P(F(r))$ його вершинами, де $P(F(r))$ – множина вершин в PS , інцидентних гілкам $F(r)$ із V . Таким чином, відображення W визначає гіперграф $WS=(X, R; W)$.

Гіперграф PS назвемо первинною мережею гіпермережі, а гіперграф WS – вторинною. Із визначення абстрактної гіпермережі AS випливає наступне рівносильне визначення, яке в деяких випадках виявляється більш придатнішим.

Нехай задані гіперграфи $PS=(X, V; P)$ і $WS=(Y, R; W)$, тоді відображення $\Phi: WS \rightarrow PS$ визначає абстрактну гіпермережу $AS=(PS, WS; \Phi)$, якщо $Y \subseteq X$ і $\forall r \in R \exists \{v\} \subseteq V: W(r) \subseteq P(\{v\}) \& \{v\}$ утворює зв'язну частину гіперграфа PS .

Звідси випливає, що парі гіперграфів PS і WS можуть відповідати різні абстрактні гіпермережі. В подальшому будемо використовувати різні позначення гіпермереж там, де це буде зручно.

Виходячи з усього вище сказаного, в даній роботі поставлене завдання синтезу структури мережі за критерієм максимуму показника функціональної стійкості при обмеженнях на вартість проектування та експлуатації мережі.

Нехай відомі граfi первинної мережі $PS=(X, Y)$ і вторинної мережі $WS=(Y, R)$. Позначимо:

$\rho(v_{ij})$ або $\rho_{PS}(v_{ij})$ – довжина гілки $v_{ij} \in V$;

$\rho(r_{ij})$ або $\rho_{WS}(r_{ij})$ – довжина ребра $r_{ij} \in R$;

$\partial(v_{ij})$ – пропускна здатність (ємність) гілки $v_{ij} \in V$;

$\partial(r_{ij})$ – ємність ребра $r_{ij} \in R$;

$\omega(S)$ – вершинна зв'язність гіпермережі S .

Потрібно побудувати гіпермережу $S=(PS; WS; \Phi)$, для якої виконуються умови

$$k \leq \omega(S) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\forall v \in V: \sum_{r \in \Phi^{-1}} \partial(r) \leq \partial(v) \quad (2)$$

і яка мінімізує деякий функціонал $\varphi(S)$ – вартість проектування та експлуатації мережі S .

Рішенням даного завдання є алгоритм АІ, що здійснює пошук деякої допустимої гіпермережі, яка задовольняє описаний вище критерій максимуму функціонально стійкості.

А л г о р и т м А І.

Крок 1. Якщо $\omega(PS) \geq k$ і $\omega(WS) \geq k$, то переходимо на крок 2, інакше на крок 15.

Крок 2. Між усіма парами вершин $x_i, x_j \in X$ знайти максимальні потоки в графах PS і WS , тобто вирахувати $\mu_{PS}(x_i, x_j)$ і $\mu_{WS}(x_i, x_j)$. Якщо існує пара вершин x_i, x_j , для якої $\mu_{PS}(x_i, x_j) < \mu_{WS}(x_i, x_j)$, то переходимо на крок 15, інакше на крок 3.

Крок 3. Реалізуємо ребра графа WS за найкоротшим шляхом в графі PS . Якщо виконується умова (1), то переходимо на крок 8, інакше на крок 4.

Крок 4. Для всіх гілок v_{lt} з максимальним значенням $V_{lt} = \sum_{r \in \Phi^{-1}(v_{lt})} \partial(r) / \partial(v_{lt})$. Якщо

для деяких гілок v_{lt} , $\Delta_{lt} > 1$, то вона називається перенасиченою.

Крок 5. Серед перенасичених гілок вибираємо гілку v_{lt} з максимальним значенням Δ_{lt} і знаходимо ребро $r = (x, y) \in \Phi^{-1}(v_{lt})$ з мінімальним значенням $\partial(r)$. Для кожної гілки v_{ij} вирахуємо значення δ_{ij} за формулою

$$\delta_{ij} = \begin{cases} V_{ij}, \text{ якщо } v_{ij} \notin \Phi(r) \text{ і } \sum_{r_{\alpha\beta} \in \Phi^{-1}(v_{ij})} (v_{ij}) \partial(r_{\alpha\beta}) \leq \partial(v_{ij}) - \partial(r); \\ 1, \text{ якщо } v_{ij} \notin \Phi(r) \text{ і } \sum_{r_{\alpha\beta} \in \Phi^{-1}(v_{ij})} \partial(r_{\alpha\beta}) > \partial(v_{ij}) - \partial(r); \\ V_{ij} - \frac{\partial(r)}{\partial(v_{ij})}, \text{ якщо } v_{ij} \in \Phi(r) \text{ і гілка } v_{ij} \text{ не є перенасиченою}; \\ 1, \text{ якщо } v_{ij} \in \Phi(r) \text{ і гілка } v_{ij} \text{ перенасичена.} \end{cases}$$

Так само для кожної гілки v_{ij} покладемо $\rho^*(v_{ij}) = \rho(v_{ij}) / (1 - \delta_{ij})$. Якщо $\delta_{ij} = 1$ то, очевидно, що $\rho^*(v_{ij}) = \infty$.

Крок 6. Вибираємо найкоротший шлях між вершинами x, y в графі PS з вагою гілок $\rho^*(v)$. Якщо цей маршрут має скінчену вагу, то переходимо на крок 7, інакше на крок 15.

Крок 7. Здійснюємо перетрасування ребра r за знайденим на кроці 6 найкоротшим маршрутом. Заново обчислюємо всі Δ_{lt} за формулою:

$$V_{lt} = \sum_{r_{\alpha\beta} \in \Phi^{-1}(v_{lt})} \frac{\partial(r)}{\partial(v_{lt})}$$

Якщо в отриманій гіпермережі відсутні перенасичені гілки, то переходимо на крок 8, інакше на крок 5.

Крок 8. Якщо $\omega(s) \geq k$, то переходимо на крок 14, інакше на крок 9.

Крок 9. Знаходимо мінімальний переріз $\{x_1, \dots, x_p\}$ гіпермережі за вершинами.

Крок 10. Знайдемо всі ребра r , траси яких містять вершини із перерізу $\{x_1, \dots, x_p\}$, а кінцеві вершини лежать в різних компонентах зв'язності S_1 і S_2 гіпермережі $S \setminus \{x_1, \dots, x_p\}$. Хоч би одне таке ребро знайдеться, так як WS k -зв'язаний. Виберемо серед них ребро $r=(x, y)$ з найбільшим значенням $\partial(r)$.

Крок 11. Для кожної гілки v_{ij} обчислимо δ_{ij} за формулою:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_{ij} \notin \Phi(r) \text{ і } \sum_{r' \in \Phi^{-1}(v_{ij})} \partial(r') > \partial(v_{ij}) - \partial(r); \\ \frac{1}{\partial(v_{ij})} \sum_{r' \in \Phi^{-1}(v_{ij})} \partial(r'), & \text{у всіх інших випадках.} \end{cases}$$

Так само для кожної гілки v_{ij} покладемо $\rho^*(v_{ij}) = \rho(v_{ij}) / (1 - \delta_{ij})$. Якщо $\delta_{ij} = 1$, то $\rho^*(v_{ij}) = \infty$.

Крок 12. Знайдемо найкоротший маршрут між вершинами x, y в графі $PS / \{x_1, \dots, x_p\}$ з вагою гілок $\rho^*(v)$. Якщо цей маршрут має скінчену вагу, то переходимо на крок 13, інакше на крок 15.

Крок 13. Здійснюємо перетрасування ребра r за знайденим на кроці 12 найкоротшим маршрутом. Якщо вичерпані всі ребра, траси яких містять вершини із перерізу $\{x_1, \dots, x_p\}$, а кінцеві вершини лежать в різних компонентах зв'язності S_1 і S_2 гіпермережі $S \setminus \{x_1, \dots, x_p\}$, то переходимо на крок 9, інакше на крок 10. Повторюємо кроки 9-13 до того часу, поки не буде знайдена гіпермережа, що задовольняє умовам (1), (2), або поки не повториться мінімальний переріз. В першому випадку переходимо на крок 14, в другому – на крок 15.

Крок 14. Гіпермережа, що задовольняє критерій максимуму функціональної стійкості (1)-(2), знайдена.

Крок 15. Допустимий результат не знайдений.

При побудові функціонально стійких гіпермереж актуальним є наступне завдання. Для заданих первинної PS і вторинної WS мереж знайти гіпермережу $S = (PS; WS'; \Phi)$, яка задовольняє умови (1)-(2), а граф WS' отримується з WS в результаті розпаралелювання деяких ребер.

Алгоритм АП.

Крок 1. Реалізувати алгоритм АІ. Якщо отримана гіпермережа задовольняє умови (1)-(2), то на крок 6, інакше на крок 2.

Крок 2. Якщо гіпермережа S задовольняє умову (2), але не задовольняє умову (1) або обидві умови порушуються, то переходимо на крок 3, інакше на крок 4.

Крок 3. У побудованій гіпермережі S знайти мінімальний переріз $\{x_i\}$. За множиною $\{x_i\}$ знайти слабо інцидентне одній із вершин $\{x_i\}$ ребро (x_1, x_i) та знайти в PS два незалежних ланцюги між вершинами x_l, x_i . Ємність $\partial(r_i)$ даного ребра розподіляється по ланцюгах в PS так, щоб задовольнялася умова (2). Якщо це зробити неможливо, то переходимо на крок 5, інакше повторити крок 3. Як тільки зв'язність S стане рівною k , то на крок 4.

Крок 4. В гіпермережі S знайти перенасичену гілку v (тобто $\partial(v) > \sum_{r \in \Phi^{-1}(v)} \partial(r)$). Знайти інцидентні ребра $\Phi^{-1}(v)$ даної гілки v і вибрати серед них таку підмножину $\{r_{pz}\}$, щоб $\partial(v) \leq \sum_{r \in \Phi^{-1}(v) \setminus \{r_{pz}\}} \partial(r)$. Послідовно розпаралелюючи ці ребра і розподіляючи їх ємність по дублікатах, спробуємо задовольнити умову (2). Якщо це не вдається, то переходимо на крок 5, інакше на крок 4. Повторюється до тих пір, поки не будуть перевірені всі гілки на кроці 6.

Крок 5. Допустиме рішення не знайдено.

Крок 6. Гіпермережа S побудована.

Збіжність алгоритму очевидна. Якщо обмеження (2) не є критичним, то гіпермережа із максимальним рівнем функціональної стійкості буде обов'язково знайдена. Крім того, алгоритм дозволяє знаходити гіпермережу з квазімінімальною вартістю.

Висновки. В статті запропоновано метод синтезу інформаційної мережі із заданими структурними характеристиками, в основі якої лежать алгоритми синтезу ω -зв'язних гіпермереж з певними структурними характеристиками. Для підвищення ефективності розробленого методу удосконалено математичну модель гіпермережі на базі двох гіперграфів. Даний метод, на відміну від традиційних, враховує різноманітні вимоги до якості функціонування мережі та дає хороші результати на достатньо широкому класі задач.

Отримані результати разом з відомими методами дозволяють створити достатньо ефективне математичне забезпечення процесу оптимізації проектування та удосконалення структур мережі з врахуванням різних вимог до якості.

Список використаної літератури

1. Саланда І.П. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж / І.П. Саланда, О.В. Барабаш, А.П. Мусієнко // Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку». – Полтава: ПНТУ, 2017. – Вип. 1 (41). – С. 122 – 126.
2. Саланда І.П. Методика синтезу розгалуженої інформаційної мережі із заданими структурними характеристиками / І.П. Саланда // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – Київ: ДУТ, 2016. – № 1. – С. 95 – 99.
3. Schneider, C., Barker, A., and Dobson, S. (2015) “A survey of self-healing systems frameworks.” *Software: Practice and Experience*, 45(10): 1375-1398. Print.
4. Manzoor A., Rajput U, Phulpoto N, Abbas F, Rajput M. (2018) “Self-healing in Operating Systems.” *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.18 No.5: 92-98. Print.
5. Hudaib, AA., Fakhouri, HN., Al Adwan, FE., and Fakhouri, SN. (2017) “A Survey about Self-Healing Systems” (Desktop and Web Application). Vol.09 No.01: 71-88. Print.
6. Wang, Z., & Wang, J. (2015) “Self-healing resilient distribution systems based on sectionalization into microgrids.” *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(6): 3139-3149 Print
7. Duarte, DP., Guaraldo, JC., Kagan, H., Nakata, BH., Pranskevicius, PC., Suematsu, AK., and Hoshina, MS. (2016) “Substation-based self-healing system with advanced features for control and monitoring of distribution systems.” In *Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2016 17th International Conference on 2016, IEEE: 301-305. Print
8. Barabash O. Diagnostic Model of Wireless Sensor Network Based on Mutual Inspection of Network Elements / O. Barabash, N. Lukova-Chuiko, A. Musienko, I. Salanda // *Proceedings of 14 International Conference the Experience of Designing and Application of Cad Systems in*

Microelectronics (CADSM 2017), 21-25 February, 2017, Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine. – Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2017. – P. 303 – 305.

9. Попков В.К. Математические модели живучести сетей связи / В.К. Попков. – Новосибирск: Вычислительный центр СО АН СССР, 1990. – 235 с.

References

1. Salanda I.P., Barabash O.V., Musienko A.P. (2017) “System of indicators and criteria for formalization of protests of providing local functional stability of branched information networks» *Scientific Periodicals "Control, Navigation and Communication Systems", Poltava: PNTU*, 1 (41): 122-126. Print.

2. Salanda I.P. (2016) “Method of synthesis of a branched information network with given structural characteristics”, *Telecommunications and information technology, Kyiv*, 1: 95-99 Print.

3. Schneider, C., Barker, A., and Dobson, S. (2015) “A survey of selfhealing systems frameworks.” *Software: Practice and Experience*, 45(10): 1375-1398. Print.

4. Manzoor A., Rajput U, Phulpoto N, Abbas F, Rajput M. (2018) «Self-healing in Operating Systems» *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.18, 5: 92-98 Print.

5. Hudaib AA., Fakhouri HN., Al Adwan FE., and Fakhouri, SN. (2017) “A Survey about Self-Healing Systems” (*Desktop and Web Application*). Vol.09, 1: 71-88. Print.

6. Wang Z., Wang J. (2015) “Self-healing resilient distribution systems based on sectionalization into microgrids.” *IEEE Transactions on Power Systems*, 30 (6): 3139-3149 Print

7. Duarte D.P., Guaraldo J.C., Kagan H., Nakata B.H., Pranskevicius P.C., Suematsu A.K., and Hoshina M.S. (2016) “Substation-based self-healing system with advanced features for control and monitoring of distribution systems.” *In Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2016 17th International Conference on 2016, IEEE*: 301-305. Print.

8. Barabash O. “Diagnostic Model of Wireless Sensor Network Based on Mutual Inspection of Network Elements” (2017) *Proceedings of 14 International Conference the Experience of Designing and Application of Cad Systems in Microelectronics (CADSM 2017), 21-25 February, 2017, Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Lviv Polytechnic National University*: 303-305. Print.

9. Popkov V.K. (1990) “*Mathematical models of communication network survivability*”, Novosybyrsk: Computer center SD AS, USSR: 235 Print.

Автори статті (Authors of the article)

Саланда Іванна Петрівна – к.т.н., доцент кафедри теорії і методики трудового навчання та технологій (Salanda Ivanna Petrivna - PhD in Technics, Associate Professor of the Theory and Methods of Labor Training and Technology). Phone: +380 97 555 5627. E-mail: salanda.ivanna@gmail.com

Сачук Юрій Володимирович – к.ф.-м.н., старший викладач кафедри національної безпеки (Sachuk Yurii Volodymyrovych - Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer at the Department of National Security). Phone: +380 97 655 4775. E-mail: sachykyra@gmail.com