УДК 004.42 DOI:10.31673/2412-4338.2021.034653

**Ільїн О.Ю., Балашова Є.О., Чепур М.К., Жебка В.В., Корецька В.О.**
*Державний університет телекомунікацій, Київ*

# УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ ГРАФІВ

***Анотація:*** *Запропоновано удосконалення інформаційної технології для підвищення функціональної стійкості мережі за допомогою теорії графів та розроблено геоінформаційну систему моніторингу стану мережі на основі теорії стійкості.*

*Суть удосконалення інформаційної технології полягає в тому, щоб забезпечити постійний доступ користувачів до мережі. Для роботи використовується побудова мережі на основі графів, що складається з вузлів та ліній зв'язку між ними за допомогою геоінформаційної системи моніторингу мережі. З розвитком інформаційних технологій з'явилися геоінформаційні системи, що забезпечують управління та відображення просторових даних. Використання ГІС веде до збільшення кількості користувачів цих систем, що збільшує і кількість інформації, що передається мережами.*

*Головним фактором ГІС є відмовостійкість – властивість системи, що дозволяє їй продовжувати працювати в разі виникнення помилки. Ефективна робота мережі залежить від стійкості до зовнішніх та внутрішніх чинників впливу на мережу. Функціональна стійкість визначається вчасним перерозподілом ресурсів між вузлами з метою виконання своїх основних задач впродовж заданого інтервалу часу. Аналіз існуючих методів показав, що методи мають досить складний алгоритм реалізації та розрахунок для зв'язності шляху. Це не дає змогу виявити проблему швидко та забезпечити доступ до мережі в короткий час.*

*Розроблено систему моніторингу, що дозволить вчасно виявляти поломку на лінії, повідомити про це, та перекинути сигнал на інші лінії та вузли. Цілями розробки є: моніторинг функціональної стійкості мережі, сповіщення про несправності, знаходження нових оптимальних шляхів для передачі сигналів.*

*Створена система забезпечує можливість надійного функціонування мережі весь час. Система містить весь необхідний пакет інструментів для спеціаліста, який буде працювати з додатком.*

***Ключові слова:*** *геоінформаційна система, теорія стійкості, теорія графів, відмовостійкість, інформаційна мережа.*

**Ilyin O.Yu., Balashova Ye.O., Chepur M.K., Zhebka V.V., Koretska V.O.**
*State University of Telecommunications, Kyiv*

# IMPROVEMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY TO INCREASE THE FUNCTIONAL STABILITY OF THE NETWORK USING GRAPH THEORY

***Abstract:*** *Improvement of information technology for increase of functional stability of a network by means of the theory of graphs is offered and the geoinformation system of monitoring of a condition of a network on the basis of the theory of stability is developed.*

*The essence of improving information technology is to ensure constant access of users to the network. The work uses the construction of a network based on graphs, consisting of nodes and communication lines between them using a geographic information system for network monitoring.*

*With the development of information technology, geographic information systems have emerged that provide management and display of spatial data. The use of GIS leads to an increase in the number of users of these systems, which increases the amount of information transmitted by networks.*

*The main factor of GIS is fault tolerance - a property of the system that allows it to continue to work in case of error. The effective operation of the network depends on the resistance to external and internal factors affecting the network. Functional stability is determined by the timely redistribution of resources between nodes in order to perform their main tasks during a given time interval. An analysis of existing methods has*

*© Ільїн О.Ю., Балашова Є.О., Чепур М.К., Жебка В.В., Корецька В.О. 2021*

*shown that the methods have a rather complex implementation algorithm and calculation for path connectivity. This does not allow you to detect the problem quickly and provide access to the network in a short time.*

*A monitoring system has been developed that will allow timely detection of breakdowns on the line, report it, and transfer the signal to other lines and nodes. The objectives of the development are: monitoring the functional stability of the network, fault reporting, finding new optimal ways to transmit signals.*

*The created system provides the possibility of reliable network operation at all times. The system contains all the necessary toolkit for a specialist who will work with the application.*

***Keywords:*** *geoinformation system, stability theory, graph theory, fault tolerance, information network.*

**Ильин О.Ю., Балашова Е.А., Чепур М.К., Жебка В.В., Корецкая В.А.**
*Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ГРАФОВ

***Аннотация:*** *Предложено усовершенствование информационной технологии для повышения функциональной устойчивости сети с помощью теории графов и разработана геоинформационная система мониторинга состояния сети на основе теории устойчивости.*

*Суть усовершенствования информационной технологии состоит в том, чтобы обеспечить постоянный доступ пользователей к сети. Для работы используется построение сети на основе графов, состоящее из узлов и линий связи между ними посредством геоинформационной системы мониторинга сети.*

*С развитием информационных технологий появились геоинформационные системы, обеспечивающие управление и отображение пространственных данных. Использование ГИС ведет к увеличению количества пользователей этих систем, что увеличивает количество информации, передаваемой сетями.*

*Главным фактором ГИС является отказоустойчивость – свойство системы, позволяющее ей продолжать работать при возникновении ошибки. Эффективная работа сети зависит от устойчивости к внешним и внутренним факторам воздействия на сеть. Функциональная устойчивость определяется своевременным перераспределением ресурсов между узлами с целью выполнения своих основных задач в течение заданного интервала времени. Анализ существующих методов показал, что методы имеют достаточно сложный алгоритм реализации и расчет связности пути. Это не позволяет быстро обнаружить проблему и обеспечить доступ к сети в короткое время.*

*Разработана система мониторинга, позволяющая своевременно выявлять поломку на линии, сообщить об этом и перебросить сигнал на другие линии и узлы. Целями разработки являются: мониторинг функциональной устойчивости сети, оповещение о неисправностях, нахождение новых оптимальных путей для передачи сигналов.*

*Созданная система обеспечивает возможность надежного функционирования сети все время. Система содержит весь требуемый пакет инструментов для специалиста, который будет работать с приложением.*

***Ключевые слова:*** *геоинформационная система, теория устойчивости, теория графов, отказоустойчивость, информационная сеть.*

### 1. Вступ

Сучасні компанії постійно конкурують за споживачів, адже незважаючи на те, що рівень інформаційних технологій вже досить високий, ніхто не може дати гарантію постійного доступу до свої послуг. Стабільна робота підприємств залежить в тому числі від стійкості функціонування телекомунікаційних мереж. Кожен день телекомунікаційні мережі піддаються різноманітним впливам, за рахунок чого мережа потребує постійного моніторингу за станом працездатності каналів зв'язку. Ефективне функціонування телекомунікаційної мережі залежить від функціональної стійкості самої мережі. Функціональна стійкість будь-

якої інформаційної системи – це здатність бути працездатною у будь-який момент часу, тобто виконувати свої задачі протягом заданого проміжку часу, у випадку відмови будь-якого вузла, або при відмові самого каналу зв'язку через внутрішні і/або зовнішні впливи на систему.

Геінформаційні мережі відносяться до мереж, у яких характеристики надійності можуть змінюватися, наприклад, якщо навантаження на мережу змінюються або ж на її елементи, змінюється структура самої мережі, або відбуваються зміни в інтервалах простою між елементами і т.д.

До стійкості мережі відносяться такі показники: відмовостійкість, самоорганізація, гнучкість і різноманітність, швидкість, навчання. Відмовостійкість забезпечує здатність мережі забезпечувати роботу мережі в умовах її часткових збоїв. Самоорганізація означає, що мережа в випадку зовнішніх порушень може переставляти свої процеси, щоб підлаштуватися та протидіяти їм. Гнучкість та різноманіття забезпечують секторам можливість реалізувати різні види дій з закладеними детермінаторами. Швидкість передбачає ту швидкість, яка дозволяє активувати доступ до активів, щоб результативніше отримати доступ до секторів, якщо відбувся збій. Навчання вказує на те, чи може сектор навчатися та змінювати отримані знання, в ході використання.

Аналіз попередніх досліджень, які визначали функціональну стійкість мережі за допомогою теорії графів, показав, що розроблені алгоритми досить складні та повільні при роботі, що робить мережу вразливою.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В процесі дослідження існуючої теорії функціональної стійкості, було виявлено, що вперше властивість функціональної стійкості мережі було сформовано у роботах Машкова О.А. У його роботі було створено загальну концепцію для складних технічних систем по забезпеченню функціональної стійкості. Послідовники наукової школи функціональної стійкості Барабаш О.В., Кравченко Ю.В., Савченко В.А., Обідін Д.М., на основі роботи Машкова О.А., запропонували використовувати функціональну стійкість для конкретних класів технічних систем [1]. Барабаш О.В. у своїй роботі використовував показники та критерії для побудови стійких розгалужених інформаційних систем [2]. Основою для цього методу є оцінка зв'язності графа.

Функціональна стійкість та її проблеми були досліджені у роботах Неділька С.М., Кононова О.А., Рубана І.В., Беркман Л.Н., Машкова В.А. Серкова О.А., Кучука Г.А., Баранова Г.Л., Козелкова С.В., Авіжиєніса А., Препарати Ф., Барсі Т. та інших вітчизняних та зарубіжних вчених [3-8].

На основі аналізу літературних даних, було зроблено висновок, що, незважаючи, на досить вагомі наукові результати, запропоновані математичні моделі не забезпечують швидкий розрахунок стійкості мережі та не розраховані на процес функціонування телекомунікаційних мереж.

Існуючі методи обчислення показників функціональної стійкості включають у себе багато ітерацій, які уповільнюють алгоритм, що не дає змогу використовувати дані методи для великих підприємств, де постійно збільшується надходження інформації від споживачів, за рахунок додавання нових девайсів у систему. Тобто ці методи на даний момент більше всього підходять для систем, що мають малий або середній розмір.

Сучасні телекомунікаційні системи поступово впроваджують цифрові системи для роботи з обладнанням. З чого випливає, що сучасні телекомунікаційні мережі мають потребу бути забезпеченими комплексом інформаційних систем, щоб у поєднанні з телекомунікаційною мережею вони виступали як єдине ціле, та повідомляли працівників про порушення роботи мережі якомога швидше.

**3. Мета і задачі дослідження.**

*Мета і задачі дослідження.* Підвищення функціональної стійкості мережі за рахунок моніторингу системи в режимі реального часу за допомогою програмного продукту на основі теорії графів, та оптимізація процесу моніторингу стану мережі за допомогою геоінформаційної системи на основі теорії стійкості.

Для досягнення мети було поставлено наступні завдання:

- аналіз телекомунікаційної мережі;
- розробка сумісності цифрової системи з телекомунікаційною мережею;
- розробка методики розрахунку зв'язності шляху при відмовах каналів зв'язку;
- удосконалити методику управління телекомунікаційною мережею зі змінною структурою.

*Предмет дослідження.* Геоінформаційна система моніторингу стану мережі та інформаційна технологія на основі теорії графів.

*Об'єкт дослідження.* Моніторинг стану мережі та процес функціонування мережі.

**4. Результати дослідження**

В зв'язку з глобалізацією та розповсюдженням передачі даних актуальним є питання уникнення збоїв в роботі телекомунікаційних станцій, оскільки це стає проблемою користувачів різноманітних систем. Для того щоб цього уникнути, використовують алгоритми, які дозволяють автоматизувати виявлення збою та швидко перенаправити передачу даних з одного вузла на інший. На даний момент такі алгоритми існують, але вони мають досить великі недоліки, які не дозволяють якісно та швидко виявляти збої на крупних мережах.

Було проведено низку порівнянь можливих інструментів для створення геоінформаційної системи та прийнято рішення створення систем у двох варіантах реалізації, для зручності використання підприємствами. Мовою програмування вибрано Python для обох варіантів реалізації, через простоту опису складних математичних обчислень та кросплатформність.

Одним варіантом розробки є веб-додаток створений на базі веб-фреймворку Django. Інтегрованим середовищем для розробки вибрано PyCharm від компанії JetBrains. Візуальне представлення системи моніторингу відображається у вигляді мапи, доданої за допомогою бібліотеки LeaFlet. На рис. 1 відображені станції мережі у вигляді вузлів та зв'язки між ними, на яких видно чи є зв'язок між станціями. Якщо зв'язки між вузлами синього кольору, то дані передаються між станціями мережі, якщо зв'язок стає червоного кольору це свідчить про те, що одна із станцій цього зв'язку вийшла з ладу і дані необхідно передавати по іншому (резервному) шляху.

Другим варіантом розробки обрано Zabbix та Grafana. Zabbix виступає у якості системи моніторингу, де ми підключаємо свій програмний модуль з алгоритмом розрахунку функціональної стійкості. У самому Zabbix немає можливості графічного відображення покриття мережі, тому для цього використовується плагін Grafana, де можна побачити карту мережі, та відображення роботи мережі у вигляді графіків рис.2.

У другому варіанті реалізації геоінформаційної системи моніторингу зображення карти схоже не перший варіант реалізації, на карті розміщуються маркери розташування станцій, але не видно каналів зв'язку, але за допомогою спеціального режиму можна подивитись всі складові мережі та зв'язки між ними. На рис. 3 зображено один з варіантів графічного відображення системи у плагіні Grafana. Робоча область додатку відображає всі вершини, та зв'язки між ними, а також стан роботи геоінформаційної системи моніторингу в разі відмови одного із вузлів мережі.

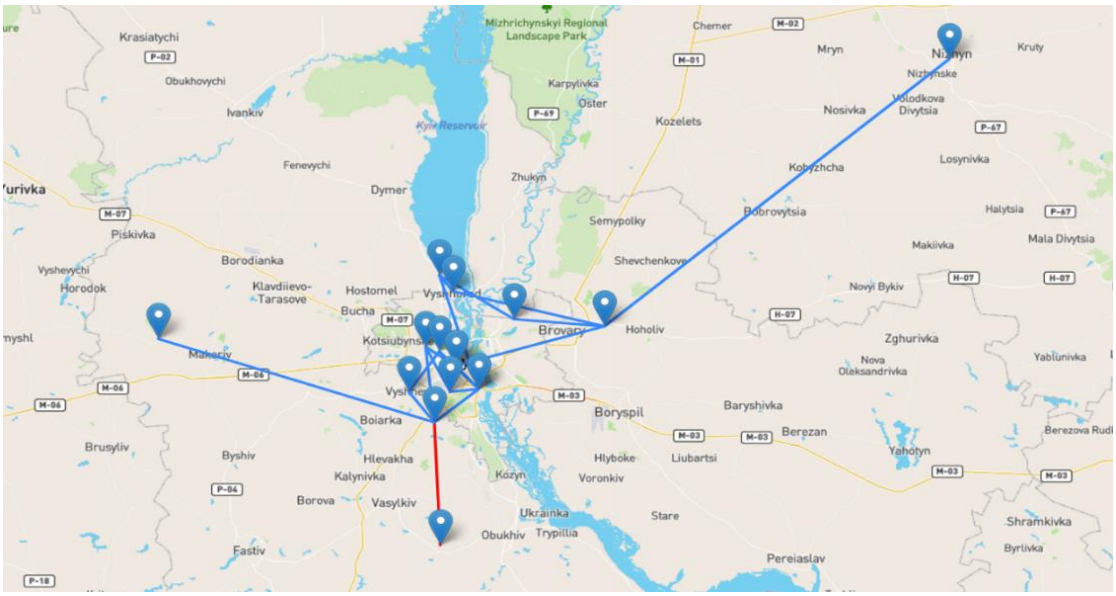


Рис. 1. Зображення мапи мережі у додатку на базі веб-фреймворку Django

Рис. 2. Результати моделювання стану роботи мережі за конкретний проміжок часу

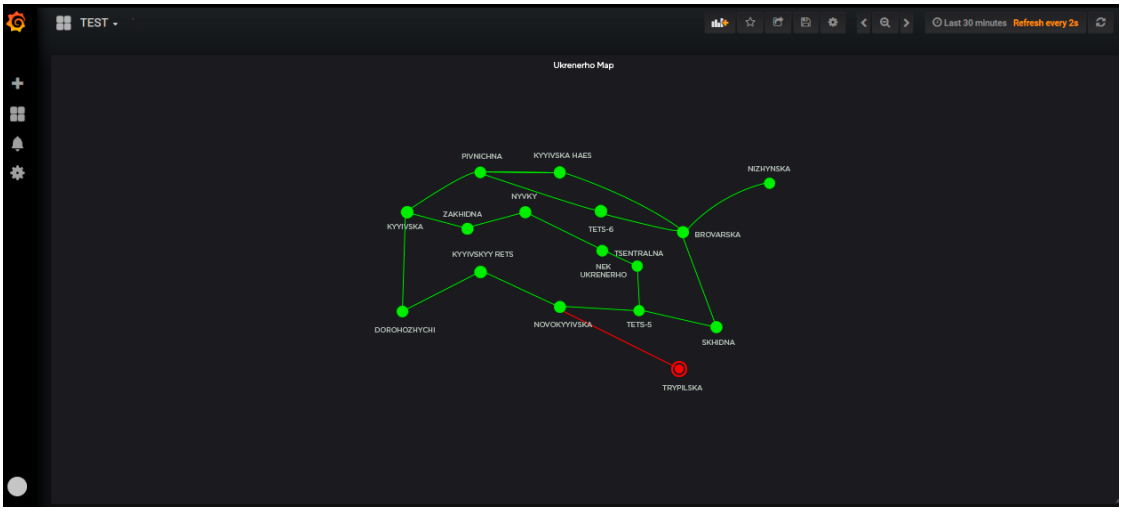


Рис. 3. Графічне відображення системи у Grafana

Блок-схема алгоритму розрахунку зв'язності мережі представлена на рис.4.

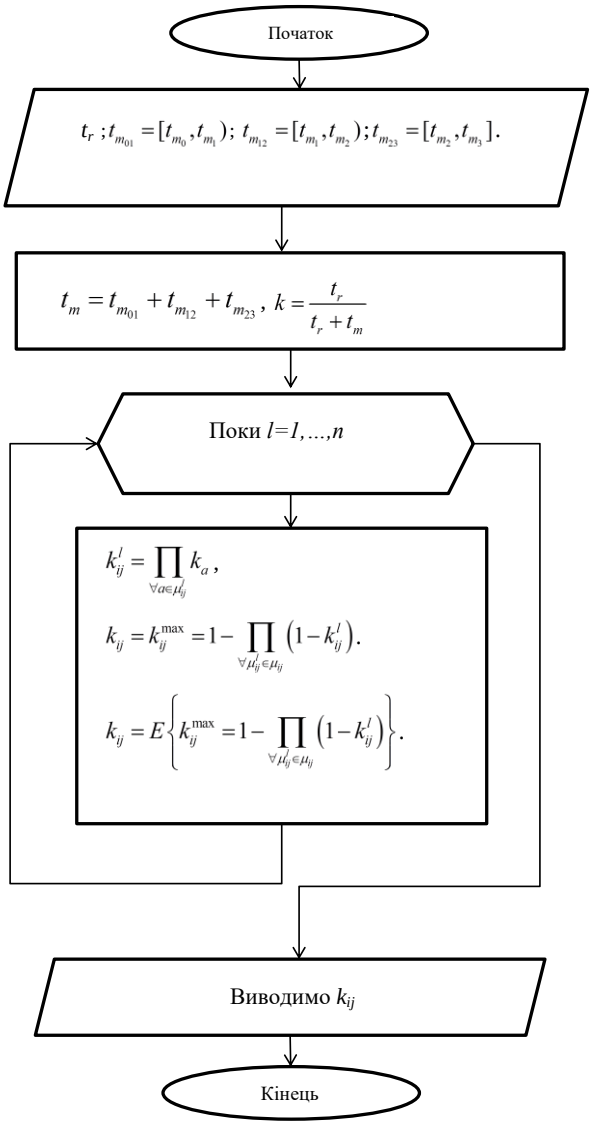


Рис. 4. Блок-схема алгоритму розрахунку зв'язності мережі

Алгоритм розрахунку зв'язності мережі містить наступні кроки:

1. Отримуємо необхідні дані з мережі (час, який система знаходиться в стані роботи $t_r$; час інтервалу, поки мережа в стані очікування технічного обслуговування $t_{m12} = [t_{m1}, t_{m2})$*;* час інтервалу, поки мережа в стані очікування від відмови до виявлення $t_{m01} = [t_{m0}, t_{m1})$; час інтервалу поки система ремонтується $t_{m23} = [t_{m2}, t_{m3}))$
2. Вираховуємо тривалість повного відновлення:

$$t_m = t_{m01} + t_{m12} + t_{m23}$$

3. Розраховуємо коефіцієнт готовності каналу:

$$k = \frac{t_r}{t_r + t_m}$$

4. Перевіряємо зв'язність *l*-ого шляху, для попередження порушення роботи мережі, що може призвести до відмови каналів зв'язку:

$$k_{ij}^1 = \prod_{\forall a \in \mu_{ij}^l} k_a$$

5. Далі перевіряємо зв'язність шляхів $k_{ij}$:

$$k_{ij} = k_{ij}^{max} = 1 - \prod_{\forall \mu_{ij}^1 \in \mu_{ij}} (1 - k_{ij}^1)$$

**5.Висновки**

В результаті аналізу існуючих математичних та програмних моделей з перевірки функціональної стійкості мережі було виявлено ряд недоліків, з якими сучасні телекомунікаційні мережі не зможуть ефективно функціонувати та надавати свої послуги користувачам. Удосконалення інформаційної технології для підвищення функціональної стійкості мережі із використанням положень теорії графів, та розробка геоінформаційної системи моніторингу стану мережі на сьогоднішній день являється найактуальнішим рішенням для телекомунікаційних мереж.

Основні результати роботи:

1) на основі аналізу сучасних математичних моделей та методів, які використовуються у сфері мереж, встановлено проблему того, що існуючі рішення не забезпечують потреби дійсно великих мереж. існуючі методи мають досить велику кількість ітерацій для розрахунку стійкості мережі, що не дає змогу виявити проблему на лінії у досить короткий час та попередити про неї;

2) розроблено концепцію, що забезпечує сумісність телекомунікаційних мереж з цифровою системою, що дає змогу легко та швидко перевіряти стан мережі;

3) розроблено два додатки геоінформаційного моніторингу системи, що дозволяє своєчасно визначити проблему, та забезпечує усунення відмови каналів зв'язку за найкоротший проміжок часу. додатки працюють у режимі реального часу, та дозволяють здійснювати нагляд за системою за допомогою встановленого додатку на комп'ютер, або, якщо цієї можливості немає, то виконувати спостереження за браузерної версії додатку, тобто це дозволяє забезпечити доступ до геоінформаційної системи моніторингу у будь-який момент часу;

4) удосконалено алгоритм функціональної стійкості – він включає модель розрахунку, що дозволяє скоротити час на перевірку зв'язності телекомунікаційної мережі, а також дозволяє забезпечити питання постійного контролю телекомунікаційної мережі за рахунок автоматизованого розрахунку зв'язності каналів зв'язку, з урахуванням того, що може статися одна або декілька відмов на лінії.

**Список використаної літератури:**

1. Кравченко Ю.В. Функціональна стійкість – властивість складних технічних систем / Ю.В. Кравченко, О.В. Барабаш // Труди академії. – Київ: НАОУ, 2002. – № 40. – С. 225-228.

2. Барабаш О.В. Оцінювання показника функціональної стійкості графа структури розгалуженої інформаційної мережі / О. В. Барабаш, І. П. Саланда // Зв'язок. - 2015. - № 2. - С. 9-12. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zvjazok_2015_2_4

3. Жебка В.В. Моніторинг сталості інформаційно-телекомунікаційної системи і опрацювання заходів її захисту від небезпек / В. В. Жебка, П. В. Анахов // Метрологія та прилади. – 2021. – №1(87). – С. 23-29.

4. Козак М.М. Лінійні споруди зв'язку / М. М. Козак. Під ред. С. Б. Доброчинського, Г. М. Петрунчака. – Вінниця: 2009. – 317 с.

5. Собчук, В.В., Мусієнко А.П., Ільїн О.Ю. Аналіз використання ієрархічної структури для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством. // Телекомунікаційні та інформаційні технології, 2018. - №4. – С. 53-61.

6. Королев А.В., Кучук Г.А., Пашнею А.А. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях. – Харьков: ХВУ, 2003. – 224 с.

7. Лаврут О.О. Дослідження якості управління потоками інформації у моделі військової телекомунікаційної мережі представленій в тензорному вигляді / О.О. Лаврут // Військово-технічний збірник.- Львів: АСВ, 2015.- Вип. 12/2015. – С. 27-33.

8. Подліпаєв В. Базовий набір типових геоінформаційних ресурсів для здійснення геоінформаційної підтримки та ведення геопросторового аналізу// Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, 2019. - № 2(54). – С.12-17.

**References**

1. Kravchenko Yu.V., Barabash O.V. "Functional stability - property of complex technical systems." *Proceedings of the Academy. Kyiv: NAOU,* 2002. No 40: 225-228.

2. Barabash O.V., Salanda I.P. "Estimation of the index of functional stability of the graph of the structure of the branched information network". *Communication*. 2015. No 2: 9-12. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zvjazok_2015_2_4

3. Zhebka V.V., Anakhov P.V. "Monitoring the sustainability of the information and telecommunication system and elaboration of measures to protect it from dangers." *Metrology and instruments*. 2021. No 1(87): 23-29.

4. Kozak M.M. Ed. Dobrochinsky S.B., Petrunchak G.M. "*Linear communication facilities".* Vinnitsa, 2009: 317.

5. Sobchuk, V.V., Musienko A.P., Ilyin O.Y. "Analysis of the use of hierarchical structure to ensure the functional stability of the automated enterprise management system". *Telecommunication and information technologies*, 2018. No 4: 53-61.

6. Korolev A.V., Kuchuk G.A., Pashney A.A. *"Adaptive routing in corporate networks."* Kharkiv: HVU, 2003: 224.

7. Lavrut O.O. "Research of quality of information flow management in the model of military telecommunication network presented in tensor form". *Military-technical collection. Lviv: DIA*, 2015, Issue. 12/2015:27-33.

8. Podlipaev V. "Basic set of typical geoinformation resources for geoinformation support and geospatial analysis." *Control, navigation and communication systems. Collection of scientific works*, 2019. No 2(54): 12-17.