

Ю.В. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ
О.В. ОГНЄВИЙ

Хмельницький національний університет

ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ЗАВАДОСТІЙКОЇ ПЕРЕДАЧІ ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

В роботі запропоновано актуальний метод та інструментарій для раннього виявлення та прогнозування ризиків завадостійкої передачі, захист інформації в телекомунікаційних системах. У процесі роботи телекомунікаційних систем якість передачі інформації може суттєво вплинути на пропускну здатність окремих потоків передачі даних чи цілих доменів. Прогнозування ризиків потоком передачі здійснюється за критерієм якості обслуговування та рівномірного завантаження мережевих ресурсів. Підвищення якості обслуговування, захист та функціонування системи здійснюється із врахуванням класифікації потоку передачі, що досить обмежує можливість управління телекомунікаційної системи. Засоби контролю за процесом передачі окремих потоків передачі даних відсутні, а тому система не зможе гарантувати необхідний рівень управління. Дослідження надасть можливість користувачам отримувати послуги із необхідною якістю, достовірністю та дозволить подолати виникаючі проблеми завадостійкої передачі інформації.

Ключові слова: прогнозування ризиків, завадостійка передача інформації, захист інформації, мережевий потік, інформаційна безпека.

YU.V. KHMELNYTSKYI

O.V. OGNJEVYJ

Khmelnytskyi National University

DETERMINING RISKS OF PROFITABLE TRANSMISSION AND INFORMATION PROTECTION IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

The paper proposes an up-to-date method and toolkit for early detection and forecasting of the risks of interference transmission, protection of information in telecommunication systems. In telecommunication systems, the quality of information transmission can significantly affect the bandwidth of individual data streams or entire domains. Transmission flow risk prediction is based on the criterion of quality of service and uniform load of network resources. Improving the quality of service, protection and operation of the system is carried out taking into account the classification of the transmission stream, which sufficiently limits the ability to control the telecommunications system. Most models of such networks do not take into account the characteristics of multiservice data flow, which leads to poor quality of service and increase the likelihood of blocking transmission channels. The lack of ability to differentiate the data flows of individual clients of the telecommunication system and the ability to take into account their quality requirements, leads to low efficiency of the routing channel, suboptimal distribution of system load, poor quality of service of high priority data streams. The application of new models and algorithms to ensure the functioning of the telecommunications system will allow the transmission of information streams, differentiating them by the sensitivity to mix the order of packet transmission and disconnect. There are no controls on the transmission process of individual data streams, and therefore the system will not be able to guarantee the required level of control. The research will allow users to receive services with the necessary quality, reliability and will help to overcome the emerging problems of interfering information transmission.

Key words: risk forecasting, noise transfer, information security, network flow, information security.

Вступ

Практично всі сучасні телекомунікаційні системи визначаються значною кількістю параметрів, функціональними можливостями, вимогами до забезпечення захисту інформації, високою надійністю, точністю, вірогідністю, розгалуженою інфраструктурою. Для якісної та надійної передачі даних у телекомунікаційних системах задача забезпечення завадостійкості та захисту інформації є однією із головних задач. Система має бути запроектована та експлуатуватись так, щоб у разі наявності завад вона забезпечила задану якість передавання інформаційних сигналів. Практично всі розрахунки впливу завад на передавання сигналів та розробка способів зменшення цього впливу є основними задачами, що розв'язуються під час проектування завадостійкості телекомунікаційних систем. Під завадостійкістю каналу передачі інформації тут розуміють здатність системи розрізняти та відновлювати сигнали із заданою достовірністю за наявності зовнішніх та внутрішніх завад. В ряді витоків визначення поняття завадостійкості – це здатність системи протистояти шкідливій дії завад, хоча воно більше наближається до розуміння фізичної суті завадостійкості; тут мається на увазі не просто стійкість системи передачі до завад, а її спроможність правильно функціонувати за їх наявності. Завдання визначення завадостійкості усієї телекомунікаційної системи досить складне, тому досить часто визначають завадостійкість окремих ланок системи, наприклад приймача, перетворювача для заданих способів передачі, системи кодування, модуляції. Тому завадостійкість телекомунікаційної системи залежить від виду повідомлень, рівня та характеристик завад, параметрів окремих складових частин систем [1]. В умовах динамічних завад збільшується ймовірність помилки, стає неможливим забезпечення заданого рівня надійності та вірогідності інформації за допомогою простого використання відомих методів кодування. Маючи ж необхідну надійність та завадостійкість, телекомунікаційні системи можуть забезпечити задану стабільність, захист інформації та безперервність управління.

Постановка задачі

У результаті проведеного дослідження відмічено, що з погляду забезпечення заданого рівня вимог до завадостійкості, надійності та вірогідності каналів зв'язку як процесу доставки потоків інформації. В процесі функціонування на телекомунікаційні системи впливають різні фактори, що порушують нормальну роботу. Ці фактори призводять до порушення роботи каналів передачі, фізичного виходу з ладу елементів телекомунікаційної системи, інших негативних наслідків, в результаті чого вони переходить до стану, за якого не може забезпечувати процес доставки усїєї необхідної інформації. Таким чином, сучасна система повинна мати здатність протистояти впливам, які порушують її роботу, що забезпечується стійкістю її роботи. Реальна завадостійкість – це завадостійкість телекомунікаційної системи чи окремих її вузлів із урахуванням реального виконання та настройки окремих блоків каналу передачі інформації. Теоретично та технологічно не всі блоки каналу передачі інформації можна виготовити ідеальними із заздалегідь визначеними параметрами. Тому зробимо висновок, що тільки у разі забезпечення усїх властивостей, телекомунікаційна система може виконувати своє функціональне призначення – забезпечувати доставку усїєї інформації у необхідному обсязі, з заданою якістю та вірогідністю. Дослідження та аналіз існуючого стану та методів забезпечення завадостійкої доставки інформації телекомунікаційних систем передачі показав, що перспективним напрямком вирішення проблеми забезпечення вірогідності інформації в умовах значної невизначеності та завад є застосування необхідних видів кодування та багаторівневої структурної та параметричної адаптації із врахуванням розкриття невизначеності. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити проблему, яка полягає у забезпеченні завадостійкої передачі інформації в умовах невизначеності за рахунок відомих методів, що використовують послідовність процесів багаторівневої адаптації та додаткових показників розкриття невизначеності при впливі різних завад та перешкод передачі.

Основна частина

В ході дослідження та розгляду методів і засобів забезпечення завадостійкої передачі та захисту інформації в телекомунікаційних системах необхідно зауважити, що в широкому розумінні являє собою передача різного роду повідомлень із декількох пунктів у ряд пунктів. В технологіях та засобах передачі і захисту інформації семантична особливість повідомлень не враховується, тому задачею системи передачі інформації в телекомунікаційній системі є лише транспортування даних у визначене місце, так як оцінка змісту отриманих повідомлень це справа самого одержувача інформації. Теорія і техніка передачі інформації в телекомунікаційних системах складалися протягом багатьох років і на сьогодні продовжують швидко і якісно розвиватися. Особливе місце канали передачі інформації займають у сучасних системах управління, в яких необхідно забезпечувати передачу досить великих обсягів потоків інформації із високою швидкістю, достовірністю та надійністю. В процесі функціонування на телекомунікаційні системи впливають багато різних факторів, що порушують нормальну роботу каналу передачі інформації. Ці фактори призводять до порушення роботи каналів передачі, фізичного виходу із ладу елементів та компонентів телекомунікаційних систем, інших негативних наслідків. Саму основу теорії потенційної завадостійкості розробив ще у 1946 р. академік В.О. Котельников [1]. У ній вирішуються такі три основні задачі передачі інформації:

- синтез оптимального приймача, тобто знаходження правила його роботи та структурної схеми, що забезпечують найкращу якість приймання інформації;
- аналіз роботи оптимального приймача – обчислення якості приймання сигналів, яка забезпечується цим приймачем потоків інформації;
- порівняння потенційної та реальної завадостійкості такої системи передачі інформації.

У дослідженні для практичного використання порівняння завадостійкості має особливе значення. Адже порівнювати реальну завадостійкість різних систем, схем, пристроїв, методів оброблення, видів модуляції не має ніякого сенсу. Таких схем та методів існують досить багато та зростання їх числа триває, а мала завадостійкість якоїсь системи чи схеми ще не означає, що вона є невдала чи неякісна. За таких завад кращої якості вже неможливо досягти. Тому порівняння реальної та потенційної завадостійкості системи дає можливість оцінювати якість реальної телекомунікаційної системи та знайти ще не використані резерви. Якщо ж знати потенційну завадостійкість приймача каналу передачі інформації, можна завжди оцінити, наскільки близька до неї реальна завадостійкість існуючих способів приймання та наскільки доцільне їх подальше удосконалення для заданого методу передавання по каналах передачі інформації. Знання про потенційну завадостійкість за різних методів передавання потоків інформації дають змогу порівнювати ці методи між собою та знайти, які з них у цьому відношенні є найбільш оптимальними. Розглянемо у дослідженні кількісну міру завадостійкості. Для теоретичних розрахунків як потенційної, так і реальної завадостійкості застосовуються прямі методи оцінки якості передачі інформації. У разі передавання дискретних первинних сигналів для обчислень використовують ймовірність помилки. Розглянемо деякі принципи та засоби побудови систем передачі інформації по каналам із шумами та перешкодами. У загальному випадку [2] структурна схема системи передачі інформації із завадами складається із джерела та одержувача повідомлень, перетворювачів повідомлення в сигнал та сигналу в повідомлення, каналу зв'язку. Джерелом повідомлень та одержувачем в одних системах зв'язку може бути людина, в інших різного роду пристрої – автомат, комп'ютер тощо. Перетворення повідомлення у сигнал повинне бути оборотним.

В цьому випадку по вихідному сигналу можна відновити вхідний первинний сигнал, тобто одержати усю інформацію, що є в переданому повідомленні. В протилежному випадку деяка частина

інформації буде загублена при передачі потоку. При передачі потоків інформації каналний сигнал може спотворюватися та на нього можуть накладатися завади. Приймальний пристрій обробляє прийняте коливання, яке є сумою переключеного сигналу та завади, відновлює по ньому повідомлення, що із деякою похибкою відображає передане повідомлення. Тобто приймач повинен на основі аналізу коливання визначити, яке із можливих повідомлень передавалось.

Тому прийомний пристрій є одним із найбільш відповідальних та складних елементів системи передачі інформації в телекомунікаційних системах. Впровадження високоефективних комп'ютерних систем привело до необхідності швидкого розвитку нових систем передачі потоків даних, що забезпечують обмін інформацією між обчислювальними пристроями і засобами та об'єктами автоматизованих систем керування. Такий вид відрізняється більше високими вимогами до швидкості та вірності передачі потоків інформації. Розглянемо узагальнену схему системи передачі потоків інформації в системі [3]. Приймавши необхідне повідомлення від джерела повідомлень, кодер генерує та видає на модулятор вхідну двійкову послідовність із визначеною довжиною – кодове слово.

Модулятор перетворює кожен символ на один із двох сигналів, що подаються на вхід каналу передачі потоків інформації у телекомунікаційній системі. Демодулятор, який підключений до виходу каналу передачі інформації, видає необхідний сигнал. Детектор обробляє сигнал та видає елемент інформації, який у двійковому випадку являє собою дійсний скаляр. Декодер перетворює послідовність у розв'язок задачі кодування, що вказує, яке із усієї сукупності кодових слів було передано. Під каналом передачі інформації у даному випадку мається на увазі середовище, за допомогою якого здійснюється передача сигналів від передавача до приймача [4].

Одноразове використання каналу передачі інформації полягає у тому, що передавач певним чином впливає на канал передачі, а приймач спостерігає деякі характеристики каналу, що відображають цей вплив. Якщо ж канал передачі інформації дискретний, то для передавача існує кінцеве число впливів, які називаються вхідними сигналами [5]. Приймач розрізняє тільки визначене число класів результатів спостереження, що називаються загалом вихідними сигналами. Тут співвідношення між вхідними та вихідними сигналами у загальному випадку має імовірнісний характер. Канал визначається встановленням умовних ймовірностей для кожної вхідної та вихідної послідовності. Дослідивши основні взаємовпливи перешкод на основні елементи передачі інформації телекомунікаційної системи із позиції теорії імовірності, можливо оцінити коефіцієнти за «технічною надійністю» основних компонентів та елементів телекомунікаційної системи за допомогою відомого співвідношення. Ступінь очікуваних ризиків функціонування телекомунікаційної системи можна подати як добуток імовірності небажаних наслідків на відповідну величину втрат аналогічно як у працях [6]:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n p_i \cdot Z_i \quad (1)$$

де R – величина ризику;

p_i – ймовірності небажаних впливів каналу передачі інформації;

Z_i – величини втрат каналу передачі.

Для оцінювання ризику якості функціонування телекомунікаційної системи також використовують величину середньозваженого модуля відхилення ΔZ (тут $n=12$):

$$\Delta Z = \sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z}) \quad \bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \quad (2)$$

Також визначають середньоквадратичне відхилення [6]:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (3)$$

Якщо ж взяти до уваги негативні відхилення від запланованих параметрів від параметра \bar{Z} , то ступінь ризику якості функціонування та захисту інформації телекомунікаційної системи оцінюється показником варіації S_Z і його значення визначається з допомогою співвідношення:

$$S_Z = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z})^2 \cdot I_{vi} / \sum_{i=1}^n p_i \cdot I_{vi}} \quad (4)$$

де $I_{vi} = \{I_{vi}\}$ – індикатор несприятливих відхилень якості роботи телекомунікаційної системи, якому відповідають:

0, для сприятливого відхилення $I_{vi} = 0$,

1, для несприятливого відхилення $I_{vi} = 1$.

Показником оцінювання ризику передачі невірної інформації в телекомунікаційних системах може бути також коефіцієнт можливих втрат каналу передачі, який враховує обсяг втрат по відношенню до суми абсолютних значень ймовірних втрат в завадостійких системах [7]:

$$K_Z = M_{ZV} / (M_{ZV} + M_{ZP}) \quad (5)$$

де M_{ZV}, M_{ZP} – відповідно ймовірні величини сприятливих та несприятливих відхилень відносно значень показників θ_v, θ_p при розгляді запланованих рівнів втрат при передачі інформації Z і позитивних результатів.

Якщо ж розглядати завадостійкість телекомунікаційної системи як здатність системи протидіяти завадам, для цього треба знати, чим протидіяти і на що протидіяти, тобто для боротьби із завадами потрібні апріорні відомості про властивості носія потоків інформації та про самі завади. До таких властивостей можливо віднести [8]:

- величина струму та напруги вхідного сигналу та завади в каналі передачі телекомунікаційної системи;
- середні потужності сигналу та завади в системі;
- вид та структура переносника інформації в телекомунікаційній системі;
- закон розподілу сигналу передачі тощо.

Дослідження та аналіз показує, що знаючи всі властивості сигналу та завади, можна встановити певні відмінності між ними і використати їх для розроблення способів, засобів та методів забезпечення завадостійкості телекомунікаційної системи. Всі способи завадостійкості ведуть до часової та апаратної надмірності як із боку джерела інформації, так і з боку адресата передачі інформації. Одна група способів підвищення завадостійкості базується на виборі методу передачі інформації в системі. Друга група способів пов'язана із побудовою завадостійких приймачів. Способи підвищення завадостійкості у телекомунікаційній системі - методи оптимального приймання сигналів, заглушення завад у місцях їх виникнення, використання спеціальних кодів передачі, використання в системах передачі інформації каналу зворотного зв'язку, багаторазового повторення інформації, що передається, збільшення спів відношення сигнал та завада, компенсація сигналу завади, раціональний вибір найкращого виду оптимальної модуляції сигналів, екранування системи чи її окремих елементів.

Як актуальний метод та інструментарій для раннього виявлення та прогнозування ризиків завадостійкої передачі, захисту інформації в телекомунікаційних системах можливо застосовування засобів підвищення завадостійкості завдяки збільшенню відношення сигнал та завада за рахунок збільшення потужності передавача. Хоча цей метод, може виявитись економічно некоректним, оскільки він пов'язаний із значним збільшенням складності та вартості обладнання телекомунікаційної системи. Ще одним із методів та засобів підвищення завадостійкості передачі інформації є шлях використання неперервних сигналів та раціональний вибір виду модуляції сигналів. Різні види модуляції мають неоднакову завадостійкість. Застосовуючи різні види модуляції, які забезпечують значне розширення смуги частот сигналу, можна досягти істотного підвищення завадостійкості передачі інформації в телекомунікаційній системі. Також методом та способом підвищення завадостійкості дискретних систем є використання спеціального кодування інформації – використання завадостійких кодів. Підвищення завадостійкості передачі та оброблення інформації може бути досягнуто шляхом багаторазового повторення передачі інформації. Різновидом телекомунікаційних систем, в яких підвищення завадостійкості досягається за рахунок збільшення часу передачі, є системи із зворотним зв'язком. Завадостійке ж приймання інформації полягає у використанні надмірності отриманої інформації, апріорних відомостей про сигнали та завади.

Розгляд таких методів, способів та засобів забезпечення завадостійкої передачі інформації в телекомунікаційних системах показав, що завдання оптимального прийому полягає у використанні властивостей корисного сигналу, завади та каналу передачі для збільшення ймовірності правильного прийому. Для збільшення ймовірності правильного прийому потоків інформації має бути проведене попереднє оброблення прийнятого сигналу, яке забезпечує збільшення відношення сигнал та завада. Метод же накопичення застосовується у тому випадку, коли корисний сигнал протягом часу прийому є постійним та являє собою періодичну функцію. Він полягає у багаторазовому повторенні сигналу та підсумовуванні окремих його реалізацій в приймальному пристрої телекомунікаційної системи. Величину відношення сигнал та завада можна підвищити, якщо використати різницю між кореляційними функціями сигналу та завади. Цей метод є ефективним у випадку застосування в системах передачі періодичних та квазіперіодичних сигналів.

Висновки

На основі досліджень та аналізу методів та засобів забезпечення завадостійкої передачі інформації в телекомунікаційних системах можливо зробити висновок, що завдання прогнозування ризиків завадостійкої передачі, оптимального та якісного прийому і захисту інформації полягає у використанні властивостей корисного сигналу, завади та каналу передачі інформації для збільшення ймовірності правильного прийому. Для збільшення ймовірності правильного прийому має бути проведене попереднє оброблення прийнятого сигналу, яке забезпечує збільшення спів відношення сигнал та завада. Канали передачі інформації, що застосовують технології, які дозволяють у режимі реального часу гарантувати якісну, надійну та вірогідну передачу інформації в умовах впливу завад, краще забезпечують заданих значень показників вірогідної передачі інформації здійснюється за рахунок використання необхідного кодування. Знаючи властивості сигналу та завади, можна встановити певні відмінності між ними та використати їх для розроблення способів, засобів та методів забезпечення завадостійкої передачі. На відміну від спотворень завади носять випадковий характер та заздалегідь невідомі і тому не можуть бути повністю усунені. Таким чином, можна зробити висновок про те, що знання методів та засобів побудови сучасних каналів передачі

телекомунікаційних систем в умовах дії завад, дозволить будувати надійні канали передачі інформації.

Література

1. Бабич В.Д. Завадостійкість каналів зв'язку : навч. посібник / В.Д. Бабич, О.Д. Кувшинов, О.П. Лежнюк, С.П. Лівенцев. – К. : КВІУЗ, 2001. – 150 с.
2. Казимир В.В. Інформаційні основи побудови телекомунікаційних мереж / В.В. Казимир, В.В. Литвинов, С.М. Шкарлет, С.В. Зайцев // Вісник Чернігівського державного технол. університету. – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – 340 с.
3. Хмельницький Ю.В. Забезпечення достовірності передачі інформації та сервісних послуг для високошвидкісних мереж при завадах / Ю.В. Хмельницький, Д.П. Яковлев // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2017. – Вип. № 57. – С. 111–119.
4. Хмельницький Ю.В. Забезпечення вірогідної передачі інформації при впливі перешкод в телекомунікаційних мережах / Ю.В. Хмельницький, Г.Б. Жиров, Н.В. Кульпак // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2018. – Вип. № 59. – С. 161–170.
5. Кривуца В.Г. Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій / В.Г. Кривуца, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Б.Я. Костік, В.Ф. Олійник, С.М. Склярєнко // Підручник для ВНЗ. – К. : Техніка, 2007. – 384 с.
6. Хмельницький Ю.В. Аналіз моделей та прогнозування ризиків функціонування системи управління SDN архітектури / Ю.В. Хмельницький, О.В. Селюков, Д.М. Ковпа, О.С. Лісовецький // Збірник наукових праць Військового інституту Київського нац. університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2019. – № 64. – С. 113–134.
7. Хмельницький Ю.В. Методи та засоби забезпечення завадостійкої передачі інформації в телекомунікаційних мережах / Ю.В. Хмельницький, О.А. Каблуков, Л.О. Ряба, Л.В. Солодєєва, А.О. Ткач // Збірник наукових праць Військового інституту Київського нац. університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2019. – № 64. – С. 133–144.
8. Селюков О.В. Застосування інтелектуальних технологій для підвищення якості роботи телекомунікаційних мереж при невизначеності / О.В. Селюков, Ю.В. Хмельницький, І.В. Обертюк, Л.В. Солодєєва // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2017. – Вип. 56. – С. 146–153.

References

1. Babych V.D. Zavadosiikist kanaliv zviyazku : navch. posibnyk / V.D. Babych, O.D. Kuvshynov, O.P. Lezhniuk, S.P. Liventsev. – K. : KVIUZ, 2001. – 150 s.
2. Kazymyr V.V. Informatsiini osnovy pobudovy telekomunikatsiinykh merezh / V.V. Kazymyr, V.V. Lytvynov, S.M. Shkarlet, S.V. Zaitsev // Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnol. universytetu. – Chernihiv : ChDTU, 2013. – 340 s.
3. Khmelnytskyi Yu.V. Zabezpechennia dostovirnosti peredachi informatsii ta servisnykh posluh dlia vysokoshvydkisnykh merezh pry zavadakh / Yu.V. Khmelnytskyi, D.P. Yakovliev // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2017. – Vyp. № 57. – S. 111–119.
4. Khmelnytskyi Yu.V. Zabezpechennia virohidnoi peredachi informatsii pry vplyvi pereshkod v telekomunikatsiinykh merezhakh / Yu.V. Khmelnytskyi, H.B. Zhyrov, N.V. Kulpak // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2018. – Vyp. № 59. – S. 161–170.
5. Kryvutsa V.H. Upravlinnia telekomunikatsiiami iz zastosuvanniam novitnikh tekhnolohii / V.H. Kryvutsa, V.K. Steklov, L.N. Berkman, B.Ia. Kostik, B.F. Oliinyk, S.M. Skliarenko // Pidruchnyk dlia VNZ. – K. : Tekhnika, 2007. – 384 s.
6. Khmelnytskyi Yu.V. Analiz modelei ta prohozuvannia ryzkyiv funktsionuvannia systemy upravlinnia SDN arkhitektury / Yu.V. Khmelnytskyi, O.V. Seliukov, D.M. Kovpa, O.S. Lisovetski // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho nats. universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2019. – № 64. – S. 113–134.
7. Khmelnytskyi Yu.V. Metody ta zasoby zabezpechennia zavadosiikoї peredachi informatsii v telekomunikatsiinykh merezhakh / Yu.V. Khmelnytskyi, O.A. Kablukov, L.O. Riaba, L.V. Solodieieva, A.O. Tkach // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho nats. universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2019. – № 64. – S. 133–144.
8. Seliukov O.V. Zastosuvannia intelektualnykh tekhnolohii dlia pidvyshchennia yakosti roboty telekomunikatsiinykh merezh pry nevyznachenosti / O.V. Seliukov, Yu.V. Khmelnytskyi, I.V. Obertiuk, L.V. Solodieieva // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K., 2017. – Vyp. 56. – S. 146–153.

Рецензія/Peer review : 8.1.2020 р. Надрукована/Printed : 16.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Підченко С.К.