

## **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне  
значення результатів дисертації**

**СТУПКИ БОГДАНА АНАТОЛІЙОВИЧА**

**на тему: «Методи достовірного передавання інформації в системах з  
нероздільним факторіальним кодуванням даних за високої ймовірності  
бітової помилки»**

**для здобуття ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія**

Публічна презентація наукових результатів дисертації Ступки Богдана Анатолійовича відбулася на засіданні кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії (далі – ІБКІ) Черкаського державного технологічного університету (далі – ЧДТУ) 10 квітня 2024 року, протокол № 15.

### **ПРИСУТНІ:**

**Бабенко В.Г.**, завідувач кафедри ІБКІ, д.т.н., професор;

**Гресько С.О.**, ст. викладач кафедри ІБКІ;

**Лавданський А.О.**, доцент кафедри ІБКІ, к.т.н., доцент;

**Миронець І.В.**, доцент кафедри ІБКІ, к.т.н., доцент;

**Миронюк Т.В.**, доцент кафедри ІБКІ, к.т.н., доцент;

**Рудницький В.М.**, професор кафедри ІБКІ, д.т.н., професор;

**Сисоєнко С.В.**, доцент кафедри ІБКІ, к.т.н., доцент;

**Тазетдінов В.А.**, доцент кафедри ІБКІ, к.т.н., доцент;

**Фауре Е.В.**, професор кафедри ІБКІ, д.т.н., професор;

**Чепинога А.В.**, доцент кафедри ІБКІ, к.т.н., доцент;

**Шувалова Л.А.**, доцент кафедри ІБКІ, к.т.н., доцент;

**Ступка Б.А.**, здобувач ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» 4-го року навчання;

**Гупаленко В.С.**, здобувач ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 «Кібербезпека та захист інформації» 2-го року навчання.

Тему дисертації «Методи достовірного передавання інформації в системах з нероздільним факторіальним кодуванням даних за високої ймовірності бітової помилки» затверджено на засіданні вченої ради факультету інформаційних технологій і систем 5 лютого 2024 року (протокол № 6). Науковий керівник: д.т.н., професор Фауре Еміль Віталійович – призначений наказом Черкаського державного технологічного університету від 1 вересня 2020 року № 242-с.

## 1. Актуальність теми дослідження.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення достовірності передавання інформації в комп'ютерних системах передавання даних в умовах інтенсивних завад у каналі зв'язку. За високої ймовірності бітової помилки виникає необхідність використання додаткових підходів до завадостійкого передавання інформації. Крім того, необхідною передумовою початку фази переносу інформації є процедура встановлення синхронізму, яка має бути адаптована до високої ймовірності помилки в каналі зв'язку. Особливої складності набувають процеси синхронізації та передавання інформації за ймовірності бітової помилки на рівні, близькому до 0,5. Подібні умови можуть виникати за інтенсивних природних чи штучно створених завад у каналі зв'язку, а також за значного зниження рівня сигналу (внаслідок, наприклад, просторового віддалення передавача або зниження його енергетичних можливостей). Крім того, зазначена проблематика стосується й процесів інформаційної взаємодії між об'єктами машинної комунікаційної мережі з динамічно змінюваною структурою та унікальною системою команд або сповіщень для кожного об'єкта мережі.

Наведені вище проблемні питання породжують необхідність досліджень і розробок нових, покращених методів обробки, захисту та передавання інформації в комп'ютерних системах і мережах. Одним із напрямів створення нових методів забезпечення достовірності передавання інформації в системах передавання даних з короткими пакетами є використання теорії інтегрованого захисту інформації на основі факторіального кодування даних. Серед існуючих на сьогодні підходів щодо вирішення завдання поєднання завадостійкого кодування та криптографічного захисту використання перестановок як формату запису числа в факторіальній системі числення є відносно новим, але перспективним підходом, що дозволяє досягти розумний компроміс між достовірністю передавання даних, криптографічною стійкістю, відносною швидкістю передавання й швидкістю коду. Водночас, питання використання факторіальних кодів у спеціалізованих комп'ютерних і комунікаційних системах, у яких є необхідність забезпечення заданого рівня достовірності передавання даних в умовах високої інтенсивності завад у каналі зв'язку, є недостатньо дослідженим.

Дисертаційне дослідження розглядає гіпотезу, що нероздільне факторіальне кодування, яке є надлишковим і стійким до завад, може бути інструментом для забезпечення необхідного показника достовірності передавання даних у каналах зв'язку з високою ймовірністю бітової помилки. Такий результат може бути досягнутий за рахунок розроблення методів циклової синхронізації та методу завадостійкого передавання перестановки-



носія, що дозволить забезпечити захищений від несанкціонованого доступу зв'язок за високих рівнів природного або штучного шуму.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, результати яких представлені в дисертаційній роботі, відповідають пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки України «Інформаційні та комунікаційні технології» та його тематичному напрямку «Інформаційно-комунікаційні та радіоелектронні системи та технології, засоби радіоелектронної боротьби для забезпечення національної безпеки і оборони. Інформаційна безпека та кібербезпека» і виконувалися відповідно до програм і планів науково-дослідних робіт Черкаського державного технологічного університету, в тому числі в рамках держбюджетної науково-технічної (експериментальної) розробки молодих вчених «Розробка методів, протоколів і засобів захищеного інформаційного обміну з використанням трьохетапного криптографічного протоколу на основі перестановок в умовах зашумленості каналів зв'язку» (ДР № 0123U100270), в якій автор був виконавцем.

**Метою дисертаційної роботи** є забезпечення достовірності передавання інформації в системах з нероздільним факторіальним кодуванням даних за високої ймовірності бітової помилки шляхом розробки методів циклової синхронізації та методу достовірного передавання кодових слів нероздільного факторіального коду.

Досягнення означеної мети передбачає виконання наступних завдань:

1. Розробити метод циклової синхронізації для комунікаційних систем передавання інформації з нероздільним факторіальним кодуванням.
2. Розробити метод циклової синхронізації для комунікаційних систем передавання інформації з нероздільним факторіальним кодуванням за ймовірності бітової помилки, близької до 0.5.
3. Розробити метод достовірного передавання інформації в системах зв'язку з нероздільним факторіальним кодуванням даних за ймовірності бітової помилки, близької до 0.5.
4. Провести порівняльні експериментальні оцінки розроблених методів циклової синхронізації, достовірного передавання інформації, сформулювати рекомендації щодо їх застосування.

Для вирішення завдання розробки методів циклової синхронізації, методу достовірного передавання інформації в системах зв'язку з нероздільним факторіальним кодуванням даних використано методи: теорії систем передавання даних, теорії завадостійкого кодування, теорії ймовірностей і математичної статистики, статистичного аналізу, комбінаторики, функційного та об'єктно-орієнтованого програмування. Для порівняльної експериментальної оцінки розроблених методів використано методи: імітаційного моделювання,

теорії ймовірностей і математичної статистики, статистичного аналізу, комбінаторики, функційного та об'єктно-орієнтованого програмування.

**Об'єктом дослідження** є процеси достовірного передавання інформації у комп'ютерних і комунікаційних системах і мережах.

**Предмет дослідження** – методи та засоби забезпечення циклової синхронізації та достовірного передавання інформації в системах з нероздільним факторіальним кодуванням даних.

**2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації.**

У дисертаційній роботі вирішено науково-технічну задачу забезпечення достовірності передавання інформації на основі використання нероздільного факторіального кодування даних шляхом розробки методів встановлення циклової синхронізації та методу завадостійкого передавання перестановки з використанням нероздільного факторіального кодування в каналах зв'язку з високою ймовірністю бітової помилки.

**3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, їхня новизна.**

Дисертаційне дослідження містить у собі наступні наукові положення, розроблені особисто дисертантом:

– *Вперше розроблено* метод циклової синхронізації факторіальних кодів, який за рахунок використання як синхрокомбінації перестановки чисел, її поділу на префіксну та суфіксну частини, а також за рахунок мажоритарної обробки прийнятих фрагментів, де довжина фрагмента дорівнює довжині синхрокомбінації, дозволяє забезпечити циклову синхронізацію приймальної та передавальної станцій комунікаційних систем передавання інформації з нероздільним факторіальним кодуванням.

– *Набув подальшого розвитку* метод циклової синхронізації факторіальних кодів, який за рахунок використання як синхрокомбінації перестановки чисел, яка має максимальне значення мінімальної відстані Хеммінга від її двійкового представлення до всіх її циклічних зсувів, а також за рахунок кореляційної та мажоритарної обробки прийнятих фрагментів, де довжина фрагмента дорівнює довжині синхрокомбінації, дозволяє підвищити ймовірність правильної синхронізації та зменшити ймовірність хибної синхронізації за ймовірності бітової помилки, близької до 0.5.

– *Вперше розроблено* метод достовірного передавання перестановок, який за рахунок подання кожного елементу перестановки у вигляді циклічного двійкового зсуву перестановки-переносника, що має максимальне значення мінімальної відстані Хеммінга від її двійкового представлення до всіх її циклічних зсувів, а також за рахунок кореляційної та мажоритарної



обробки прийнятих фрагментів, де довжина фрагмента дорівнює довжині елементу перестановки, дозволяє забезпечити завадостійкий інформаційний обмін за ймовірності бітової помилки, близької до 0.5.

#### **4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.**

Наукові положення, висновки та рекомендації роботи обґрунтовано достатньою мірою. Обґрунтованість отриманих теоретичних результатів дисертації базується на використанні теорії систем передавання даних, теорії завадостійкого кодування, теорії ймовірностей і математичної статистики, статистичного аналізу, комбінаторики, функційного та об'єктно-орієнтованого програмування.

Для підтвердження висунутих наукових положень здобувачем виконано дослідні випробування на основі розробленої програмної імітаційної моделі передавання даних, а також експериментів з використанням мови програмування Python, середовища розробки PyCharm та його модулів collections, multiprocessing, random, os для тестування розроблених методів і алгоритмів. Показано, що застосування запропонованих підходів забезпечує зменшення витрат часу входження в синхронізм та підвищення стійкості комунікаційної системи в умовах впливу завад.

#### **5. Рівень теоретичної підготовки здобувача, його особистий внесок у розв'язання конкретного наукового завдання. Рівень обізнаності здобувача з результатами наукових досліджень інших учених.**

Дисертантом виконано змістовне дослідження предметної області, розглянуто основні методи забезпечення достовірного передавання інформації в комунікаційних системах. На основі опрацювання значної кількості літературних джерел, наукових публікацій, патентного пошуку автором роботи в максимальній мірі враховано наукові досягнення в обраному напрямку досліджень. Отримані результати свідчать про ґрунтовні теоретичні знання дисертанта в області інформаційних технологій, комп'ютерних систем і мереж, математичного та комп'ютерного моделювання.

#### **6. Наукове та практичне значення роботи.**

Наукове значення роботи полягає в розробці нових методів циклової синхронізації та достовірного передавання інформації в системах зв'язку з нероздільним факторіальним кодуванням даних. З практичної точки зору це дозволяє розробити більш ефективні алгоритми достовірного передавання інформації в системах з нероздільним факторіальним кодуванням даних за високої ймовірності бітової помилки.

#### **7. Використання результатів роботи.**

Результати дисертаційного дослідження можуть бути впроваджені в освітній процес вітчизняних і зарубіжних закладів вищої освіти, а також використані для розробки нових та удосконалення існуючих мережевих протоколів передавання даних з короткими пакетами в умовах високого рівня природних або штучних завад, трьохетапних криптографічних протоколів, зокрема, трьохетапного криптографічного протоколу на основі перестановок.

### **8. Повнота викладу матеріалів дисертації.**

За матеріалами дисертаційного дослідження опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 6 наукових статей, з яких 3 публікації в періодичних виданнях, що включені до наукометричної бази Scopus, і 3 – у вітчизняних фахових наукових виданнях, 2 матеріалів і тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях і 7 патентів України на корисні моделі.

Повний перелік наукових публікацій:

1. Е. В. Фауре, В. В. Швидкий, А. І. Щерба, О. О. Харін, і Б. А. Ступка, «Метод циклової синхронізації на основі перестановок», *Вісник черкаського державного технологічного університету*, вип. 4, с. 67–76, 2020, doi: 10.24025/2306-4412.4.2020.222439.

2. Е. В. Фауре і Б. А. Ступка, «Імітаційне моделювання процесу встановлення циклового синхронізму в системах зв'язку з нероздільним факторіальним кодуванням», *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, вип. 4, с. 16–24, 2021, doi: 10.24025/2306-4412.4.2021.252807.

3. J. Al-Azzeh, E. Faure, A. Shcherba, і B. Stupka, «Permutation-based frame synchronization method for data transmission systems with short packets», *Egypt. Inform. J.*, том 23, №3, с. 529–545, 2022, doi: 10.1016/j.eij.2022.05.005.

**(Scopus, Q1)**

4. E. Faure, A. Shcherba, M. Makhynko, B. Stupka, J. Nikodem, і R. Shevchuk, «Permutation-Based Block Code for Short Packet Communication Systems», *Sensors*, том 22, №14, с. 5391, 2022, doi: 10.3390/s22145391. **(Scopus, Q1)**

5. Е. В. Фауре і Б. А. Ступка, «Залежність ефективності кадрової синхронізації нероздільних факторіальних кодів від параметрів синхронізації», *Електронне моделювання*, том 44, № 6, с. 21–35, 2022, doi: 10.15407/emodel.44.06.021.

6. E. Faure, A. Shcherba, B. Stupka, I. Voronenko, і A. Baikenov, «A Method for Reliable Permutation Transmission in Short-Packet Communication Systems», в *Information Technology for Education, Science, and Technics*, том 178, E. Faure, O. Danchenko, M. Bondarenko, Y. Tryus, C. Bazilo, і G. Zaspа, Ред., в *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 178.,



Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, с. 177–195. doi: 10.1007/978-3-031-35467-0\_12. (Scopus)

7. E. Faure, A. Shcherba, i B. Stupka, «Permutation-Based Frame Synchronisation Method for Short Packet Communication Systems», в *2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Cracow, 22-25 september 2021*, Cracow, Poland: IEEE, 2021, с. 1073–1077. doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660996. (Scopus).

8. Е.В. Фауре, А.І. Щерба, Б.А. Ступка, А.С. Байкенов, «Метод достовірного передавання перестановок у системах зв'язку з короткими пакетами», в *Інформаційні технології в освіті, науці і техніці (ІТОНТ-2022): Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції, Черкаси, 23-25 червня 2020р.*, Черкаси: ЧДТУ, 2020, с. 70-71.

9. Е. В. Фауре, В. В. Швидкий, О.О. Харін, А.О. Лавданський, Б.А. Ступка, «Спосіб циклової синхронізації», Україна. Пат. 148842, 22.09.2021.

10. Е. В. Фауре, В. В. Швидкий, О.О. Харін, А.О. Лавданський, Б.А. Ступка, «Система циклової синхронізації», Україна. Пат. 148847, 22.09.2021.

11. Е. В. Фауре, А. І. Щерба, А.О. Лавданський, Б.А. Ступка, «Спосіб циклової синхронізації», Україна. Пат. 150959, 18.05.2022.

12. Е. В. Фауре, А. І. Щерба, А.О. Лавданський, Б.А. Ступка, «Система циклової синхронізації», Україна. Пат. 150883, 04.05.2022.

13. Е. В. Фауре, А. І. Щерба, М.В. Махинько, Б.А. Ступка, «Спосіб прогнозування потужності нероздільного факторіального коду», Україна. Пат. 152846, 19.04.2023.

14. Е. В. Фауре, А. І. Щерба, М.В. Махинько, Б.А. Ступка, «Спосіб побудови нероздільного факторіального коду», Україна. Пат. 152845, 19.04.2023.

15. Е. В. Фауре, А. І. Щерба, А.О. Лавданський, К.В. Базіло, Б.А. Ступка, «Спосіб циклової синхронізації», Україна. Пат. 153803, 30.08.2023.

У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: [1], [9], [10] – розроблено та досліджено метод циклової синхронізації на основі поділу синхрокомбінації на префіксну й суфіксну частини для систем з нероздільним факторіальним кодуванням в умовах впливу в каналі зв'язку завад високої інтенсивності; [2] – досліджено ефективність методів циклової синхронізації систем передавання інформації з нероздільним факторіальним кодуванням; [3] – реалізовано та досліджено алгоритм перемішування отриманих з каналу зв'язку фрагментів, для алгоритмів циклової синхронізації в системах передачі даних із короткими пакетами, зокрема тих, які використовують нероздільне факторіальне кодування; [4] –

досліджено завадостійкість нероздільного факторіального коду; [5] – реалізовано алгоритм циклової синхронізації нероздільних факторіальних кодів, застосовано операції перемішування отриманих з каналу зв'язку фрагментів для підвищення ефективності циклової синхронізації; [6], [8] – виконано розробку методу достовірного передавання перестановки в каналах зв'язку з імовірністю бітової помилки, близькою до 0.5; [7], [11], [12] – розроблено та досліджено метод циклової синхронізації на основі кореляційної обробки для систем з нероздільним факторіальним кодуванням в умовах впливу в каналі зв'язку завад високої інтенсивності; [13], [14] – досліджено потужність нероздільного факторіального коду; [15] – описано алгоритм циклової синхронізації з використанням процедури перемішування для систем передавання інформації з нероздільним факторіальним кодуванням.

Результати аналізу роботи, в тому числі за допомогою перевірки тексту дисертації з використанням системи UNICHECK на пошук та аналіз текстових збігів, свідчать про відповідність дисертації принципам академічної доброчесності.

**9. Апробація матеріалів дисертації** відбувалась на наступних міжнародних наукових конференціях: 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2021) (Poland, 22-25 September 2021); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2022), (Черкаси, 23-25 червня 2022 р.).

#### **10. Оцінка мови та стилю дисертації.**

Дисертацію написано з дотриманням норм і правил граматики, а стиль викладу в ній матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує легкість і доступність їх сприйняття.

Дисертація повною мірою відповідає пунктам 6–8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради про присудження ступеня доктора філософії в Черкаському державному технологічному університеті». Робота містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які виконують конкретне наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 Інформаційні технології.

Дисертацію виконано державною мовою та відповідно до наявних вимог щодо оформлення.

**11. Відповідність змісту дисертації освітньо-науковій програмі, з якої вона подається до захисту.**

Зміст дисертації повністю відповідає спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія освітньо-наукової програми «Комп'ютерні системи та мережі».



## 12. Рекомендація дисертації до захисту.

Враховуючи рівень наукових досліджень, актуальність теми роботи та наукову новизну отриманих результатів, учасники фахового семінару кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії одногосно ухвалили рішення затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Ступки Богдана Анатолійовича на тему «Методи достовірного передавання інформації в системах з нероздільним факторіальним кодуванням даних за високої ймовірності бітової помилки» для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія галузі знань 12 Інформаційні технології та рекомендувати до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді Черкаського державного технологічного університету для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

У голосуванні брали участь 11 осіб. Результати голосування:

«ЗА» – 11,

«ПРОТИ» – немає,

УТРИМАЛИСЬ – немає.

Головуючий:

завідувач кафедри інформаційної безпеки

та комп'ютерної інженерії,

д.т.н, професор



Віра БАБЕНКО