

ВІДГУК
офіційного опонента

доктора фізико-математичних наук, професора кафедри комп'ютерних систем та технологій Одеського національного університету імені І. І. Мечникова, професора Панченка Бориса Євгенійовича на дисертаційну роботу Шевченко Марини Сергіївни «Моделі та метод арифметичного складання двійкових біноміальних чисел в інформаційно-комунікаційних технологіях», подану на здобуття наукового ступеню доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Ступінь актуальності теми дисертаційної роботи.

Поширення інформаційно-комунікаційних технологій із застосуванням неоднорідних систем числення забезпечується завдяки позитивним та корисним властивостям неоднорідних чисел, які ними генеруються. Розв'язання багатьох інформаційних задач на основі неоднорідних чисел є більш ефективним з точки зору підвищення швидкодії, забезпечення надійності та відмовостійкості різних інформаційних систем. Перспективним вважається застосування в інформаційно-комунікаційних технологіях саме біноміальних систем числення та породжуваних ними біноміальних чисел, зокрема двійкових. При розв'язанні задач комбінаторної оптимізації, генерування комбінаторних об'єктів, стиснення інформації та наскрізного контролю цілісності двійкові біноміальні числа дозволяють досягати унікальних характеристик за часом виконання та обсягом програмно-апаратних витрат. На сьогодні подальшому впровадженню двійкових біноміальних систем числення перешкоджає відсутність машинної арифметики біноміальних чисел. Переважна більшість інформаційних задач потребує обчислювальної обробки, зокрема арифметичного складання даних, які представляються двійковими біноміальними числами. Існуючі підходи до знаходження результатів арифметичної суми двійкових біноміальних чисел, по-перше, не пов'язані з числовими властивостями біноміальних чисел, а, по-друге, вимагають при практичному застосуванні значних обчислювальних витрат.

Отже, для підвищення продуктивності інформаційних систем, а також розробки нових та вдосконаленні існуючих інформаційно-комунікаційних технологій існують значні можливості двійкових біноміальних систем числення та біноміальних чисел, Тому тема дисертаційної роботи здобувачки Шевченко М. С. є актуальною. А розв'язання науково-практичних задач дослідження та розробка моделей і методу арифметичного складання двійкових біноміальних чисел є науково та практично значущими.

Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями.

Вагомість результатів дисертаційних досліджень здобувачки Шевченко М. С. підтверджується тим, що наукова робота виконувалась у межах науково-дослідних робіт кафедри електроніки і комп'ютерної техніки Сумського державного університету за темами № ДР 0116U005238 "Засоби кодування і перетворення інформації в телекомунікаційних системах" у 2016-2021 рр.; №

ДР 0121U113560 «Сучасні методи кодування в інформаційних системах» у 2021-2026 рр. У цих науково-дослідних роботах кафедри авторка дисертації брала активну і плідну участь як виконавець. Тематика представленої дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2022 року з розділу «Інформаційні та комунікаційні технології» і стратегічним пріоритетним напрямкам інноваційної діяльності в Україні на 2011-2022 рр. «Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки».

Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертація здобувачки Шевченко М. С. виконано на високому науково-методичному рівні з використанням комплексу сучасних методів дослідження: методів системного аналізу і синтезу, теорії множин, теорії інформації і кодування чисел, комбінаторного аналізу і теорії алгоритмів. Основні наукові твердження та висновки, що сформульовані в дисертаційній роботі, логічно випливають з одержаних результатів та є достатньо обґрунтованими. Вони у повній мірі відповідають поставленій меті, цільовій функції та науково-практичним завданням дослідження. Чітко структуровані основні напрямки дисертаційного дослідження, зокрема питання синтезу матричних моделей двійкових біноміальних чисел та їх арифметичного підсумовування, вибору перетворень параметрів вагових коефіцієнтів та координат комірок матриці складання, удосконалення інформаційно-комунікаційних технологій на основі додавання біноміальних чисел. Теоретичні та практичні результати наукової роботи доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в наукових фахових виданнях. Про достовірність отриманих результатів свідчать їх взаємоузгодженість, відповідність літературним науковим даним, а також позитивні результати дослідно-промислових випробувань. Таким чином, вищевикладене підтверджує обґрунтованість та достовірність наукових тверджень, висновків і рекомендацій, які викладені в дисертаційній роботі Шевченко М. С.

Наукова новизна положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі. Наукова та практична цінність.

У дисертаційній роботі Шевченко М. С. були отримані наступні нові наукові результати.

Вперше синтезована матрична модель двійкових біноміальних чисел, яка базується на матриці вагових коефіцієнтів і враховує функціональний зв'язок між значеннями попередніх біноміальних розрядів і їх позиціями в розрядній сітці біноміальних чисел.

Вперше побудована матрична модель біноміального арифметичного складання, на основі якої виконується підсумовування двійкових біноміальних чисел, яка дозволяє замінити операції зі значенням біноміальних коефіцієнтів на операції з їх верхніми та нижніми параметрами, тобто з координатами стовпців та рядків матриці.

Вперше розроблений метод арифметичного складання двійкових біноміальних чисел, який на основі введених перетворень над комірками

матриці складання провадить підсумовування двійкових біноміальних чисел, оперуючи координатами комірок матриці замість оперування зі значеннями біноміальних вагових коефіцієнтів.

Удосконалені методи оцінки максимальних обсягів обчислювальних витрат, які потребуються для практичної реалізації арифметичного складання двійкових біноміальних чисел.

Удосконалена інформаційно-комунікаційна технологія стиснення рівноважних кодів із застосуванням арифметичного складання двійкових біноміальних чисел з метою підвищення коефіцієнтів стиснення інформаційних масивів, складених з рівноважних та квазірівноважних комбінацій.

Удосконалені моделі генерування кодів-сполучень. На основі арифметичної операції складання двійкових біноміальних чисел прискорено процес генерування та підвищено функціональну гнучкість систем генерування кодових послідовностей.

Удосконалені також і моделі оброблення кодів-сполучень, за допомогою яких відображаються сигнали в інформаційно-комунікаційних технологіях. На основі операцій додавання або добутку із застосуванням біноміального арифметичного складання забезпечено більш якісну та швидкодіючу обробку закодованих сигналів.

Наукова новизна дисертаційних досліджень Шевченко М. С. полягає в дослідженні та розробленні методу арифметичного складання двійкових біноміальних чисел на основі отриманих матричних моделей біноміальних чисел та матриці біноміального складання. Слід зауважити, що підходи та процедури проведення арифметичної операції над двійковими біноміальними числами раніше не були розроблені через складні функціональні зв'язки між ваговими коефіцієнтами та значеннями біноміальних розрядів. Існуючі способи знаходження суми біноміальних чисел, які використовуються сьогодні на практиці, відрізняються суттєвими витратами та не пов'язані з числовими властивостями самих біноміальних чисел.

Теоретичні розробки дисертації були логічно доведені авторкою до конкретних прикладних алгоритмів та рекомендацій. Обґрунтовано використання запропонованих моделей та методу складання двійкових біноміальних чисел для створення нових та вдосконалення вже існуючих інформаційно-комунікаційних технологій стиснення інформації, генерування завадостійких кодів та оброблення сигналів, що представлені кодами-сполученнями.

Отримані наукові результати дисертаційних досліджень реалізовані при створенні програмно-алгоритмічного забезпечення розподілених автоматизованих систем керування технологічними процесами транспортування та розподілу електричної енергії ТОВ «ЕСП «Преобразователь», м. Суми, акт впровадження № 23/06-07 від 07.06.2023 р., що дало можливість підвищити швидкість передачі даних в інформаційно-вимірjuвальних каналах автоматизованих систем у середньому на 12%, а також забезпечити додатковий захист інформації від помилок при виконанні арифметичних дій із застосуванням двійкових біноміальних чисел та методу біноміального

арифметичного складання. Одержані результати також використовуються у науково-виробничій діяльності відділу № 8 «Моделювання енергетичних процесів і систем» Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України, м. Київ, при дослідженні енергетичних процесів в силових енергетичних установках, акт впровадження від 06.09.2023 р., що зробило можливим прискорення розв'язання задач з моделювання.

Повнота викладення наукових і прикладних результатів дисертації в опублікованих працях.

Аналізуючи наукові праці здобувачки, варто зазначити, що основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 15 працях, з яких одна стаття у спеціалізованому періодичному фаховому виданні, віднесеному до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт, що індексується наукометричною базою даних Scopus, 5 статей у спеціалізованих періодичних фахових виданнях, віднесених до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт, та 9 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних науково-практичних конференцій. В опублікованих працях авторкою в повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати та висновки дисертації. Наукові положення та результати досліджень, які отримані дисертанткою, проходили апробацію та доповідалися на наукових конференціях різного рівня, як національного, так і міжнародного.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеності.

Дисертація Шевченко М. С. є завершеною науковою роботою, яка складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та шести додатків.

Наукові матеріали дисертаційної роботи викладені на 194 сторінках, з яких основний текст без анотації, списку публікацій здобувачки, змісту, списку використаних джерел і додатків становить 165 сторінок. Матеріали дослідження проілюстровано 13 таблицями та 18 рисунками. Список використаних джерел містить 89 найменувань, розміщених на 10 сторінках. Кількість додатків – 6 на 13 сторінках.

Анотація відображає основний зміст дисертації, достатньо повно розкриває отримані результати, практичну цінність і значущість наукової роботи.

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, визначається основна науково-прикладна задача, що вирішується, викладені мета та основні завдання дисертації, задаються об'єкт та предмет дослідження, визначаються необхідні методи досліджень для досягнення мети роботи, описані наукова новизна та практична цінність одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувачки, наведені дані про структуру й обсяг представленої дисертаційної роботи.

У **першому розділі** проаналізовано сучасний стан розвитку теорії неоднорідних структурних систем числення та їх роль для створення нових і підвищення ефективності існуючих інформаційно-комунікаційних технологій. У зв'язку з цим особлива увага приділяється двійковим біноміальним системам

числення та біноміальним числам, що ними генеруються, через їх унікальні позитивні якості, завдяки яким можливе ефективне розв'язання актуальних інформаційних задач щодо перетворення інформації. Проведений аналіз продемонстрував, що відсутність машинної арифметики для біноміальних систем числення, зокрема арифметичного додавання біноміальних чисел, перешкоджає подальшому впровадженню біноміальних систем числення і розробці на їх основі ефективних інформаційно-комунікаційних технологій. По результатам викладення першого розділу сформульовані цільова функція та завдання дисертаційних досліджень.

У **другому розділі** викладені теоретичні положення додавання двійкових біноміальних чисел у вигляді доведених теорем, які складають математичну основу для проведення вказаної арифметичної операції. З урахуванням складних функціональних зв'язків між ваговими біноміальними коефіцієнтами та значеннями розрядів біноміальних чисел запропоновані матричні моделі біноміальних чисел та їх арифметичного складання, які є найбільш зручними та ефективними з погляду практичної реалізації в інформаційно-комунікаційних технологіях. По результатам викладення другого розділу розроблено метод арифметичного складання двійкових біноміальних чисел, який знайшов практичне втілення у запропонованих прикладних алгоритмах із застосуванням матричних моделей та динамічних масивів.

У **третьому розділі** проведено аналіз та порівняльну оцінку часових та програмно-апаратних витрат при впровадженні запропонованого методу біноміального арифметичного складання на практиці. При аналізі часу виконання операції була взята за основу рівноймовірнісна модель оцінювання, а математично обґрунтований підхід до отримання результатів щодо граничних значень максимального обсягу часових витрат логічно доводить достатньо суттєву перевагу розробленого методу перед існуючими способами знаходження суми біноміальних чисел на основі проміжних ступеневих систем числення та біноміальних лічильних пристроїв. Отримані результати щодо обсягів програмно-апаратних витрат дозволяють зробити висновок, що основна частка витрат обумовлена ємністю пам'яті, яка потребується для зберігання матриці або динамічного масиву арифметичного складання. Це виграшно відрізняє розроблений метод біноміального складання, який досліджується, від табличного способу та способів, що базуються на застосуванні проміжних ступеневих систем числення або біноміальних лічильних пристроїв.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи доведено науково-практичну значущість та цінність розроблених моделей та методу арифметичного складання двійкових біноміальних чисел через їх застосування в інформаційно-комунікаційних технологіях стиснення двійкової інформації, генерування кодів-сполучень, зокрема поширених рівноважних та квазірівноважних кодових комбінацій, обчислювальної обробки сигналів, представлених кодами-сполученнями. Приведені в даному розділі удосконалені моделі процесів та одержані результати демонструють підвищення ефективності інформаційно-комунікаційних технологій, які застосовують моделі та метод арифметичного складання двійкових біноміальних чисел, що знаходить відображення у

збільшенні швидкодії, забезпеченні більшої функціональності або зменшення програмно-апаратних витрат.

Висновки в повній мірі відповідають поставленій меті та завданням дисертаційної роботи, чітко і логічно витікають з проведених наукових досліджень.

Оформлення дисертаційної роботи за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим МОН України, наказ № 40 від 12.11.2017. Мова і стиль викладання дисертації точно та чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати.

Академічна доброчесність.

Порушень академічної доброчесності в дисертаційній роботі та наукових публікаціях дисертантки, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи.

1. При аналізі ролі неоднорідних систем числення у розв'язанні інформаційних задач (розділ 1, підрозділ 1.2) доцільно систематизувати у вигляді таблиці відмінності та позитивні властивості досліджуваних двійкових біноміальних систем числення та генерованих ними біноміальних чисел.

2. Для більш повного і всебічного представлення позитивних властивостей біноміальних чисел, позитивної ролі операції біноміального арифметичного додавання в інформаційно-комунікаційних технологій (підрозділі 1.2) вважається за доцільне надати оцінку надмірності та завадостійкості двійкових біноміальних чисел.

3. При розгляді матриці вагових коефіцієнтів (підрозділ 2.1, вираз (2.1.26), с. 73-74) як основи матриці біноміального арифметичного складання було б корисно для більшого розуміння привести приклад її формування для конкретних значень параметрів n і k двійкових біноміальних чисел.

4. Також у підрозділі 2.1 (с. 73, 77) не зовсім чітко висвітлена роль зворотних перетворень V^{-1} та D^{-1} параметрів комірок матриці біноміального складання під час проведення арифметичної операції.

5. При функціонуванні алгоритму складання на основі матричних моделей виникає питання критерію раціонального вибору однієї з декількох перетворюваних комірок (α_s, Δ_s) матриці складання при рівності їх ваг під час формування поточної комірки (α_t, Δ_t) (підрозділ 2.2, с. 119). Вважається, що це питання потребує більш повного розкриття і додаткової уваги дисертантки при подальших наукових дослідженнях за цим напрямом.

6. Не зовсім чітко в підрозділі 3.1 (с. 131) висвітлено природу максимуму графіку залежності максимального обсягу часових витрат при проведенні арифметичного складання двійкових біноміальних чисел на основі матричних моделей (додаток В.1, рисунок В.1).

7. При розгляді інформаційно-комунікаційної технології стиснення рівноважних кодів із застосуванням біноміального арифметичного складання (підрозділ 4.3, с. 164) доцільно більш деталізовано висвітлити процес відновлення біноміальних чисел, коли стиснута інформація має послідовну форму представлення.

Зазначені зауваження не знижують наукову цінність роботи та отриманих дисертанткою результатів і не носять принципового характеру.

Дисертаційна робота є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих авторкою для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок авторки в науку.

Тематика досліджень повністю відповідає вимогам спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Загальні висновки.

У цілому дисертаційна робота Шевченко Марини Сергіївни «Моделі та метод арифметичного складання двійкових біноміальних чисел в інформаційно-комунікаційних технологіях» є завершеною науковою працею, що спрямована на отримання нових науково обґрунтованих теоретичних та практичних результатів, які в сукупності є значними для створення нових ефективних та удосконалення існуючих інформаційно-комунікаційних технологій на основі двійкових біноміальних систем числення та генерованих ними двійкових біноміальних чисел.

Дисертаційна робота «Моделі та метод арифметичного складання двійкових біноміальних чисел в інформаційно-комунікаційних технологіях» повністю відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», із змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а дисертантка Шевченко Марина Сергіївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

професор кафедри комп'ютерних систем та технологій Одеського національного університету імені І. І. Мечникова, доктор фізико-математичних наук, професор



Борис ПАНЧЕНКО

10 листопада 2023 р.

