

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки Харківського національного університету радіоелектроніки, професора Кривулі Геннадія Федоровича 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.

Двійкові системи числення не завжди можуть успішно задовольняти жорстким вимогам, які пред'являються до сучасних інформаційних систем та інформаційно-комунікаційних технологій, щодо досягнення необхідної швидкодії, забезпечення затребуваних рівнів відмовостійкості та завадостійкості без додаткових, досить суттєвих апаратних та/або програмних витрат.

Ця проблема достатньо гостро постає у разі розв'язання спеціалізованих завдань з комбінаторної оптимізації, генерування комбінаторних об'єктів, стиснення нетипових даних, шифрування та самодіагностики. У цих випадках перспективним є застосування двійкових біноміальних систем числення та генерованих ним біноміальних чисел, які володіють такими корисними та позитивними властивостями як надмірність, наявність вбудованих механізмів по контролю помилок при інформаційних перетвореннях, здатність генерувати різноманітні комбінаторні об'єкти, спрощеність переходу від звичайних кодових послідовностей до біноміальних чисел і навпаки. Але поширенню двійкових біноміальних систем числення та відповідних їм чисел перешкоджає відсутність розробленої біноміальної машинної арифметики, зокрема правил і процедур арифметичного складання двійкових біноміальних чисел, прийнятих з погляду обсягів часових та програмно-апаратних витрат. Існуючі засоби знаходження результатів біноміального додавання характеризуються або значними програмно-апаратними витратами, як, наприклад табличний спосіб або спосіб на основі біноміальних лічильних пристроїв, або значними часовими витратами, як це властиве при використанні проміжних ступеневих систем числення і вже вказаного способу на основі біноміальних лічильних пристроїв. Тому тема дисертаційної роботи здобувачки Шевченко М. С. є **актуальною**, а вирішення науково-прикладної задачі з дослідження та розробки моделей та методу арифметичного складання двійкових біноміальних чисел, які б забезпечили мінімальні часові витрати проведення операції при обмеженнях на обсяг програмно-апаратних витрат для ефективного застосування в інформаційно-комунікаційних технологіях є **науково та практично значущою**.

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

Тематика дисертаційної роботи здобувачки Шевченко М. С. відповідає пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2022 року з розділу «Інформаційні та комунікаційні технології» і стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2011-2022 рр. «Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки». Дисертаційна робота проводилась відповідно до плану науково-дослідницьких робіт Сумського державного університету при виконанні кафедрою електроніки і комп'ютерної техніки науково-дослідницьких робіт за темами "Засоби кодування і перетворення інформації в телекомунікаційних системах", № ДР 0116U005238 за 2016-2021 рр.; «Сучасні методи кодування в інформаційних системах», № ДР 0121U113560 за 2021-2026 рр. за рахунок коштів Сумського державного університету. Вказані теми науково-дослідницьких робіт відповідають науково-технічній програмі Міністерства освіти і науки України. У цих науково-дослідних роботах здобувачка брала активну і плідну участь як виконавець.

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

Грунтований аналіз дисертаційної роботи здобувачки Шевченко М. С. показав, що теоретичні твердження, що висвітлені в роботі, є логічно доведеними та мають достатньо глибокий науковий рівень, а сформульовані науково-практичні висновки та рекомендації є актуальними, повними та належним чином обґрунтованими. При отриманні науково-практичних результатів авторкою були проведені усі необхідні теоретичні дослідження та практичні експерименти із застосуванням широкого кола вітчизняних та міжнародних вузькопрофільних актуальних джерел. Достовірність тверджень і висновків, зроблених здобувачкою Шевченко М. С., підтверджується використанням відповідних до тематики наукової роботи класичних та сучасних методів досліджень, зокрема коректністю поставлених актуальних завдань, що потребують розв'язання, методами теорії структурних позиційних систем числення і кодування чисел, теорії інформації та алгоритмів. Результати теоретичних та практичних досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в наукових фахових виданнях. Крім того, про достовірність отриманих результатів свідчить їх взаємоузгодженість, відповідність літературним джерелам і позитивні результати впровадження. В результаті проведення дисертаційних досліджень здобувачці Шевченко М. С. вдалося повною мірою досягти сформульованої мети наукової роботи та вирішити поставлені завдання дисертації. До кожного етапу наукової праці приведені передумови та висновки, які дозволяють всебічно, по суті та коротко зрозуміти зміст кожного етапу дослідження та практичну значущість досягнутих результатів. Дисертаційна робота також має загальні висновки, що в повній мірі відображують та логічно зв'язують отримані науково-практичні результати, які

демонструють практичні аспекти їх застосування та перспективи подальшого розвитку наукових досліджень.

Вищевикладене свідчить про обґрунтованість та достовірність наукових тверджень, висновків і рекомендацій, які викладені в дисертаційній роботі Шевченко Марини Сергіївни.

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

Науковою новизною науково-практичних результатів дисертації Шевченко М. С. є отримання методу арифметичного складання двійкових біноміальних чисел на основі розроблених матричних моделей біноміальних чисел та матриці біноміального складання. При цьому було розв'язана важлива науково-прикладна задача, яка полягає у зменшенні часу знаходження результату біноміального арифметичного складання при обмеженнях на обсяг програмно-апаратних витрат з метою прискорення обчислювальної обробки числової інформації. У дисертаційній роботі Шевченко Марина Сергіївна здобула наступні основні науково обґрунтовані результати:

- вперше розроблено метод арифметичного складання двійкових біноміальних чисел, який провадить додавання двійкових біноміальних чисел, оперуючи тільки координатами комірок матриці складання замість оперування зі значеннями біноміальних коефіцієнтів;

- вперше розроблені матричні моделі двійкових біноміальних чисел та біноміального додавання чисел, які базуються на матриці вагових коефіцієнтів і враховують складний функціональний зв'язок між значеннями попередніх біноміальних розрядів і їх позиціями в розрядній сітці біноміальних чисел;

- удосконалені методи оцінки обсягів часових та програмно-апаратних витрат арифметичного складання двійкових біноміальних чисел, які дозволяють визначити граничні максимальні значення витрат при практичній реалізації;

- удосконалені інформаційно-комунікаційні технології по обробці кодів-сполучень, генерування комбінаторних об'єктів, стиснення двійкової інформації із застосуванням методу біноміального арифметичного складання;

- отримала подальший розвиток теорія біноміальних систем числення і позиційної біноміальної лічби, що обумовлює більш поширене застосування двійкових біноміальних систем числення при розробці нових інформаційно-комунікаційних технологій обробки даних.

Наукова робота має чітку послідовність постановки завдань та отриманих рішень, достатню доказову базу та аргументованість результатів. Використано сучасний математичний апарат для досягнення сформованої мети і розв'язання поставлених науково-практичних завдань. Порівняльні оцінки запропонованих авторкою нових рішень стосовно результатів, які здобуті провідними вченими та дослідниками в галузі, достатньо аргументовані та відповідають списку приведених першоджерел. Висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі Шевченко М. С., враховують сутність та актуальність наукової праці та її мету, вони є придатними для практичного використання.

Усі теоретичні розробки дисертації здобувачка довела до конкретних прикладних алгоритмів та практичних рекомендацій. На основі запропонованих

моделей, методу, моделей процесів та алгоритмів було проведене удосконалення інформаційно-комунікаційних технологій з обробки сигналів, представлених кодами-сполученнями, стиснення двійкових даних, генерування рівноважних та квазірівноважних кодів, а також розглянуті підходи до розробки нових інформаційно-комунікаційних технологій із застосуванням розробленого методу біноміального арифметичного складання. У підсумку це дозволяє підвищити продуктивність і гнучкість існуючих та перспективних інформаційних систем, які використовують вищевказані інформаційно-комунікаційні технології.

Значення результатів дисертаційної роботи для науки та практики, шляхи використання.

Практичне значення та подальша реалізація результатів дисертаційної роботи, а саме розроблених моделей та методу арифметичного складання двійкових біноміальних чисел, яким присвячені наукові дослідження, дозволяють зменшити час виконання операції додавання і, тим самим, підвищити швидкодію оперування даними в межах інформаційно-комунікаційних технологій стиснення інформації на основі двійкових біноміальних чисел, генерування рівноважних кодів при комбінаторній оптимізації, обробки сигналів, представлених кодами-сполученнями. Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи підтверджується оцінкою часових та програмно-апаратних витрат при практичній реалізації запропонованих моделей та методу біноміального арифметичного складання. Так, алгоритми арифметичного складання двійкових біноміальних чисел на основі матриці додавання та динамічного масиву дозволяють у асимптотичному вираженні за кубічний $O(n^3)$ та квадратичний час $O(n^2)$ відповідно отримувати результат біноміального підсумовування, що менше у порівнянні з поширеним способом, який використовує проміжні ступеневі системи числення і потребує факторіальний час $O(n!)$. Також отримані покращені результати стосовно обсягів програмно-апаратних витрат порівняно з більшими витратами для табличного способу, способу на основі біноміальних лічильних пристроїв та вищевказаного способу з використанням проміжних ступеневих систем числення. Практична значущість здобутих результатів дослідження підтверджується наявністю конкретних висновків, рекомендацій, а також актами впровадження результатів дисертаційної роботи у практичній діяльності, зокрема підприємства ТОВ «ЕСП «Преобразователь» при розробці програмно-алгоритмічного забезпечення розподілених автоматизованих систем керування технологічними процесами при транспортуванні та розподілу електричної енергії з метою стиснення та шифрування даних в інфокомунікаційних мережах, що дозволило в залежності від типу даних в середньому на 12% підвищити швидкість передачі інформації в інформаційно-вимірювальних каналах автоматизованих систем (акт впровадження № 23/06-07 від 07.06.2023 р. ТОВ «ЕСП «Преобразователь», м. Суми). Науково-практичні результати дисертації Шевченко М. С. також використовуються у науково-виробничій діяльності відділу № 8 «Моделювання енергетичних процесів і систем» Інституту проблем моделювання в енергетиці

ім. Г. Є. Пухова НАН України при дослідженні енергетичних процесів в силових енергетичних установках (акт впровадження від 06.09.2023 р. ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України).

Повнота викладення наукових і прикладних результатів дисертації в опублікованих працях.

За результатами дисертаційних досліджень Шевченко М. С. опубліковано 15 наукових праць, з яких 1 стаття у періодичному спеціалізованому фаховому виданні ВАК України категорії А, що індексується наукометричною базою даних Scopus, 5 статей у періодичних спеціалізованих фахових виданнях ВАК України категорії Б, 9 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних науково-практичних конференцій. Основні результати дисертаційної роботи у цих публікаціях відображено достатньо повно.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності і оформлення.

Побудова дисертаційної роботи відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Усі положення, які винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві.

Дисертація написана грамотно науковою мовою та оформлена відповідно до існуючих нормативних документів, текст і графічний матеріал виконані акуратно з використанням сучасних комп'ютерних технологій.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел і 6 додатків. Обсяг основного тексту дисертації (без анотації, списку публікацій здобувачки, змісту, списку використаних джерел і додатків) становить 165 сторінок, що відповідає встановленим вимогам.

У **вступі** авторкою представлена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність наукової теми, сформульовані мета і задачі дослідження, відображені наукова новизна та практична цінність отриманих результатів і висновків, наведені дані щодо їх апробації та впровадження.

У **першому розділі** дисертації проведений аналіз ролі неоднорідних систем числення та їх машинної арифметики у забезпеченні ефективності розв'язування поширених інформаційних завдань. Відсутність правил і процедур біноміальної машинної арифметики, зокрема арифметичного складання біноміальних чисел, є стримуючим фактором для створення та розвитку перспективних інформаційно-комунікаційних технологій із використанням двійкових біноміальних чисел.

У **другому розділі** роботи на основі аналізу властивостей двійкових біноміальних чисел запропоновані матричні моделі біноміальних чисел та їх складання, які є ефективними для проведення арифметичних операцій, сформульована узагальнена математична модель та розроблений метод біноміального арифметичного додавання, позитивною особливістю яких є те, що операції над числовими значеннями вагових біноміальних коефіцієнтів замінюються значно простішими операціями над їх параметрами. Побудовані працездатні моделі процесів та алгоритми біноміального арифметичного складання, для яких доведено їх ефективність.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи проведено удосконалення методів оцінювання часових та програмно-апаратних витрат при практичній реалізації методу арифметичного складання двійкових біноміальних чисел, на основі яких здійснено порівняльну оцінку з погляду обсягу витрат запропонованого методу з іншими способами знаходження результату біноміальної суми. Після чого зроблено висновок про виконання цільової функції дисертаційних досліджень при обмеженнях на обсяг програмно-апаратних витрат.

У **четвертому розділі** дисертації проведено удосконалення існуючих інформаційно-комунікаційних технологій з оброблення сигналів, представлених кодами-сполученнями, генерування рівноважних та квазірівноважних кодів, стиснення двійкових даних із застосуванням розробленого методу біноміального арифметичного складання, а також розроблені підходи до створення нових перспективних технологій на основі розробленого методу біноміального арифметичного додавання. Запропоновані структурні моделі процесів удосконалених інформаційно-комунікаційних технологій з використанням арифметичного складання двійкових біноміальних чисел.

Зауваження до дисертаційної роботи.

В процесі ознайомлення з дисертацією Шевченко М. С. позитивне враження справила її науково-практична глибина, суворо логічна послідовність та обґрунтованість усіх висунутих положень в дисертаційній роботі.

Але слід відмітити наступні зауваження та недоліки.

1. В першому розділі (підрозділ 1.3) дисертаційної роботи, який представляє собою огляд особливостей арифметики неоднорідних систем числення, доцільно більш чітко визначити особливості практичної реалізації їх арифметики для застосування в інформаційно-комунікаційних технологіях.

2. В підрозділі 1.4 під час постановки завдання дисертаційної роботи необхідно більш повно розкрити сутність та значення виконання умов (1.4.1) та (1.4.2) стосовно подальшої розробки моделей та методу біноміального арифметичного складання та особливості їх впливу на теоретичні і практичні результати.

3. В розділі 2, присвяченому розробці і дослідженню моделей та методу біноміального арифметичного додавання, дисертанткою вказані дозволені області розташування двійкових одиниць в межах розрядів біноміальних чисел (теорема 2.2, підрозділ 2.1), які визначають вид запропонованих матричних моделей. Слід зауважити, що доцільно більш чітко зазначити, яким чином і на які властивості матриці арифметичного складання це впливає.

4. При розробці моделей процесів та алгоритмів арифметичного складання двійкових біноміальних чисел (підрозділ 2.2) вважається за доцільне більш ґрунтовно визначити вигляд систем рівностей (2.2.6) та (2.2.8) для пошуку перетворюваних комірок матриці біноміального додавання біноміальних чисел, наприклад, у вигляді окремих теоретично доведених тверджень.

5. В розділі 3, підрозділі 3.1 при визначенні обсягу машинних тактів, які потребуються для проведення арифметичної операції, дисертанткою було обрана рівномірнісна модель оцінювання часових витрат. Логічність та раціональність такого підходу було б доцільно підкреслити чітким зазначенням його переваг та недоліків.

6. В розділі 4, присвяченому практичним аспектам реалізації біноміального арифметичного складання, при удосконаленні інформаційно-комунікаційної технології обробки сигналів, представлених кодами-сполучень, за допомогою біноміального арифметичного складання (підрозділ 4.1, рисунок 4.1) бажано додатково навести практичний приклад, який більш повно розкривав переваги, а також особливості запропонованих змін.

7. Також в розділі 4 при розробці структурної моделі арифметичного складання двійкових біноміальних чисел (підрозділ 4.2, рисунок 4.2) вважається дещо недостатньо повно розкритим питання стосовно шляхів практичної реалізації вказаної моделі, наприклад за допомогою програмно-керованої логіки, або програмованих логічних інтегральних схем, або ASIC технології тощо.

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.

Зазначені недоліки суттєво не впливають на загальне позитивне враження від роботи, не зменшують її якості, а також наукової та практичної цінності. Вони не є визначальними і можуть бути враховані як напрямки подальших досліджень. Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи **випадків порушення академічної доброчесності виявлено не було.**

За змістом, актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною значимістю одержаних результатів дисертаційна робота «Моделі та метод арифметичного складання двійкових біноміальних чисел в інформаційно-комунікаційних технологіях» відповідає вимогам п.п. 6–9 «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 її авторка, Шевченко Марина Сергіївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Професор кафедри автоматизації проектування
обчислювальної техніки Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор

Геннадій КРИВУЛЯ

Геннадій КРИВУЛЯ

«7» листопада 2023 р.

*Лідією засвідчено
В. О. ректора
доктор технічних наук
професор Г. Н. Додик*



Юр РУБАМ