

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОПЕРАТИВНОГО  
ОЦІНЮВАННЯ ВІДХИЛЕНЬ ВАГ РОЗРЯДІВ  
АЦП ПОСЛІДОВНОГО НАБЛИЖЕННЯ  
З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ**

Монографія

Вінниця  
ВНТУ  
2024

УДК 681.5

М54

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 27.02.2024 р.)

Автори:

**О. Д. Азаров, С. М. Захарченко, О. В. Войцеховська, Р. С. Гуменюк**

Рецензенти:

**В. М. Кичак**, доктор технічних наук, професор

**Л. З. Мичуда**, доктор технічних наук, професор

**Методи** та засоби оперативного оцінювання відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю : монографія [Електронний ресурс] / О. Д. Азаров, С. М. Захарченко, О. В. Войцеховська, Р. С. Гуменюк. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 131 с.  
ISBN 978-617-8163-09-9 (PDF)

В монографії розглядаються питання визначення і корегування відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю. Запропоновано методи оперативного контролю відхилень ваг розрядів таких АЦП, що дало можливість формалізувати процес виявлення відхилень ваг розрядів за аналізом характеристики перетворення та визначити відхилення окремих розрядів перетворювача без переривання процесу основного перетворення.

Монографія розрахована на науковців, викладачів, аспірантів та фахівців, які займаються дослідженням та проектуванням комп'ютерних систем, інформаційно-вимірювальних систем, систем збору та оброблення даних, систем керування тощо.

**УДК 681.5**

**ISBN 978-617-8163-09-9 (PDF)**

© О. Азаров, С. Захарченко,

О. Войцеховська, Р. Гуменюк 2024

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
1 АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ШЛЯХІВ КОНТРОЛЮ ВІДХИЛЕНЬ ВАГ РОЗРЯДІВ АЦП ПОСЛІДОВНОГО НАБЛИЖЕННЯ .....	10
1.1 Особливості побудови та функціонування АЦП послідовного наближення .....	10
1.2 Огляд похибок АЦП послідовного наближення та шляхів їх врахування .....	19
1.3 Аналіз методів застосування вагової надлишковості для підвищення точності АЦП послідовного наближення .....	26
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЕННЯ АЦП ПОСЛІДОВНОГО НАБЛИЖЕННЯ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ .....	38
2.1 Розробка математичної моделі характеристики перетворення АЦП послідовного наближення .....	38
2.2 Дослідження впливу поодиноких відхилень ваг розрядів на структури зон невикористаних комбінацій .....	45
2.3 Аналіз впливу відхилень кількох ваг розрядів на ХП АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю .....	58
3 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ВІДХИЛЕНЬ ВАГ РОЗРЯДІВ АЦП ПОСЛІДОВНОГО НАБЛИЖЕННЯ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ .....	67
3.1 Метод оперативної фіксації відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю .....	67
3.2 Метод оперативного оцінювання значень відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю .....	74

3.3	Методика визначення відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю .....	81
3.4.	Дослідження методу оперативного оцінювання відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю .....	84
4	<b>ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ВІДХИЛЕНЬ ВАГ РОЗРЯДІВ АЦП ПОСЛІДОВНОГО НАБЛИЖЕННЯ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ.....</b>	<b>89</b>
4.1	Структурна реалізація методів фіксації та оцінювання відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю .....	89
4.2	Проектування спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання методів контролю відхилень ваг розрядів АЦП .....	98
4.3	Тестування спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання методів контролю відхилень ваг розрядів АЦП .....	108
	<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>116</b>
	<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>118</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- DNL – диференційна нелінійність
- INL – інтегральна нелінійність
- АК – аналоговий комутатор
- АЛП – арифметико-логічний пристрій
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач
- БДС – блок допоміжного сигналу
- БКХП – блок контролю характеристики перетворення
- БП – блок пам'яті
- БЦАП – багатофункціональний ЦАП
- ВН – вагова надлишковість
- НПСЧ – надлишкові позиційні системи числення
- ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій
- ОМР – одиниця молодшого розряду
- ПВЗ – пристрій вибірки зберігання
- ПН – послідовне наближення
- ПФІ – перетворювачі форми інформації
- РПН – регістр послідовних наближень
- СП – схема порівняння
- ХП – характеристика перетворення
- ЦАП – цифроаналоговий перетворювач
- ЦОП – цифровий обчислювальний пристрій

## ВСТУП

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) є важливими компонентами в сучасних електронних системах для отримання цифрових даних з реального світу, а їх актуальність продовжує зростати з розвитком технологій та застосувань. Вони використовуються в різних областях для перетворення аналогових сигналів (наприклад, звукових, температурних, світлових тощо) в цифрові дані, які потім можна обробляти, передавати та зберігати за допомогою електронних систем.

В сучасних аудіо- та відеосистемах, таких як смартфони, відеокамери, музичні пристрої, АЦП використовуються для збору та обробки звукових та відеосигналів. В медичних пристроях, таких як ЕКГ, УЗД, рентгенівські апарати, датчики моніторингу пацієнта та ін., АЦП використовуються для отримання точних даних про стан пацієнтів. АЦП входять до складу численних датчиків, що використовуються в розумних пристроях, домашніх системах автоматизації та інших пристроях Інтернету речей. АЦП також використовуються в комунальних системах автоматизації, таких як системи контролю за освітленням, системи опалення та кондиціонування повітря, для збору та обробки інформації з пристроїв. Для збору та оброблення даних АЦП вбудовуються в автомобільні системи, такі як системи керування двигуном, антиблокувальні гальма, системи безпеки. У телекомунікаційних мережах АЦП використовуються для обробки сигналів від антен, оптичних передавачів, радіо та інших комунікаційних пристроїв. Велике значення має можливість точного вимірювання аналогових сигналів і в наукових дослідженнях. Зокрема, АЦП використовуються в лабораторному обладнанні для вимірювання різних величин та аналізу даних.

Аналого-цифрові перетворювачі послідовного наближення (ПН) є одним із різновидів перетворювачів форми інформації, які займають близько 40 % сучасного ринку АЦП [1] та широко застосовуються в сучасних інформаційно-вимірювальних системах, системах збору і оброблення даних, в системах опрацювання аудіо- та відеоінформації. До них висуваються високі вимоги щодо точності і швидкодії, однак традиційні методи підвищення точності мають принципові обмеження, обумовлені застосуванням двійкової системи числення.

Застосування вагової надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення дає додаткові можливості покращення характеристик АЦП послідовного наближення. Цей підхід дозволяє виконувати коригування похибок розрядів виключно в цифровій формі без застосування додаткових прецизійних аналогових вузлів. В той же час залишаються актуальними задачі точного визначення моменту часу, коли необхідно проводити калібрування та проведення калібрування без переривання процесу основного перетворення, що є дуже важливим для більшості застосувань, особливо в системах критичного призначення.

АЦП послідовного наближення, з одного боку, мають досить високу роздільну здатність на рівні 14–18 двійкових розрядів, а з іншого боку – досить високу частоту дискретизації в діапазоні від 50 кГц до 50 МГц, що пояснює інтерес фахівців до цих пристроїв. Однак якщо розрядність перетворювача перевищує 12–14 розрядів вплив зовнішніх чинників призводить до появи відхилень ваг розрядів [2], [3], причому максимальні абсолютні відхилення спостерігаються в зоні старших розрядів [4]. Наслідком цього є поява диференційної та інтегральної нелінійностей [5].

Шляхи подолання цієї проблеми можна поділити на технологічні та алгоритмічні. Технологічні методи є досить трудомісткими та дозволяють покращити лінійність на кілька розрядів [4], [5], [6]. Більш універсальним методом подолання згаданої проблеми є використання методів самокоригування [7], [8], [9], [10] і самокалібрування [11], [12], [13], [14], [15] ваг розрядів та характеристики перетворення в цілому. Процедура калібрування виконується після включення пристрою та періодично в процесі роботи, причому АЦП може функціонувати або в режимі основного перетворення, або в режимі калібрування. Головним недоліком такого підходу є те, що калібрування здійснюється в цифроаналоговій формі шляхом формування коригуючого сигналу для режиму основного перетворення.

При поєднанні методів самокалібрування та інформаційної надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення можна отримати ще кращі результати. Крім того, побудова АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ) є одним із перспективних шляхів комплексного вирішення проблеми підвищення точності та швидкодії АЦП послідовного наближення [16], [17], [18], [19].

Використання НПСЧ у техніці АЦП та цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) почалося в Україні з кінця 70-х років і продовжується сьогодні в науковій школі професора О. Д. Азарова [20], [21], [6], [22], [23], [24], [16], [17]. Крім того, питанням покращення характеристик АЦП займаються інші наукові школи України, зокрема, наукові школи під керівництвом З. Р. Мичуди [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], В. Б. Дудикевича [48], [49], [50], [51], [52], [53], Б. І. Стадника [54], [55], [56], Л. Б. Петришина [57], [58]. Також загальні принципи побудови та покращення характеристик АЦП досліджувались та розроблялись багатьма іншими вченими України: [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71].

Питанням покращення характеристик АЦП займалися відомі науковці зарубіжжя, зокрема: Х. Зумбахлен [72], С. Х. Лі та Томас Б. Чо [73], [74], [75], [76], [77] з корпорації Analog Device, К. Нагарадж [78], [79] з корпорації Texas Instruments, М. К. Майес, С. Х. Левіс та С. В. Чін [80], [81], [82] з корпорації National Semiconductor, а також співробітники науководослідних підрозділів інших корпорацій. Технології використання вагової надлишковості для компенсації динамічних похибок розглянуто в [83], [84], [85], [86].

Використання вагової надлишковості при побудові АЦП послідовного наближення дозволило виконувати процедуру калібрування виключно у цифровій формі без фізичного або електричного впливу на ваги розрядів [21], [6], [22], [87], [23], [24]. Застосування методів самокалібрування передбачає вирішення таких задач, як фіксація моменту часу, коли необхідно провести чергове калібрування та організація фонового калібрування (без переривання процесу основного перетворення). Одним із рішень, що дозволяє в комплексі вирішити обидві задачі є застосування так званої спліт архітектури [88] при побудові АЦП. Однак, в даному випадку передбачається використання двох однакових АЦП, що як мінімум вдвічі збільшує апаратні витрати. Використання вагової надлишковості дає можливість здійснення фонового калібрування без суттєвого збільшення апаратних витрат.

В монографії проведено дослідження шляхів визначення і корегування відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення безпосеред-



ньо в режимі основного перетворення без використання додаткових режимів, що дають можливість забезпечити безперервну роботу АЦП та пристроїв на його основі та зменшити технологічні витрати часу на процес калібрування АЦП. Робота містить чотири розділи.

В першому розділі проведено аналітичний огляд сучасного стану аналого-цифрового перетворення, розглянуто особливості побудови та функціонування АЦП послідовного наближення, проаналізовано існуючі алгоритми калібрування АЦП послідовного наближення.

В другому розділі монографії розроблено математичну модель характеристики перетворення (ХП) АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю, проведено її дослідження з метою визначення можливості оперативного контролю відхилень ваг розрядів, а також проаналізовано вплив відхилень ваг розрядів на характеристику перетворення такого АЦП.

Третій розділ монографії присвячено розробці методів оперативного контролю відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю, що дозволили визначати наявність відхилень ваг розрядів в процесі основного перетворення, а також оцінювати значення цих відхилень. Також запропоновано послідовний алгоритм та методику визначення відхилень ваг розрядів за аналізом характеристики перетворення та проведено тестування цього алгоритму на окремому прикладі, що підтвердило вірність запропонованого методу.

В четвертому розділі запропоновано структурні реалізації методів фіксації та оцінювання значень відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю, вдосконалено алгоритми для реалізації роботи самокаліброваного АЦП з ваговою надлишковістю, в яких використовується метод оперативного визначення відхилень ваг розрядів, що дають можливості контролю відхилень ваг розрядів та оцінювання значень цих відхилень. Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання розроблених методів та проведено його тестування.

## ВИСНОВКИ

Проведено аналітичний огляд сучасного стану аналого-цифрового перетворення, який показав значний інтерес розробників і споживачів до АЦП послідовного наближення та актуальність питань підвищення точності і швидкодії цих пристроїв.

Показано, що застосування вагової надлишковості у вигляді надлишкових позиційних систем числення створює принципово нові можливості для проведення самокалібрування, головною особливістю яких є переведення процедури калібрування виключно у цифрову площину без застосування додаткових аналогових зразкових мір та компонентів.

Проаналізовано структуру характеристики перетворення АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю, в результаті чого вдосконалено математичну модель характеристики перетворення АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю шляхом виділення зон невикористаних комбінацій, що дозволило встановити залежність між відхиленнями ваг окремих розрядів та структурою характеристики перетворення.

Встановлено математичні залежності між відхиленнями ваг окремих розрядів АЦП та переліком невикористаних комбінацій в характеристиці перетворення, що дозволило оцінити значення відхилень ваг розрядів без переривання основного перетворення.

Запропоновано та досліджено метод оперативного контролю відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю за аналізом вихідного коду, що дає можливість отримання явних ознак необхідності проведення калібрування, що, в свою чергу, мінімізує технологічні витрати часу на процедуру калібрування АЦП.

Запропоновано та досліджено метод оцінювання відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення, що дозволяє визначити відхилення окремих розрядів перетворювача без переривання процесу основного перетворення, що дозволило виключити режим додаткового калібрування і таким чином зменшити технологічні витрати часу.

Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання характеристики перетворення АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю, що дозволило провести дослідження ХП та перевірити вірність отриманих математичних моделей;

Запропоновано практичну реалізацію методу оцінювання значень відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю за аналізом характеристики перетворення, що дозволило за рахунок уведення блоку контролю характеристики перетворення реалізувати функцію фонового калібрування АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю.

## ЛІТЕРАТУРА

[1] Analog to Digital Converter Market Size Report, Share & Growth Trends 2030, [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.theinsightpartners.com/reports/analog-to-digital-converter-market>: Дата звернення: 16.02.2024.

[2] Alan Hasting, *The Art of Analog Layout*. New York, USA, Boston Kluwer Academic Publishers, 2001.

[3] PulSAR ADC PMODs, Analog Devices. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://wiki.analog.com/resources/eval/user-guides/circuits-from-the-lab/pulsar-adc-pmods>. Дата звернення: 16.02.2024.

[4] Mulawka Jan Jerzy, *Układy mikroelektroniczne z przelączanymi pojemnościami*. Warszawa, Polska: NAUKA::TECHNIKA, 1987, 415 s.

[5] Walt Kester: *The Data Conversion Handbook*, 2005. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.analog.com/en/education/education-library/data-conversion-handbook.html>. Дата звернення: 16.11.2023.

[6] С. М. Захарченко, О. Д. Азаров, та О. М. Харьков, *Самокалібровані АЦП з накопиченням заряду на основі надлишкових позиційних систем числення*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005, 235 с.

[7] Albert O'Grady, "Getting 14-Bit Performance from a 32-Channel 14-Bit String DAC," Analog Devices. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.analog.com/library/analogDialogue/archives/37-02/calibration.pdf](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/37-02/calibration.pdf). Дата звернення: 10.10.2023.

[8] Phillip E. Allen and Douglas R. Holberg, *CMOS Analog Circuit Design*. Oxford, Oxford University Press, 2002.

[9] F. Goodenough, "Dual 18-bit ADC chip grabs 20-kHz audio," *Electronic Design*, vol. 14, 1989.

[10] J. D. Mosley, "Self-calibrating 16-bit A/D converter quarantees no missing codes to 50 kHz," *EDN*, vol. 32, no. 2, 1987.

[11] Yuh-Min Lin, Beomsup Kim, and Paul R.Gray, "A 13-bit 2.5-MHz self-calibrated pipelined A/D converter in 3  $\mu\text{m}$  CMOS," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 26, no. 4, pp. 628-636, 1991.

[12] K. S. Tan, "On board self-calibration of analog-to-digital and digital-to-analog converters," *U. S. Patent 4399426*, 16.08.1983.

[13] Hae-Seung Lee, and David A.Hodges, "Self-calibration technique for A/D converters," *IEEE Transactions on circuits and systems*, vol. 30, no. 3, pp. 188-190, March, 1983.

[14] Hae-Seung Lee, David A.Hodges, and Paul R. Gray, "A Self-calibrating 15-bit CMOS A/D Converter," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 19, no. 6, pp. 813-817, December. 1984.

[15] Harlan Ohara, Hung W. Ngo, and M. J. Armstrong, "A CMOS programmable self-calibrating 13-bit eight-channel data acquisition peripheral," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 22, no. 6, pp. 930-938, December. 1987.

[16] О. Д. Азаров, *Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2004, 257 с.

[17] О. Д. Азаров, С. М. Захарченко, та М. О. Кравцов, «Підвищення точності та швидкодії аналого-цифрових перетворювачів методами інформаційної надлишковості,» *Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 2, с. 78-83, 1998.

[18] О. Азаров, та А. Фігас, «Високочіпна система аналог-код-аналог з ваговою надлишковістю на базі перетворювачів струмів,» *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 2, с. 68-73, 2022.

[19] С. М. Захарченко, та Н. О. Біліченко, «Високоточні АЦП з перерозподілом заряду для систем контролю та керування,» *Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 4, с. 65-67, 2000.

[20] О. Д. Азаров, *Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі систем числення з ваговою надлишковістю*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2010, 232 с.

[21] О. Д. Азаров, О. Я. Стахов, та М. Р. Обертюх, *Високопродуктивні АЦП комбінованого врівноваження із ваговою надлишковістю*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2023, 128 с.

[22] Л. В. Крупельницький, та О. Д. Азаров, *Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005, 168 с.

[23] О. Д. Азаров, та О. О. Коваленко, *Обчислювальні АЦП і ЦАП, що самокалібруються, для систем цифрового оброблення аналогових сигналів*. Вінниця, Україна: Універсум-Вінниця, 2006, 148 с.

[24] О. Д. Азаров, та О. В. Кадук, *Багаторозрядні АЦП і ЦАП із ваговою надлишковістю, стійкі до параметричних відмов*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2010, 149 с.

[25] Z. Mychuda, and Zb. Szczesniak, *Analiza parametrów układów elektronicznych*. Warszawa, Polska: Wydawnictwo PAK, 2011.

[26] Z. Mychuda, and A. Szczesniak, “A method of charge accumulation in the logarithmic analog-to-digital converter with a successive approximation,” *Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review)*, no. 10, pp. 336–340, 2010.

[27] З. Мичуда, Л. Мичуда, У. Антонів, та А. Шиманський, «Моделювання впливу паразитних міжелектродних ємностей в логарифмічних АЦП з накопиченням заряду з імпульсним від’ємним зворотним зв’язком,» *Вимірювальна техніка і метрологія : міжвідомчий зб.*, Львів, Україна: Вища школа, Вип. 71, с. 13-19, 2010.

[28] З. Р. Мичуда, та У. С. Антонів, «Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі з накопиченням заряду. Частина 2,» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Автоматика, вимірювання та керування, вип. 665, с. 3-11, 2010.

[29] З. Р. Мичуда, та Б. О. Католик, «Підвищення точності та швидкодії логарифмічних аналого-цифрових перетворювачів,» *Вісник Черкаського Державного технологічного університету*, № 3, с. 203-205, 2006.

[30] З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, та Г. С. Єлісєєва, «Спрощення реалізації та підвищення точності рекурентних логарифмічних АЦП,» *Збірник наукових праць «Комп’ютерні технології друкарства» (Computer Technologies of Printing ISSN 2411-9210)*, Львів, Україна: УАД, № 1 (45), с. 33-43, 2021.

[31] L. Mychuda, “Development of Algorithms for Improving the Accuracy and Performance Speed of a Functional Analog-to-Digital Converter”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 3/9 (93), pp. 58-69, 2018.

[32] Л. З. Мичуда, «Вдосконалений рекурентний метод аналого-цифрового функціонального перетворення для підвищення точності та швидкодії,» *Збірник наукових праць «Комп’ютерні технології друкарства»*, Львів, Україна: № 1 (39), с. 73-92, 2018.

[33] З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, та Г. С. Єлісеєва, «Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі. Основа логарифма,» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Автоматика, вимірювання та керування, вип. 907, с. 19-27, 2018.

[34] Л. З. Мичуда, та З. Р. Мичуда, «Аналого-цифровий багатфункціональний перетворювач,» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація, вип. 460, с. 66-72, 2002.

[35] Л. З. Мичуда, З. Р. Мичуда, та Б. О. Католик, «Інтерполуючий логарифмічний аналого-цифровий перетворювач,» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Автоматика, вимірювання та керування, вип. 445, с. 160-166, 2002.

[36] З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, та Б. О. Католик, «Логарифмічні АЦП з перерозподілом заряду заряду. Моделювання впливу паразитних міжелектродних ємностей,» *Збірник наукових праць «Комп'ютерні технології друкарства,»* № 11, Львів, с. 167-183, 2004.

[37] З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, та О. Р. Коструба, «Моделювання впливу струмів витікання в логарифмічних АЦП з накопиченням заряду в активних конденсаторних комірках,» *Збірник наукових праць «Комп'ютерні технології друкарства,»* № 11, Львів, с. 183-190, 2004.

[38] Б. О. Католик, К. І. Ільканич, З. Р. Мичуда, та Л. З. Мичуда, «Оцінка динамічних властивостей логарифмічних АЦП на комутованих конденсаторах,» *Сборник научных трудов Национального горного университета, № 19, т. 2, Дніпропетровськ, с. 135-143, 2004.*

[39] З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, та К. І. Ільканич, «Новий метод логарифмічного аналого-цифрового перетворення,» *Збірник наукових праць «Комп'ютерні технології друкарства,»* № 12, с. 220-224, 2004.

[40] З. Р. Мичуда, та Л. З. Мичуда, «Моделювання впливу струмів витікання в логарифмічних АЦП з перерозподілом заряду,» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація, № 537, 2005, с. 103-106.

[41] З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, О. Р. Коструба, та К. І. Ільканич, «Оцінка точності логарифмічних АЦП на комутованих конденсаторах,» *Вісник Черкаського державного технологічного університету, № 3, с. 181-184, 2005.*

[42] Г. І. Влах, З. Р. Мичуда, та Л. З. Мичуда, «Аналого-цифровий перетворювач електроенергії,» *Науково-технічний журнал «Методи та прилади контролю якості»*, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, № 13, с. 80-82, 2005.

[43] З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, Б. О. Католик, та О. Р. Коструба, «Підвищення точності та швидкодії логарифмічних аналогоцифрових перетворювачів,» *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, спецвипуск, с. 203-205, 2006.

[44] З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, та У. С. Антонів, «Моделювання впливу паразитних міжелектродних ємностей в логарифмічних АЦП з накопиченням заряду на послідовних пасивних конденсаторних комірках,» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація*, № 617, с. 163-170, 2008.

[45] З. Р. Мичуда, Л. З. Мичуда, та О. Р. Коструба, «Паралельний логарифмічний аналого-цифровий перетворювач,» *Збірник наукових праць «Ком'ютерні технології друкарства»*, № 19, с. 38-43, 2008.

[46] Л. З. Мичуда, та З. Р. Мичуда, «Функціональні перетворювачі рекурентного типу на комутованих конденсаторах для систем енергообліку,» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація*, № 677, с. 98-104, 2010.

[47] U. Antoni $\acute{w}$ , L. Myczuda, Z. Myczuda, A. Szczesniak, «Logarytmiczne przetworniki analogowo-cyfrowe z nagromadzeniem ładunku i impulsowym sprzężeniem zwrotnym,» *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, ISSN 0033-2097, t. 89, z. 8, ss. 277-281, 2013.

[48] В. Б. Дудикевич, В. М. Максимович, та Л. В. Мороз, *Число-імпульсні функціональні перетворювачі з імпульсними зворотними зв'язками*. Львів, Україна: Видавництво Львівської політехніки, 2011, 244 с.

[49] В. М. Максимович, «Число-імпульсні функціональні перетворювачі з імпульсними зворотними зв'язками.» автореф. дис. д-ра техн. наук. Львів, 2007, 33 с.



[50] В. Б. Дудикевич, та А. Е. Лагун, «Особливості автоматизованого структурного синтезу показникових та степеневих число-імпульсних функціональних перетворювачів,» на *Міжнародна науково-технічна конференція «Автоматика – 2000»*, Львів, 2000, с. 153-157.

[51] В. Б. Дудикевич, Р. Д. Баран, В. М. Максимович, та Л. В. Мороз, «Використання обернено пропорційних перетворювачів із змінною розрядністю для вимірювання частоти,» *Вісник ДУ «Львівська політехніка», Радіoeлектроніка та телекомунікації*, № 387, с. 212-216, 2000.

[52] В. М. Максимович, «Можливість побудови двійково-десятьового перетворювача число-імпульсного коду на базі двійкового перетворювача,» *Зб. наук. праць Української академії друкарства «Комп'ютерні технології друкарства,»* Львів, Україна, № 15, с. 201-207, 2006.

[53] Р. Д. Баран, О. С. Вітер, та В. М. Максимович, «Використання принципу змінної розрядності для побудови логарифмічних перетворювачів із заданою основою,» *Збірник наукових праць «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах,»* № 8, Хмельницький, Україна, с. 126-131, 2001.

[54] М. М. Дорожовець, Р. М. Івах, В. П. Мотало і ін., *Основи метрології та електричні вимірювання*. За ред. д-ра техн. наук Б. І. Стадника. Львів, Україна: Видавництво Львівської політехніки, 2011, 372 с.

[55] М. М. Дорожовець, та В. О. Мокрицький, *Аналого-цифрові перетворювачі*. Львів, Україна: Видавництво Львівської політехніки, 2013, 120 с.

[56] Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник і ін., *Засоби та методи вимірювань неелектричних величин*. Львів, Україна: Видавництво «Бескид-біт», 2008.

[57] Л. Б. Петришин, «Двоквадрантне аналого-цифрове перетворення Монте-Карло,» *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 1, с. 58-65, 2023.

[58] Л. Б. Петришин, «Аналіз системних властивостей та обґрунтування ефективності методів перетворення форми інформації,» у монографії *«Інформаційні технології: проблеми та перспективи»* під ред. В. С. Пономаренка. Харків, Україна: Вид. Рожко С. Г., 2017, с. 269-280.

[59] С. І. Мельничук, «Дослідження впливу розрядності АЦП на ефективність оброблення широкосмугових сигналів зі змінною ентропією в

інформаційних каналах автоматизованих систем,» *Український міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні,»* вип. 43, Львів, с. 88-93, 2009.

[60] С. І. Мельничук, та І. З. Мануляк, «Інформаційні міри розрахунку та розрядність аналого-цифрових перетворювачів ентропійних перетворювачів витрати газових середовищ,» *Методи та прилади контролю якості, №1(28),* Івано-Франківськ, с. 106-112, 2012.

[61] В. О. Багацький, М. Р. Обертюх, та С. М. Захарченко, «Високопродуктивні АЦП комбінованого врівноваження,» *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки», № 4,* с. 132-137, 2022.

[62] В. О. Багацький, С. В. Богомолів, та С. М. Захарченко, «Високочастотні буфери напруги для високопродуктивних АЦП і ЦАП,» *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, № 1,* с. 44-51, 2023.

[63] Г. Г. Бортник, С. Г. Бортник, та В. М. Кичак, *Методи та засоби аналого-цифрового перетворення високо-частотних сигналів.* Вінниця, Україна: ВНТУ, 2013, 128 с. ISBN 978-966-641-537-3.

[64] А. З. Піскозуб, «Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі підвищеної точності.» автореферат дис. канд. техн. наук., Державний ун-т «Львівська політехніка», Львів, 1997.

[65] М. Ю. Стахів, «Цифрові функціональні перетворювачі розгортуючого типу з покращеними характеристиками» автореферат дис. канд. техн. наук., Львів, 2013.

[66] А. Я. Горпенюк, В. Б. Дудикевич, та А. Е. Лагун, «Широкодіапазонний синусно-косинусний функціональний перетворювач,» *Вісник ДУ «Львівська політехніка», Радіоелектроніка та телекомунікації, № 387,* с. 420-424, 2000.

[67] К. І. Ільканич. «Порозрядні логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі.» автореферат дис. канд. техн. наук., Нац. ун-т «Львівська політехніка», Львів, 2006, 17 с.

[68] У. С. Антонів, «Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі з накопиченням заряду.» автореферат дис. канд. техн. наук., Нац. ун-т «Львівська політехніка», Львів, 2013, 20 с.

[69] Б. Д. Будз, та В. Б. Дудикевич, «Імітаційне моделювання число-імпульсних функціональних перетворювачів зі зрівноважуванням,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 1(70),* с. 45-50, 2007.

[70] Л. Т. Пархуць, та З. М. Стрілецький, «Дослідження похибок число-імпульсних перетворювачів,» *Вісник ДУЛП : Автоматика, вимірювання та керування*, № 305, с. 126-128, 1996.

[71] Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, та Р. М. Вітер, «Метод розширення динамічного діапазону аналого-цифрових трактів засобів цифрового оброблення радіосигналів,» *Вісник Хмельницького національного університету*, № 1, с. 48-51, 2020.

[72] Hank Zumbahlen, *Basic Linear Design*, Analog Devices, 2007.

[73] P. C. Yu, and H. S. Lee, "A 2.5-V, 12-b, 5-Msamples/s pipelined CMOS ADC," *IEEE J. Solid-State Circuits*, v. 31, pp. 1854-1861, Dec. 1996.

[74] D. Y. Chang, and H. S. Lee, "Design techniques for a low-power low-cost CMOS A/D Converter," *IEEE J. Solid-State Circuits*, v. 33, pp. 1244-1247, Aug. 1998.

[75] Thomas B. Cho and Paul R. Gray, "A 10 b, 20 Msample/s, 35mW Pipelined A/D Converter", *IEEE J. Solid-State Circuits*, v. 30, no. 3, pp. 166-172, March 1995.

[76] P. C. Yu, and H. S. Lee, "A pipelined A/D conversion technique with near-inherent monotonicity," *IEEE Trans. Circuits Syst. II*, v. 42, pp. 500-502, July 1995.

[77] H. S. Lee, "A 12-b, 600-ks/s Digital Self-Calibrated Pipelined Algorithmic ADC," *IEEE J. Solid-State Circuits*, v. 29, № 4, pp. 509-515, Apr. 1994.

[78] K. Nagaraj, H. S. Fetterman, and J. Anidjar, "250-mW, 8-b, 52-Msamples/s parallel-pipelined A/D converter with reduced number of amplifiers," *IEEE J. Solid-State Circuits*, v. 32, pp. 312-320, Mar. 1997.

[79] K. Nagaraj, "Efficient circuit configuration for algorithmic analog to digital converters," *IEEE Trans. Circuits Syst. II*, v. 40, pp. 777-785, Dec. 1993.

[80] S. H. Lewis, "Optimizing the Stage Resolution in Pipelined, Multistage, Analog-to-Digital Converters for Video-Rate Applications," *IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, v. 39, no. 8, pp. 516-523, August 1992.

[81] M. K. Mayes, and S. W. Chin, "Monolithic low-power 16b 1Msamples/s self-calibration pipelined ADC," *IEEE J. Solid-State Circuits*, no. 2, pp. 312-313, Feb. 1996.

[82] I. E. Opris, B. C. Wong, and S. W. Chin, "A pipelined A/D converter architecture with low DNL," *IEEE J. Solid-State Circuits*, v. 35, pp. 281-285, Feb. 2000.

[83] M. Hesener, T. Eichler, A. Hanneberg, D. Herbison, F. Kuttner, and H. Wenske, "A 14b 40MS/s Redundant SAR ADC with 480MHz Clock in 0.13 $\mu$ m CMOS," *Tech. Digest of ISSCC*, Feb. 2007.

[84] F. Kuttner, "A 1.2V 10b 20MS/S Non-Binary Successive Approximation ADC in 0.13 $\mu$ m CMOS," *Tech. Digest of ISSCC*, Feb. 2002.

[85] T. Ogawa, H. Kobayashi, M. Hotta, Y. Takahashi, H. San, and N. Takai, "SAR ADC Algorithm with Redundancy", *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, Macao, China, pp. 268-271, Dec. 2008.

[86] T. Ogawa, H. Kobayashi, Y. Takahashi, N. Takai, M. Hotta, H. San, T. Matsuura, A. Abe, K. Yagi, and T. Mori, "SAR ADC Algorithm with Redundancy and Digital Error Correction," *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, v. 93-A, no. 2, pp. 415-423, Feb. 2010.

[87] О. Д. Азаров, Н. О. Біліченко, та С. М. Захарченко, *Високолінійні порозрядні АЦП із перерозподілом заряду з ваговою надлишковістю, що самокалібруються* : монографія, Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016.

[88] John McNeill, Michael C. W. Coln, and Brian J. Larivee, "Split ADC Architecture for Deterministic Digital Background Calibration of a 16-bit 1-MS/s ADC," *IEEE J. Solid-State Circuits*, v. 40, no. 12, pp. 2437-2445, Dec. 2005.

[89] С. М. Захарченко, Р. С. Гуменюк, та М. Г. Захарченко, «Метод контролю відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю за аналізом вихідного коду,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 5, с. 53-59, 2018.

[90] С. М. Захарченко, А. В. Росощук, Є. І. Зеленська та Р. С. Гуменюк, «Метод оперативного виявлення поодиноких відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю,» *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 1, № 32, с. 40-47, 2015.

[91] С. М. Захарченко, Р. С. Гуменюк, та М. Г. Захарченко, «Метод визначення відхилень ваг розрядів АЦП послідовного наближення в режимі основного перетворення», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 1, № 38, с. 53-61, 2017.

[92] S. Zakharchenko та R. Humeniuk, «Bit error notification and estimation in redundant successive approximation ADC», *Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, № 10(4), pp. 29-32, 2020.

[93] С. М. Захарченко, М. Г. Захарченко та Р. С. Гуменюк, «Метод ініціалізації зон невикористаних комбінацій в АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю», на *XLVII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету*, Вінниця: ВНТУ, 2018, с. 914-916. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/index/pages/view/zbirn2018>.

[94] S. Zakharchenko, M. Zakharchenko та R. Humeniuk, «Method of determining the unused combinations in the ADC of successive approximation with weight redundancy» на *Шоста міжнародна науково-практична конференція “Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації”*, Вінниця: ВНТУ, 2017, с. 114-117.

[95] С. М. Захарченко, Р. С. Гуменюк та М. Г. Захарченко, «Спеціалізовані програмні засоби для моделювання характеристики перетворення АЦП послідовного наближення з ваговою надлишковістю», на *5<sup>th</sup> International scientific and practical conference «Priority directions of science and technology development»*, Kyiv, 2021, с. 406-411.

[96] Walt Kester, “Which ADC Architecture Is Right for Your Application?”, *Analog Dialogue*, v. 39, no. 2, pp. 11-19, 2005.

[97] Analog Devices, офіційний сайт: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.analog.com/en/index.html>.

[98] J. L. McCreary, and P. R. Gray, “All-MOS charge redistribution analog-to-digital conversion techniques - Part 1,” *IEEE J. Solid-State Circuits*, v. 10, pp. 371-379, 1975.

[99] Khen-Sang Tan, Sami Kiriaki, and Michiel de Wit, “Error correction techniques for high-performance differential A/D Converters,” *IEEE J. Solid-State Circuits*, v. 25, no. 6, pp. 1318-1327, Dec. 1990.

[100] W.Kester, *Analog-Digital Conversion*, USA: Analog Devices, Inc, 2004.

[101] C. Kaya, "Polyside/metal capacitors for high precision A/D converters," *IEDM Tech. Dig.*, San Francisco, CA, pp. 782-785, 1988.

[102] S. Harward, and D. Harward, "Gate array ties 16-bit DAC into MP based system," *Electronic Design*, v. 32, no. 5, pp. 25-30, 1984.

[103] J. R. Nailor, "A complete high speed voltage output monolith DAC," *IEEE Journal of solid state circuits*, v. CS-18, pp. 729-735, 1983.

[104] David Johns and Ken Martin, *Switched-Capacitor Circuits*. University of Toronto, ISBN: 0-471-14448-7, 1997, 706 p. [Online]. Available: <http://www.eecg.toronto.edu/~johns/nobots/Book/book.html>.

[105] Richard E. Schreier, Trevor Caldwell. ECE 1371 Advanced Analog Circuits Notes 2008. Department of Electrical and Computer Engineering University of Toronto, 2008. [Online]. Available: <http://individual.utoronto.ca/schreier/lectures/7-2.pdf>.

[106] John K. Fiorenza, Todd Sepke, Peter Holloway, Charles G. Sodini, and HaeSeung Lee, Comparator-Based Switched-Capacitor Circuits for Scaled CMOS Technologies. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 41(12), pp. 2658-2668, 2006.

[107] T. C. Verster, "A Method to Increase the Accuracy of FastSerial-Parallel Analog-to-Digital Converters," *IEEE Trans. on Electronic Computers*, vol. EC-13, no. 4, pp. 471-473, Aug. 1964.

[108] G. A. Bergman, "Number system with an irrational base," *Mathematics Magazine*, no. 3, pp. 98-119, 1957.

[109] A. Stakhov, *The mathematics of harmony: From Euclid to contemporary mathematics and computer science*, World Scientific, 2009.

[110] A. Stakhov, "Fibonacci matrices, a generalization of the "Cassini formula", and a new coding theory," *Chaos, Solitons & Fractals*, v. 30, no. 1, pp. 56-66, 2006.

[111] A. Stakhov, "The golden section in the measurement theory," *Computers & Mathematics with Applications*, v. 17, no. 4-6, pp. 613-638, Jan. 1989.

[112] A. Stakhov, "Fundamentals of a new kind of Mathematics based on the Golden Section," *Chaos, Solitons & Fractals*, v. 27, no. 5, pp. 1124-1146, 2006.

[113] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, О. Я. Стахов, «АЦП порозрядно-слідкувального врівноваження з ваговою надлишковістю,» *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 49, № 3, с. 37-44, 2020.

[114] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, О. Г. Муращенко, «Методи перенесення і запозичення у швидкодіючих фібоначчєвих лічильниках,» *Інформаційні технології та компютерна інженерія*, № 2(42), с. 55-63, 2018.

[115] О. Д. Азаров, та М. Р. Обертюх, *Високолінійне надлишкове цифроаналогове перетворення з ваговою надлишковістю на основі генераторів однакових струмів*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2022, 155 с.

[116] О. Д. Азаров, С. М. Захарченко, та О. В. Шапошніков, *Конвеєрні аналого-цифрові перетворювачі з ваговою надлишковістю*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006, 158 с.

[117] A. D. Azarov, N. A. Bilichenko, and S. M. Zakharchenko, "Improvement of the Characteristics of Analog-to-Digital Converters of Methods of Information Redundancy," *Development and Application Systems DAS-2000*, pp. 47-51, 2000.

[118] О. Д. Азаров, С. М. Захарченко, та О. В. Бойко, «Пристрій аналого-цифрового перетворення,» *Патент на корисну модель 43254 Україна, МПК (2009) Н 03 М 1/22. № u200902279*, 10.08.09.

[119] О. Д. Азаров, та О. В. Шапошніков, «Конвеєрний аналого-цифровий перетворювач,» *Патент на корисну модель 44073 А Україна, МПК Н 03 М 1/28 (2006.01). № 2001042458*, 15.01.02.

[120] О. Д. Азаров, О. А. Архипчук, та С. М. Захарченко, «Спосіб аналого-цифрового перетворення,» *Патент на винахід 53090 А Україна, МПК Н 03 М 1/38 (2006.01). № 2002031816*, 15.01.03.

[121] О. Д. Азаров, С. М. Захарченко, та О. А. Архипчук, «АЦП порозрядного врівноваження з самокалібруванням за стратегією згори-донизу,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 41-45, 2003.

[122] С. М. Захарченко, «Підвищення точності АЦП із перерозподілом заряду за рахунок використання вагової надлишковості,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 57-62, 2008.

[123] Z. Boyacigiller, and S. Sockelov, "Increase analog system accuracy with a 14-bit monolithic ADC," *EDN*, № 18, pp. 137-144, Aug. 1982.

[124] W. Liu, P. Huang, and Y. Chiu, "A 12b 22.5/45MS/s 3.0mW 0.059mm<sup>2</sup> CMOS SAR ADC achieving over 90dB SFDR," in *2010 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), Digest of Technical Papers*, February 2010, pp. 380–381.

[125] J. Biveroni, and H.-A. Loeliger, “On sequential analog-to-digital conversion with low-precision components,” in *Proceedings of the Information Theory and Applications Workshop (ITA)*, La Jolla, California, January, 2008.

[126] О. Д. Азаров, «Прискорення аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення,» *Вісник ВПІ*, № 1, с. 22-27, 1993.

[127] Г. Б. Ракитянська, «Моделювання та оптимізація швидкодії та алгоритмічної надійності надлишкових АЦП порозрядного врівноваження.» автореферат дис. канд. техн. наук., Вінниця, 1998.

[128] С. М. Захарченко, А. В. Росощук, та М. Г. Захарченко, «Метод оперативного контролю лінійності АЦП послідовного наближення,» *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія «Теплоенергетик. Інженерія довкілля. Автоматизація»*, № 792, с. 21-28, 2014.

[129] J. Thelin, *Foundations of Qt Development*, NY: Apress, 2007.

[130] Jasmin Blanchette, and Mark Summerfield, *C++ GUI Programming with Qt 4* (2nd Edition), Prentice Hall, 2008.

[131] M. Summerfield, *Advanced Qt Programming: Creating Great Software with C++ and Qt 4*, NJ: Prentice Hall, 2010.



*Електронне наукове видання*

**Азаров Олексій Дмитрович**  
**Захарченко Сергій Михайлович**  
**Войцеховська Олена Валеріївна**  
**Гуменюк Роман Сергійович**

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ  
ВІДХИЛЕНЬ ВАГ РОЗРЯДІВ АЦП ПОСЛІДОВНОГО  
НАБЛИЖЕННЯ З ВАГОВОЮ НАДЛИШКОВІСТЮ**

Монографія

Рукопис оформила *О. Войцеховська*

Видається в авторській редакції

Оригінал-макет підготовлено *в редакційно-видавничому відділі ВНТУ*

Підписано до видання 13.05.2024.  
Гарнітура Times New Roman.  
Зам. № P2024-101.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
Редакційно-видавничий відділ.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.  
**press.vntu.edu.ua**;  
*E-mail: irvc.vntu@gmail.com.*  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.