

АНОТАЦІЯ

Ситніков Т.В. Моделі та методи підвищення ефективності частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент обробки даних високого порядку. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Національний університет «Одеська політехніка», МОН України, Одеса, 2026.

У **вступі** розглядаються обчислювальні системи, у складі яких застосовуються частотно-залежні програмно-алгоритмічні компоненти (ЧЗПАК) обробки даних, і формується задача алгоритмічного спрощення реалізації та зменшення обчислювальних витрат виконання алгоритмічної обробки даних датчиків. До таких систем належать, зокрема, безпілотні літальні апарати із програмними засобами оцінювання безпечної висоти під час посадки, наземні мобільні платформи з алгоритмічними підсистемами визначення відстані до перешкод, інклінометричні обчислювальні комплекси для буріння та контролю просторової орієнтації об'єктів у геофізичних дослідженнях, а також обчислювальної системи сучасних автомобілів, у яких алгоритмічний аналіз даних використовується для програмного розпізнавання режимів детонації двигуна внутрішнього згоряння.

Водночас для обчислювальних систем реального часу наявні підходи до програмного перерахунку параметрів таких компонент характеризуються значним об'ємом обчислень та значними часовими витратами обчислювального пристрою, що знижує обчислювальну ефективність програмного виконання і оперативність прийняття рішень у вбудованих обчислювальних системах. У зв'язку з цим виникає суперечність між вимогами до зменшення алгоритмічної складності реалізації ЧЗПАК обробки даних високого порядку та необхідністю їх швидкого застосування в умовах реального часу (забезпечення гарантованого часу відгуку).

Основною причиною зазначеної суперечності є використання ресурсоемних процедур програмної реалізації математичних моделей ЧЗПАК, які потребують значного об'єму обчислень, зокрема, великої кількості операцій. У дисертаційній роботі запропоновано підхід до зниження об'єму обчислень алгоритмів під час виконання програмного коду, що ґрунтується на послідовному програмному з'єднанні однотипних алгоритмічних компонент низького порядку.

Отже, актуальною є задача створення математичних моделей ЧЗПАК цифрової обробки даних для обчислювальних систем, придатних до ресурсно-економної програмної реалізації та динамічного програмного налаштування залежно від умов функціонування. Результативність реалізації трактується як зменшення об'єму розрахунків обчислювального пристрою під час створення й перерахунку параметрів математичних моделей, що є критичним для систем реального часу, які працюють за обмежених обчислювальних ресурсів.

У **першому** розділі дисертаційної роботи проведено комплексний аналіз математичних моделей ЧЗПАК, що застосовуються при обробці даних в обчислювальних системах, зокрема автономних мобільних платформ, з метою визначення шляхів покращення обчислювальних складових їх програмної реалізації в умовах обмежених апаратних ресурсів обчислювальних пристроїв. Розділ присвячено формуванню теоретичних і алгоритмічно-архітектурних передумов створення ЧЗПАК, орієнтованих на програмно-алгоритмічну реалізацію, інтеграцію у сучасні кіберфізичні системи та відповідність вимогам Індустрії 4.0+.

У підрозділі 1.1 виконано аналіз сучасних тенденцій розвитку інформаційних систем автономних мобільних платформ у контексті кіберфізичних систем, промислового Інтернету речей та підходів Індустрії 4.0+. Показано, що зростання автономності, інтелектуалізації та мобільності таких систем зумовлює різке збільшення обсягів даних і підвищення вимог до програмної обробки у режимі реального часу. Визначено основні обмеження автономних мобільних платформ. **Обґрунтовано**, що підвищення

результативності програмної реалізації ЧЗПАК при таких обмеженнях доцільно забезпечувати за рахунок удосконалення програмних параметрів, модульної програмно-алгоритмічної організації обробки даних, перенесення частини обробки на локальний рівень (edge-обчислення).

У підрозділі 1.2 досліджено математичні моделі з'єднання ЧЗПАК у задачах програмної обробки даних. Проаналізовано базові способи з'єднання компонент – послідовний, паралельний та зустрічно-паралельне з'єднання – з позицій їх впливу на передавальні функції. **Обґрунтовано**, що для обробки даних на борту автономних мобільних платформ найбільш доцільним є послідовне з'єднання однотипних компонент низького порядку, яке забезпечує підвищення порядку системи.

У підрозділі 1.3 виконано аналіз послідовного з'єднання аналогових частотно-залежних компонент низького порядку. На прикладі математичних моделей фільтрів низьких частот другого порядку досліджено зміну амплітудно-частотних характеристик при їх послідовному з'єднанні. **Обґрунтовано** доцільність використання частотно-залежних компонент із плоскою АЧХ у смузі пропускання, а також **необхідність попереднього розрахунку й табличного зберігання параметрів** у таблиці попередньо обчислених значень з урахуванням ресурсних обмежень автономних мобільних платформ та вимог обробки даних в реальному часі.

У підрозділі 1.4 проведено аналогічний аналіз для цифрових ЧЗПАК низького порядку, орієнтованих на програмну реалізацію в задачах обробки даних. Досліджено послідовне з'єднання частотно-залежних компонент нижніх частот і смугових частотно-залежних компонент другого порядку. Показано, що для цифрових моделей фільтрів Батерворта та Чебишева другого роду проявляються ті самі закономірності, що й для аналогових компонент: «стиснення» амплітудно-частотної характеристики, зсув частоти зрізу та зростання крутизни спаду. Для смугових частотно-залежних компонент Батерворта встановлено симетричний зсув частот зрізу до центральної частоти та звуження смуги пропускання при послідовному з'єднанні. Отримані

залежності коректно апроксимуються аналітичними функціями, однак з урахуванням ресурсних обмежень бортових обчислювальних систем **обґрунтовано доцільність їх попереднього табличного завдання у пам'яті для прискорення обчислень, зокрема у випадках апаратно-програмної реалізації на обчислювальних пристроях.**

Встановлено, що найбільш доцільним з точки зору алгоритмічної складності підходом до підвищення порядку ЧЗПАК в автономних мобільних платформах є послідовне з'єднання однотипних алгоритмічних компонент низького порядку. Кращими для такого підходу є математичні моделі фільтрів Батерворта та Чебишева другого роду, які забезпечують плоску АЧХ у смузі пропускання, передбачувану зміну частотних характеристик і можливість аналітичного прогнозування параметрів. Отримані результати формують теоретичне підґрунтя для подальшого переналаштування обчислювальних процедур створення ЧЗПАК та покращення обробки даних автономних мобільних платформ.

За результатами проведеного аналізу сформульовано мету та завдання дослідження.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено розробленню та теоретичному обґрунтуванню методу підвищення обчислювальної ефективності математичних моделей цифрових ЧЗПАК високого порядку на основі послідовного з'єднання однотипних алгоритмічних компонент низького порядку та використання всепропускних програмно-алгоритмічних компонент (ВПАК). Основну увагу зосереджено на аналітичному визначенні частот зрізу, дослідженні закономірностей зміни амплітудно-частотних характеристик і формуванні програмних підходів до керованого налаштування параметрів ЧЗПАК.

У підрозділі 2.1 **запропоновано** аналітичний підхід до визначення частот зрізу при послідовному з'єднанні однотипних алгоритмічних компонент першого порядку. **Обґрунтовано** доцільність використання ЧЗПАК першого порядку, як базових елементів для створення компонент

високого порядку завдяки малій кількості коефіцієнтів передавальної функції (що мінімізує використання пам'яті), простоті алгоритмічної реалізації та обчислювальній стійкості під час обробки даних у реальному часі. Показано, що при послідовному з'єднанні однотипних алгоритмічних компонент їх передавальні функції еквівалентні піднесенню до ступеня, що дає змогу **суттєво збільшувати крутизну АЧХ без прямого створення одного ЧЗПАК високого порядку і, відповідно, без надмірного зростання об'єму обчислень.** Проведена класифікація програмно-алгоритмічних компонент.

У підрозділі 2.1.1 досліджено послідовне з'єднання програмно-алгоритмічних компонент нижніх частот (ПАКНЧ) першого порядку, як базових елементів для створення ЧЗПАК високого порядку із підвищеною ефективності. **Встановлено**, що зі збільшенням кількості послідовно з'єднаних ЧЗПАК відбувається зсув частоти зрізу в область нижчих частот та зростання крутизни амплітудно-частотної характеристики. **Отримано** аналітичні співвідношення, які забезпечують точне визначення нових частот зрізу залежно від числа з'єднаних компонент без використання апроксимацій.

У підрозділі 2.1.2 виконано аналогічний аналіз для програмно-алгоритмічних компонент верхніх частот (ПАКВЧ) першого порядку. Показано, що при послідовному з'єднанні таких ЧЗПАК частота зрізу зміщується в область вищих частот, а крутизна АЧХ зростає. **Встановлено**, що зазначена поведінка є небажаною для задач подавлення високочастотних завад, оскільки зсув частоти зрізу поширює полосу затримки в область верхніх частот, та може погіршувати якість фільтрації.

Отримано аналітичні формули для визначення частот зрізу при n -кратному програмному з'єднанні однотипних ПАКВЧ і сформульовано обмеження щодо доцільності застосування такого способу з'єднання в прикладних задачах.

У підрозділі 2.2 розглянуто послідовне з'єднання однотипних ЧЗПАК другого порядку, до яких віднесено ПАКНЧ і ПАКВЧ другого порядку, а також смугові програмно-алгоритмічні компоненти (СПАК) та режекторні

програмно-алгоритмічні компоненти (РПАК) першого порядку. **Показано**, що для ПАКНЧ і ПАКВЧ другого порядку отримання простих аналітичних виразів для частот зрізу ускладнюється необхідністю розв'язання рівнянь вищих степенів, що погіршує придатність прямого аналітичного визначення у програмному коді в умовах обмежених обчислювальних ресурсів обчислювальних пристроїв.

У підрозділі 2.2.1 розроблено аналітичний метод визначення частот зрізу при послідовному з'єднанні однотипних СПАК першого порядку. Встановлено, що при такому з'єднанні центральна частота зберігається сталою, тоді як частоти зрізу симетрично зміщуються до центру смуги пропускання, що призводить до її звуження за експоненційним законом. **Отримано** аналітичні вирази для обчислення у програмному коді частот зрізу та ширини смуги пропускання залежно від кількості з'єднаних ЧЗПАК.

У підрозділі 2.2.2 досліджено послідовне з'єднання РПАК першого порядку. Показано, що на відміну від СПАК, при послідовному з'єднанні РПАК відбувається не звуження, а розширення смуги вирізання, що є небажаним для більшості практичних сценаріїв, де потрібне подавлення вузького діапазону частот у даних. **Обґрунтовано** недоцільність використання даного підходу для формування вузькосмугових РПАК.

У підрозділі 2.3 запропоновано використання ВПАК як базових елементів для створення ЧЗПАК підвищеного порядку в задачах обробки даних. У підрозділі 2.3.1 розглянуто формування ВПАК першого та другого порядку на основі математичних моделей ПАКНЧ, ПАКВЧ, СПАК та РПАК типів. **Показано**, що такі алгоритми забезпечують рівномірну амплітудно-частотну характеристику з одночасною корекцією фазових характеристик.

У підрозділі 2.3.2 досліджено можливість формування ПАКВЧ, СПАК та РПАК обробки даних на основі ВПАК. Показано, що з'єднання ВПАК із ПАКНЧ або СПАК дає змогу отримувати ЧЗПАК з підвищеною крутизною АЧХ і програмно-керованим зсувом частот зрізу. **Обґрунтовано**, що такий

підхід є перспективним для автоматизованого перерахунку коефіцієнтів ЧЗПАК у складі автономних мобільних платформ.

Встановлено, що запропонований метод послідовного з'єднання ПАКНЧ в поєднанні з використанням ВПАК забезпечує формування з меншою алгоритмічною складністю ЧЗПАК високого порядку з прогнозованими характеристиками. **Отримані** аналітичні співвідношення дають змогу точно обчислювати частоти зрізу та смуги пропускання.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено практичній програмній реалізації запропонованого в попередніх розділах методу формування ЧЗПАК підвищеного порядку на основі послідовного з'єднання однотипних компонент першого порядку, а також оцінюванню об'єму обчислень при **програмній реалізації та апаратно-програмній апробації алгоритмів**.

У підрозділі 3.1 розглянуто реалізацію ПАКНЧ підвищеного порядку шляхом послідовного з'єднання однотипних алгоритмічних компонент першого порядку. Запропоновано структурно-алгоритмічне рішення для оперативної зміни еквівалентного порядку ЧЗПАК, що дозволяє оперативно змінювати порядок фільтра. **Обґрунтовано** доцільність застосування цього рішення на **обчислювальних пристроях**, як засобу забезпечення гнучкого апаратно-програмного налаштування при обмежених ресурсах.

У підрозділі 3.2 досліджено реалізацію СПАК високого порядку на основі однотипних компонент першого порядку. Показано, що запропонований алгоритмічний підхід дозволяє програмно-керовано звужувати смугу пропускання при незмінній центральній частоті, що підтверджує теоретичні положення, отримані в другому розділі. Запропоновано реалізацію СПАК для обробки даних ультразвукових датчиків автономних мобільних платформ.

У підрозділі 3.3 розглянуто реалізацію РПАК високого порядку шляхом послідовного з'єднання однотипних СПАК. Показано, що хоча даний програмний підхід є придатним для реалізації, розширення смуги вирізання при збільшенні порядку фільтра обмежує його ефективність для

вузькосмугових програмних застосувань, що узгоджується з теоретичними результатами попередніх розділів.

У підрозділі 3.4 досліджено програмну реалізацію ВПАК підвищеного еквівалентного порядку на основі послідовного з'єднання однотипних алгоритмічних компонент першого порядку. Запропоновано два підходи до формування ВПАК: на основі різниці моделей ПАНЧ і ПАНВЧ, а також на основі з'єднання СПАК і РПАК. **Обґрунтовано** доцільність використання обчислювальних пристроїв для реалізації таких структур у вбудованих системах реального часу.

У підрозділі 3.4.1 наведено реалізацію ВПАК першого та другого порядків. Показано, що запропонований підхід дозволяє динамічно змінювати порядок моделі фільтра без необхідності створення нових компонент.

У підрозділі 3.5 розглянуто приклад практичного застосування запропонованого підходу для розв'язання задачі виявлення та подавлення детонаційних режимів двигуна внутрішнього згорання. Показано, що використання СПАК із програмно-керованими параметрами забезпечує ефективне виділення детонаційних складових у режимі реального часу. Запропоновано структуру, у якій послідовне з'єднання однотипних ЧЗПАК використовується для динамічної обробки даних відповідно до змін режимів роботи двигуна. **Обґрунтовано** можливість інтеграції такого підходу в сучасні вбудовані автомобільні та IoT-орієнтовані програмні системи керування як елемент обчислювальної підтримки прийняття рішень у реальному часі.

У висновках до розділу встановлено, що запропоновані реалізації послідовного з'єднання однотипних ЧЗПАК підвищеного порядку забезпечують зменшення **об'єму обчислень алгоритмів**, порівняно з традиційними підходами створення ЧЗПАК високого порядку. Отримані результати підтверджують придатність розробленого програмного підходу для застосування у вбудованих обчислювальних системах, автономних мобільних платформах та системах реального часу.

Ключові слова: комп'ютерні науки, цифрова обробка сигналів, алгоритми фільтрації, частотно-залежні компоненти, послідовне з'єднання компонент, об'єм обчислень, програмна інженерія, автономна система, IoT, датчики та п'єзокерамічні датчики, кіберфізична система, БПЛА, інформаційна система, математичне моделювання, електронні компоненти.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті

1. Ситніков Т. В., Ступень П. В.. Робототехнічна система з однотипними частотно-залежними компонентами у тракті обробки сигналів датчиків. Електротехн. та комп'ютер. системи. 2023; 37 (113): 52–61. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.37.113.2023.06> URL: <https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3235/1146>
2. Sytnikov T., Bilenko A., Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P. Increasing the Efficiency of the Information Management System for Controlling the Spatial Orientation of Objects in Geophysical Research. Engineering Proceedings: MDPI Engineering Proceedings; Vol.41(1), N5. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2023041005>. URL: <https://www.mdpi.com/2673-4591/41/1/5/pdf?version=1689236119> (Index Scopus)
3. Sytnikov T.V. Increasing q-factor of the digital sensor signals processing path in autonomous-mobile robotic platforms with limited computing resources. Електротехнічні та комп'ютерні системи. Odessa 2024; 39(115): 26-34. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.39.115.2024.3> URL: <https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3270/1179>
4. Sytnikov V.S., Kudermetov R.K., Stupen P.V., Polska O.V., Sytnikov T.V.. Constructing sensor signal processing channel for autonomous robotic platforms. Radio Electronics Computer Science Control. 2024: 175-184. DOI: 10.15588/1607-

3274-2024-4-17.

URL:

https://www.researchgate.net/publication/387436663_CONSTRUCTING_SENSOR_SIGNAL_PROCESSING_CHANNEL_FOR_AUTONOMOUS_ROBOTIC_PLATFORMS (Index Scopus)

5. Sytnikov T., Sytnikov V. A phase correction node construction for cyber-physical systems based on all-passfilters. *Electrical and Computer Systems*. 2025; 43(119): 34-40. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.43.119.2025.4> URL: <https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3329/1206>

6. Sytnikov T. V., Bilenko A. O. Sensor signal processing unit in an autonomous mobile platform using bandpass frequency-dependent components. *Electrical and Computer Systems*. 2025; 44(120): 55-60. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.44.120.2025.7> URL: <https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3341/1217>

Монографія

Sytnikov T. Internal combustion engine detonation elimination through the application of bandpass filters in the control information system. *Information processing in control and decision-making systems. Problems and solutions*. Odessa 2023: 307-332. URL: <https://icst-conf.com/2023%20MG.pdf>

Конференції

Міжнародні

1. Sytnikov T., Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P. Increasing Order of Digital Filters of the Same Type in Robotic Systems. *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*. – Dortmund, Germany, December 2023; Vol.1: 1200–1204. DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348806 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10348806> (Index Scopus)

2. Ситніков Т., Бадерко І., Ступень П., Ситніков В. Використання однотипних фільтрів у вбудованих системах. *International Conference of Students and Young Scientists in Theoretical and Experimental Physics – Heureka*

16-18 May, Lviv, 2023: 112. URL: <https://physics.lnu.edu.ua/conferences/heureka2023/files/Heureka2023.pdf>

3. Меленчук Т. М., Григоров А. Г., Теплечук А. М., Ситніков Т. В., Ступень П. В. Застосування однотипних частотно-залежних компонент при обробці сигналів датчиків електронних систем автомобіля. Інноваційні аспекти розвитку автомобільного транспорту України: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції, м. Кам'янське, 16-18 травня 2023: 109-110. URL: https://www.dstu.dp.ua/uni/downloads/tezu_ag.pdf

4. Sytnikov T., Bilenko A., Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P. Increasing the Efficiency of the Information Management System for Controlling the Spatial Orientation of Objects in Geophysical Research. Engineering Proceedings: International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science (EEPES'23) Kavala, Greece, 21–23 June 2023 URL: <https://eepes.eu/index.php/conference-proceedings/conference-proceedings/eepes2023-conference-proceedings> (Index Scopus)

5. Ситніков Т. В., Войтов В. М., Лаврухін В. В., Молочков В. М., Ситніков В. С. Застосування однотипних смугових та режекторних фільтрів для підвищення порядку обробки сигналів. Датчики, прилади та системи – 2023: Збірник. праць. X Міжнародної науково-технічної конференції, Черкаси, 12–14 верес. 2023: 104–106. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/4653/1/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2%20%D0%9C%D0%9D%D0%A2%D0%9A%20%D0%94%D0%9F%D0%A1-2023.pdf>

6. Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P., Stevic Z., Sytnikov T. Analysis of the Application of Serial Connection of the Same Type Bandpass Filters in the Sensor Signal Processing Channel in the Information Control System. CEUR Workshop Proceedings. – (September 21-23 ICST-2023 Odessa) 2023; 3513: 39-50. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper04.pdf> (Index Scopus)

7. Sytnikov T., Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P. Serial connection of the same type of bandpass filters to increase the order of signal processing in the information and control system. Information-Management Systems and Technologies: Materials of the XI International Scientific Conference(ICST-ODESSA-2023), Odessa, 21–23 September, 2023: 28–31. URL: <https://icst-conf.com/2023.pdf>

8. Ситніков Т.В, Біленко А.О., Ситніков В.С. Застосування однотипних фільтрів для підвищення порядку обробки сигналів. СИЕТ-2023 29-31 травня Одеса. 2023: 15-16. URL: <https://old.tkea.com.ua/siet/archive/2023/15.pdf>

9. Ситніков Т. В., Перекрестов І. С., Чмелевський А. М., Купріянов О. М., Ситніков В. С. Послідовне з'єднання однотипних смугових частотно-залежних компонентів для підвищення порядку передавальної функції у автономних мобільних платформах. Проблеми інформатики та комп'ютер. техніки (ПІКТ – 2023): пр. XII Міжнародна науково-практична конференція, Чернівці, 10–12 листоп. 2023: 86–89. URL: <https://drive.google.com/file/d/10m9pfYczudmIanv0na1MgZqMSoGyFPA-/edit>

10. Sytnikov T., Perekrestov I., Chmelevsky A., Stupen P., Sytnikov V.. Application of a series connection of the same type bandpass frequency dependent components in systems with renewable energy sources. Proceedings 11th Intern. Conf. On Renewable Electrical Power Sources, 02–03 November. – Belgrad, 2023: 159–163. URL: https://www.smeits.rs/include/img/mkoiee-2023/PROCEEDINGS_11_ICREPS.pdf

11. Ситніков Т. В., Бадерко І. В., Ситніков В. С. Послідовне з'єднання однотипних частотно-залежних компонентів. Фазочастотна характеристика. Сучас. інформ. технології – 2024 : Матеріали чотирнадцятої міжнар. наук. конф. студентів та молодих вчених, Одеса, 16–17 трав. 2024: 145–147. URL: <https://drive.google.com/file/d/1612nZaiRtoVwermre3UMhKbS-8B4Bex4/view?usp=sharing>

12. Ситніков Т.В., Бадерко І.В., Біленко А.О., Ситніков В.С. Аналіз фазо-частотної характеристик при застосуванні однотипних фільтрів для

підвищення порядку обробки сигналів датчиків. CIET-2024 Odessa 27-29 травня 2024. URL: <https://old.tkea.com.ua/siet/archive/2024/36.pdf>

13 Ситніков Т., Біленко А., Бадерко І., Ситніков В. Дослідження фазочастотних характеристик при застосуванні однотипних смугових фільтрів для підвищення порядку обробки сигналів. Датчики, прилади та системи – 2024: 36. пр. XI Міжнар. наук.-техн. конф. 30–31 травня. 2024 р. – Черкаси, 2024: 42-44. URL:

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/5031/1/%25D0%2594%25D0%259F%25D0%25A1-2024%2520%25D0%25B7%25D0%25B1%25D1%2596%25D1%2580%25D0%25BD%25D0%25B8%25D0%25BA%2520%25BF%25D1%2580%25D0%25B0%25D1%2586%25D1%258C.pdf&ved=2ahUKEwiR2ZrohsqPAxW3SvEDHTmkBUoQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw3pjdbaA4vvUgd8jeGQ_ofE

14 Ситніков Т. В., Перекрестов І. С., Лаврухін В. В., Ситніков В. С. Автоматизація корекції фази у тракті обробки сигналів автономної мобільної робототехнічної платформи. Інформ. технології і автоматизація – 2024: Матеріали XVII Міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 31 жовт. – 1 листоп. 2024: 682–683. URL: <https://ontu.edu.ua/download/konfi/2024/Collection-of-abstracts-of-the-conference-ITIA-2024.pdf>

15. Ситніков Т.В., Жеребкін С.Є., Чмелевський А.М., Ситніков В.С. Застосування фазових коректорів у автономних мобільних робототехнічних платформах для обробки сигналів датчиків. Проблеми інформатики та комп'ютер. техніки: Праці XIII Міжнар. наук.-практ. конф. (ПІКТ – 2024), Чернівці, 01–03 листоп. // Черн. нац. ун-т. – Чернівці, 2024: 55-56. URL: https://drive.google.com/file/d/1YY-YHwal-apT_TVEOtaGh6rBiT0WJm8x/edit

Всеукраїнські

1. Ситніков Т. В., Марущак Ю.В., Бурячківський С.Е., Мельниченко М. Г., Ситнікова В. О. Алгоритмізація обробки експериментальних медичних даних з застосуванням однотипних фільтрів. Комп'ютер. інтелект. системи та

мережі :матеріали XVI Всеукр. наук. практ. WEB конф. аспірантів, студентів та молодих вчених, Кривий Ріг, 21–23 берез. 2023: 166–168. URL: <https://drive.google.com/file/d/1PAtrBpa3K2EbFl8A5xbOkJeXnwbSHODV/view>

2. Ситніков Т. В., Бадерко І.В., Бурячківський С.Е., Мельниченко М. Г., Ситнікова В. О. Обробки експериментальних біомедичних даних з застосуванням однотипних фільтрів. Стан, досягнення та перспективи Інформаційних систем та технологій: матеріали XXIII Всеукр. наук. технічна конф. молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 20–21 квітня. 2023: 445–447. URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/be977147-e040-4bf4-acde-90e14e967221/content>

3. Ситніков Т. В., Афанасьєв І. С., Босовський В. О., Сулаков В. Б., Ситніков В. С. Послідовне з'єднання однотипних смугових частотно-залежних компонентів у автономних мобільних системах. Ольв. форум – 2023: Стратегії країн Причорномор. регіону в геополіт. просторі. Техн. науки. Сталий розвиток університет. системи освіти, Миколаїв, 15–18 черв. 2023: 49–53. URL:

<https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1194/3/%d0%9e%d0%a4-2023.%20%d0%a2%d0%b5%d1%85%d0%bd%d1%96%d1%87%d0%bd%d1%96%20%d0%bd%d0%b0%d1%83%d0%ba%d0%b8.%20%d0%a1%d1%82%d0%b0%d0%bb%d0%b8%d0%b9%20%d1%80%d0%be%d0%b7%d0%b2%d0%b8%d1%82%d0%be%d0%ba.pdf>

4. Ситніков Т. В., Катриченко М. О., Мінаков О. О., Сапко А. М., Ситніков В. С. Інформаційно-управляюча система усунення детонації двигуна внутрішнього згорання з використанням послідовного з'єднання однотипних фільтрів низького порядку. XXVI Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому дню науки в ім'я миру та розвитку: Тези доповідей, Миколаїв, 6–10 листоп. 2023: 441–443. URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/1869>

5. Ситніков Т., Шкодін О., Діленко О., Жеребкін С., Ситніков В. Автономна мобільна платформа з обмеженими обчислювальними

можливостями. Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем: VIII всеукраїнська науково-практична конференція (MEICS 2023): 22-24 листопада Дніпро: 117–118. URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/2023/materiali%20konf/25_MEICS-2023.pdf

6. Ситніков Т. В., Чмелевський А. М., Купріянов О. М., Ситніков В. С. Застосування однотипних фільтрів при обмежених обчислювальних ресурсах. Інформ. технології та інженерія – 2024: Всеукр. наук.-практ. конф.: Тези доп., Миколаїв, 31 січ. – 2 лют. 2024: 98–99. URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/1661>

7. Ситніков Т.В., Молочков В.М., Войтов В.М., Ситніков В. С. Фазовий коректор як компонент тракту обробки сигналів датчиків у мобільній платформі. Могил. читання – 2024: Досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: Глоб. нац. та регіон. аспекти: Тези XXVII Всеукр. наук.-практ. конф., 6–10 листоп. 2024 р., Миколаїв / МОН України, Чорномор. нац. ун-т ім. Петра Могили [та ін.]. – Миколаїв, 2024: 131–132. URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2507/1/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8.pdf>

ABSTRACT

Sytnikov T.V. Models and methods for improving the efficiency of frequency-dependent software-algorithmic components of high-order data processing. – Qualification scientific work in the form of manuscript.

Thesis for the PhD degree in specialty 122 Computer science. – Odessa Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2026.

The **introduction** considers computing systems that incorporate frequency-dependent software-algorithmic components (FDSAC) for data processing and formulates the problem of algorithmic simplification of implementation and reduction of the computational volume for processing sensor data. Such systems include, in particular, unmanned aerial vehicles with software tools for estimating safe landing altitude, ground mobile platforms with algorithmic subsystems for determining distances to obstacles, inclinometric computing complexes for drilling and spatial orientation control in geophysical research, as well as computing systems of modern vehicles, where algorithmic data analysis is used for software-based recognition of internal combustion engine detonation modes.

At the same time, for real-time computing systems, existing approaches to software recalculation of parameters of such components are characterized by a significant volume of computations and considerable time costs of the computing device, which reduces computational efficiency and responsiveness in embedded computing systems. In this regard, a contradiction arises between the requirement to reduce the algorithmic complexity of implementing high-order FDSAC data processing and the need for their rapid application in real-time conditions (ensuring guaranteed response time).

The main cause of this contradiction is the use of resource-intensive procedures for software implementation of mathematical models of FDSAC, which require significant volume of calculations. The dissertation proposes an approach to reducing the computational load of algorithms during code execution, based on the

sequential software connection of low-order algorithmic components of the same type.

Thus, the task of creating mathematical models of FDSAC for digital data processing in computing systems that are suitable for resource-efficient software implementation and dynamic software adjustment depending on operating conditions is actual. The effectiveness of implementation is interpreted as reducing the computational workload during the creation and recalculation of parameters of mathematical models, which is critical for real-time systems operating under limited computational resources.

The **first chapter** of the dissertation provides a comprehensive analysis of mathematical models of FDSAC used in data processing in computing systems, particularly autonomous mobile platforms, in order to determine ways to improve the computational aspects of their software implementation under conditions of limited hardware resources. The chapter is devoted to forming theoretical and algorithmic-architectural prerequisites for creating FDSAC for data processing with an emphasis on their computational configuration, oriented toward software-algorithmic implementation, integration into modern cyber-physical systems, and compliance with Industry 4.0+ requirements.

In subsection 1.1, an analysis of current trends in the development of information systems of autonomous mobile platforms is carried out in the context of cyber-physical systems, the industrial Internet of Things, and Industry 4.0+ approaches. It is shown that increasing autonomy, intelligence, and mobility of such systems leads to a sharp increase in data volumes and higher requirements for real-time software processing. The main constraints of autonomous mobile platforms are identified, including resource limitations in energy consumption, communication bandwidth, and computational capabilities of onboard computing devices, as well as increased requirements for software security. It is **substantiated** that improving the effectiveness of software implementation of FDSAC under such conditions should be achieved by optimizing software parameters, modular software-algorithmic

organization of data processing, transferring part of processing to the local level (edge computing).

In subsection 1.2, mathematical models of interconnection of FDSAC in data processing tasks are researched. Basic methods of the component's interconnection — sequential, parallel, and counter-parallel — are analyzed in terms of their influence on transfer functions and amplitude-frequency characteristics. It is **substantiated** that for onboard data processing of autonomous mobile platforms, the most appropriate approach is the sequential connection of low-order components of the same type.

In subsection 1.3, the sequential connection of analog low-order frequency-dependent components is analyzed. Using second-order low-pass filter models as an example, changes in amplitude-frequency characteristics during sequential connection are researched. The **expediency** of using frequency-dependent components with flat passband response is **substantiated, as well as the need for preliminary calculation and tabular storage of parameters in lookup tables**, taking into account resource limitations and real-time processing requirements.

In subsection 1.4, a similar analysis is conducted for digital low-order FDSAC intended for software implementation. Sequential connections of low-pass and band-pass second-order components are researched. It is shown that digital Butterworth and Chebyshev type II filters exhibit the same patterns as analog ones: compression of the amplitude-frequency characteristic, cutoff frequency shift, and increased slope. For band-pass Butterworth components, a symmetric shift of cutoff frequencies toward the center frequency and narrowing of the passband are observed. The obtained dependencies are well approximated by analytical functions; however, considering resource constraints of which are located within the on-board computing systems, and the integrity of **their preliminary table assignment in memory for fast calculation is based on, and operates in the form of hardware and software implementation on computing devices**.

It is **established** that the most appropriate approach from the standpoint of algorithmic complexity is the sequential connection low-order components of the

same type. The most suitable models are Butterworth and Chebyshev type II filters, which provide flat passband response, predictable frequency behavior, and analytical parameter estimation. These results form the theoretical basis for further adjustment of computational procedures for creating frequency-dependent program-algorithmic component (FDPAC) and improving data processing of autonomous mobile platforms.

Based on the analysis, the goal and objectives of the research are formulated.

The **second chapter** is devoted to the development and theoretical justification of a method for improving computational efficiency of high-order digital FDSAC models based on sequential connection of low-order components of the same type and the use of all-pass program-algorithmic components (APAC). The focus is on analytical determination of cutoff frequencies, research of changes in amplitude-frequency characteristics, and forming software approaches for controlled parameter tuning of the FDSAC in real time under conditions of limited computing resources of the computing device of autonomous mobile platforms.

In subsection 2.1, an **analytical approach** for determining cutoff frequencies for sequentially connected first-order components is **proposed**. The expediency of using FDSAC of the first-order as base elements to create high-order components is **substantiated** due to the small number of transfer function coefficients (which minimizes memory usage), simplicity of algorithmic implementation, and computational stability during real-time data processing. It is shown that when similar algorithmic components are connected in series, their transfer functions are equivalent to raising to a power, which makes it possible to significantly increase the steepness of the frequency response without directly creating a single high-order FDSAC and, accordingly, without an excessive increase in the volume of calculations. A classification of software-algorithmic components is carried out.

In subsection 2.1.1, the sequential connection of first-order low path software-algorithmic components (LPSAC) is investigated as basic elements for creating high-order FDSAC with increased efficiency. It is **established** that with an increase in the number of sequentially connected FDSAC, the cutoff frequency shifts toward

lower frequencies and the slope of the amplitude-frequency characteristic increases. Analytical relationships are **obtained** that ensure accurate determination of new cutoff frequencies depending on the number of connected components without the use of approximations.

In subsection 2.1.2, a similar analysis is performed for first-order high path software-algorithmic components (HPSAC). It is shown that when such FDSAC are connected sequentially, the cutoff frequency shifts toward higher frequencies and the slope of the amplitude-frequency characteristic increases. It is **established** that this behavior is undesirable for tasks of suppressing high-frequency noise, since the shift of the cutoff frequency extends the delay band into the high path region and may degrade filtering quality.

Analytical formulas are **obtained** for determining cutoff frequencies for n-fold software connection of HPSAC of the same type, and limitations regarding the feasibility of using this connection method in applied tasks are formulated.

In subsection 2.2, the sequential connection of second-order FDSAC of the same type is considered, which include second-order LPSAC and HPSAC, as well as first-order band-pass software-algorithmic components (BPSAC) and band stop software-algorithmic components (BSSAC). It is **shown** that for second-order LPSAC and HPSAC, obtaining simple analytical expressions for cutoff frequencies is complicated by the need to solve higher-degree equations, which reduces the suitability of direct analytical determination in program code under conditions of limited computational resources of a computing devices.

In subsection 2.2.1, an analytical method for determining cutoff frequencies for sequential connection of first-order BPSAC of the same type is developed. It is **established** that with such a connection, the central frequency remains constant, while the cutoff frequencies shift symmetrically toward the center of the passband, which leads to its narrowing according to an exponential law. Analytical expressions are **obtained** for calculating cutoff frequencies and passband width in program code depending on the number of connected FDSAC.

In subsection 2.2.2, the sequential connection of first-order BSSAC is researched. It is shown that, unlike BPSAC, sequential connection of BSSAC results not in narrowing but in widening of the rejection band, which is undesirable for most practical scenarios where suppression of a narrow frequency range in data is required. The **inexpediency** of using this approach for forming narrowband BSSAC.

In subsection 2.3, the use of all-pass software-algorithmic components (APSAC) as basic elements for creating FDSAC of increased equivalent order in data processing tasks is proposed. In subsection 2.3.1, the formation of first- and second-order APSAC based on mathematical models of LPSAC, HPSAC, BPSAC, and BSSAC types is considered. It is **shown** that such algorithms provide a uniform amplitude-frequency characteristic with simultaneous correction of phase characteristics.

In subsection 2.3.2, the possibility of forming HPSAC, BPSAC, and BSSAC for data processing based on APSAC is researched. It is shown that the connection of APSAC with LFSAC or BPSAC makes it possible to obtain FDSAC with increased slope of the amplitude-frequency characteristic and a software-controlled shift of cutoff frequencies. It is **substantiated** that this approach is promising for automated recalculation of FDSAC coefficients within autonomous mobile platforms.

It is established that the proposed method of sequential connection of LPSAC in combination with the use of APSAC ensures the formation of high-order FDSAC with lower algorithmic complexity and predictable characteristics. The **obtained** analytical relationships make it possible to accurately calculate cutoff frequencies and passbands.

The **third chapter** of the dissertation is devoted to the practical software implementation of the method for forming FDSAC of increased equivalent order proposed in the previous chapters, based on the sequential connection of a first-order components of the same type, as well as to the evaluation of calculation volume during **software implementation and hardware-software testing of algorithms**.

In subsection 3.1, the implementation of high-order LPSAC by sequential connection of a first-order algorithmic components of the same type is considered. A structural-algorithmic solution for operational changing the equivalent order of FDSAC is proposed, which allows operational modification of the equivalent order of the filter. The **expediency** of using this solution on computing devices as a means of ensuring flexible hardware-software configuration under limited resources is **substantiated**.

In subsection 3.2, the implementation of high-order BPSAC based on first-order components of the same type is researched. It is shown that the proposed algorithmic approach allows software-controlled narrowing of the passband at a constant central frequency, which confirms the theoretical provisions obtained in the second chapter. An implementation of BPSAC for processing data from ultrasonic sensors of autonomous mobile platforms is proposed.

In subsection 3.3, the implementation of high-order BSSAC by sequential connection of BPSAC of the same type is considered. It is shown that although this software approach is suitable for implementation, the widening of the rejection band with increasing filter order limits its effectiveness for narrowband software applications, which is consistent with the theoretical results of the previous chapters.

In subsection 3.4, the software implementation of APSAC of increased equivalent order based on the sequential connection of a first-order algorithmic components of the same type is researched. Two approaches to forming APSAC are proposed: based on the difference of LPSAC and HPSAC models, and based on the connection of BPSAC and BSSAC. The **expediency** of using computing devices for implementing such structures is **substantiated** in embedded real-time systems.

In subsection 3.4.1, the implementation of first- and second-order APSAC is presented. It is **shown** that the proposed approach allows dynamic change of the order of the filter model within autonomous mobile platforms without the need to create new structures.

In subsection 3.5, an example of practical application of the proposed approach for solving the issue of detecting and suppressing detonation modes of an

internal combustion engine based on algorithmic data analysis is considered. It is shown that the use of BPSAC with software-controlled parameters ensures effective extraction of detonation components in real time. A structure is proposed in which the sequential connection of FDSAC if the same type is used for dynamic data processing in accordance with changes in engine operating modes. The possibility of integrating this approach into modern embedded automotive and IoT-oriented software control systems as an element of computational support for real-time decision-making is substantiated.

In the conclusions to the chapter, it is **established** that the proposed implementations of sequential connection of high-order FDSAC of the same type ensure a reduction in the volume of algorithm computations compared to traditional approaches to creating high-order FDSAC. The obtained results confirm the suitability of the developed software approach for application in embedded computing systems, autonomous mobile platforms, and real-time systems.

Keywords: computer science, digital signal processing, filtering algorithms, frequency-dependent components, serial connection of components, volume of calculation, software engineering, autonomous systems, IoT, sensors and piezoceramic sensors, cyber-physical system, UAV, information system, mathematical model, electronic components.

List of publications of the applicant on the topic of the dissertation

Articles

1. Sytnikov T.V., Stupen P.V. Robotic system with single-type frequency-dependent components during processing of sensor signals. Electrotechnic and computer systems. 2023; 37 (113): 52–61. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.37.113.2023.06> URL: <https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3235/1146>

2. Sytnikov T., Bilenko A., Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P. Increasing the Efficiency of the Information Management System for Controlling the Spatial

Orientation of Objects in Geophysical Research. Engineering Proceedings: MDPI Engineering Proceedings; Vol.41(1), N5. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2023041005>. URL: <https://www.mdpi.com/2673-4591/41/1/5/pdf?version=1689236119> (Index Scopus)

3. Sytnikov T.V. Increasing q-factor of the digital sensor signals processing path in autonomous-mobile robotic platforms with limited computing resources. Electrotechnic and computer systems. Odessa 2024; 39(115): 26-34. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.39.115.2024.3> URL: <https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3270/1179>

4. Sytnikov V.S., Kudermetov R.K., Stupen P.V., Polska O.V., Sytnikov T.V.. Constructing sensor signal processing channel for autonomous robotic platforms. Radio Electronics Computer Science Control. 2024: 175-184. DOI: 10.15588/1607-3274-2024-4-17. URL: https://www.researchgate.net/publication/387436663_CONSTRUCTING_SENSOR_SIGNAL_PROCESSING_CHANNEL_FOR_AUTONOMOUS_ROBOTIC_PLATFORMS (Index Scopus)

5. Sytnikov T., Sytnikov V. A phase correction node construction for cyber-physical systems based on all-passfilters. Electrical and Computer Systems. 2025; 43(119): 34-40. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.43.119.2025.4> URL: <https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3329/1206>

6. Sytnikov T. V., Bilenko A. O. Sensor signal processing unit in an autonomous mobile platform using bandpass frequency-dependent components. Electrical and Computer Systems. 2025; 44(120): 55-60. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.44.120.2025.7> URL: <https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3341/1217>

Monography

Sytnikov T. Internal combustion engine detonation elimination through the application of bandpass filters in the control information system. Information processing in control and decision-making systems. Problems and solutions. Odessa 2023: 307-332. URL: <https://icst-conf.com/2023%20MG.pdf>

Conferences

International

1. Sytnikov T., Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P. Increasing Order of Digital Filters of the Same Type in Robotic Systems. Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). – Dortmund, Germany, December 2023; Vol.1: 1200–1204. DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348806 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10348806> (Index Scopus)

2. Sytnikov T., Baderko I., Stupen P., Sytnikov V. Using the same type of filters in embedded systems. International Conference of Students and Young Scientists in Theoretical and Experimental Physics – Heureka 16-18 May, Lviv, 2023: 112. URL: <https://physics.lnu.edu.ua/conferences/heureka2023/files/Heureka2023.pdf>

3. Melenchuk T., Grigorov A., Teplechuk A., Sytnikov T., Stupen P. Application of the same type of frequency-dependent components in the processing of signals from sensors of electronic vehicle systems. Innovative aspects of the development of road transport in Ukraine: collection of abstracts of the international scientific and practical conference, Kamianske, 16-18 May 2023: 109-110. URL: https://www.dstu.dp.ua/uni/downloads/tezu_ag.pdf

4. Sytnikov T., Bilenko A., Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P. Increasing the Efficiency of the Information Management System for Controlling the Spatial Orientation of Objects in Geophysical Research. Engineering Proceedings: International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science (EEPES'23) Kavala, Greece, 21–23 June 2023 URL: <https://eepes.eu/index.php/conference-proceedings/conference-proceedings/eepes2023-conference-proceedings> (Index Scopus)

5. Sytnikov T., Voitov V., Lavruhin V., Molochkov V., Sytnikov V. Application of single type band pass and rejector filters to increase the order of signal processing. Sensors, instruments and systems–2023: Collection of papers of the 10th International Scientific and Technical Conference, Cherkasy, 12–14 September

2023: 104–106. URL:
<https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/4653/1/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2%20%D0%9C%D0%9D%D0%A2%D0%9A%20%D0%94%D0%9F%D0%A1-2023.pdf>

6. Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P., Stevic Z., Sytnikov T. Analysis of the Application of Serial Connection of the Same Type Bandpass Filters in the Sensor Signal Processing Channel in the Information Control System. CEUR Workshop Proceedings. – (September 21-23 ICST-2023 Odessa) 2023; 3513: 39-50. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper04.pdf> (Index Scopus)

7. Sytnikov T., Sytnikov V., Streltsov O., Stupen P. Serial connection of the same type of bandpass filters to increase the order of signal processing in the information and control system. Information-Management Systems and Technologies: Materials of the XI International Scientific Conference(ICST-ODESSA-2023), Odessa, 21–23 September, 2023: 28–31. URL: <https://icst-conf.com/2023.pdf>

8. Sytnikov T., Bilenko A., Sytnikov V. Application of the same type filters to improve the order of signal processing. MIET-2023 Odessa. 2023: 15-16. URL: <https://old.tkea.com.ua/siet/archive/2023/15.pdf>

9. Sytnikov T., Perekrestov I., Chmelevsky A., Kupriyanov O., Sytnikov V. Serial connection of the same type of band-pass frequency-dependent components to increase the order of the transfer function in autonomous mobile platforms. Problems of computer science and computer engineering (PICT – 2023): Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference, Chernivtsi, 10–12 November 2023: 86–89. URL: <https://drive.google.com/file/d/10m9pfYczudmIanv0na1MgZqMSoGyFPA-/edit>

10. Sytnikov T., Perekrestov I., Chmelevsky A., Stupen P., Sytnikov V.. Application of a series connection of the same type bandpass frequency dependent components in systems with renewable energy sources. Proceedings 11th Intern. Conf. On Renewable Electrical Power Sources, 02–03 November. – Belgrad, 2023:

159–163. URL: https://www.smeits.rs/include/img/mkoiee-2023/PROCEEDINGS_11_ICREPS.pdf

11. Sytnikov T., Baderko I., Sytnikov V. Series connection of frequency-dependent components of the same type. Phase-frequency characteristic. Modern international technologies – 2024: Materials of the fourteenth international scientific conference of students and young scientists, Odessa, 16–17 May. 2024: 145–147. URL: <https://drive.google.com/file/d/1612nZaiRtoVwormre3UMhKbS-8B4Bex4/view?usp=sharing>

12. Sytnikov T., Baderko I., Bilenko A., Sytnikov V. Analysis of the phase-frequency characteristics using uniform filters to improve the processing procedure of sensor signals. MIET-2024 Odessa 27-29 травня 2024. URL: <https://old.tkea.com.ua/siet/archive/2024/36.pdf>

13 Sytnikov T., Bilenko A., Baderko I., Sytnikov V. Research of phase-frequency characteristics when using bandpass filters of the same type to increase the order of signal processing. Sensors, instruments and systems – 2024: Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference, Cherkasy, 30–31 May 2024: 42-44. URL: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/5031/1/%25D0%2594%25D0%259F%25D0%25A1-2024%2520%25D0%25B7%25D0%25B1%25D1%2596%25D1%2580%25D0%25BD%25D0%25B8%25D0%25BA%2520%25D0%25BF%25D1%2580%25D0%25B0%25D1%2586%25D1%258C.pdf&ved=2ahUKEwiR2ZrohsqPAxW3SvEDHTmkBUoQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw3pjdbaA4vvUgd8jeGQ_ofE

14 Sytnikov T., Perekrestov I., Lavruhin V., Sytnikov V. Automation of phase correction in the signal processing path of an autonomous mobile robotic platform. Information Technologies and Automation – 2024: Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference, Odessa, 31 October – 1 November. 2024: 682–683. URL:

<https://ontu.edu.ua/download/konfi/2024/Collection-of-abstracts-of-the-conference-ITIA-2024.pdf>

15. Sytnikov T., Zherebkin S., Chmelevsky A., Sytnikov V. Application of phase correctors in autonomous mobile robotic platforms for processing sensor signals. Problems of computer science and computer engineering: Proceedings of the XIII International Scientific and practical conference. (IIKT – 2024), Chernivtsi, 01–03 November 2024 p. // Chernivtsi National University. – Chernivtsi, 2024: 55–56. URL: https://drive.google.com/file/d/1YY-YHwal-apT_TVEOtaGh6rBiT0WJm8x/edit

All Ukrainian

1. Sytnikov T., Marushak Y., Buryachkovskyi E., Melnychenko M., Sytnikova V. Algorithmization of processing of experimental medical data using filters of the same type. Computer intelligent systems and networks: materials of the XVI All-Ukrainian scientific practical WEB conference of postgraduates, students and young scientist, Kryvyi Rih, 21–23 September. 2023: 166–168. URL: <https://drive.google.com/file/d/1PAtrBpa3K2EbFl8A5xbOkJeXnwbSHODV/view>

2. Sytnikov T., Baderko I., Buryachkovskyi E., Melnychenko M., Sytnikova V. Processing of experimental biomedical data using filters of the same type. State, achievements and prospects of information systems and technologies: materials of the XXIII All-Ukrainian scientific technical conference of young scientists, postgraduates and students. Odessa, 20–21 April. 2023: 445–447. URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/be977147-e040-4bf4-acde-90e14e967221/content>

3. Sytnikov T., Afanasiev I., Bosovsky V., Sulakov V., Sytnikov V. Sequential connection of the same type of band frequency-dependent components in autonomous mobile systems. Olvia forum – 2023: Strategies of the Black Sea region in the geopolitical space. Technical sciences. Sustainable development of the university education system, Mykolaiv, 15–18 June. 2023: 49–53. URL: <https://dSPACE.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1194/3/%d0%9e%d0%a4-2023.%20%d0%a2%d0%b5%d1%85%d0%bd%d1%96%d1%87%d0%bd%d1%96>

%20%bd%d0%b0%d1%83%d0%ba%d0%b8.%20%d0%a1%d1%82%d0%b0
%d0%bb%d0%b8%d0%b9%20%d1%80%d0%be%d0%b7%d0%b2%d0%b8%d1
%82%d0%be%d0%ba.pdf

4. Sytnikov T., Katrichen M., Minakov O., Sapko A., Sytnikov V. Information and control system for eliminating detonation of an internal combustion engine using a series connection of low-order filters of the same type. XXVI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference dedicated to the World Science Day for Peace and Development: Abstracts of reports, Mykolaiv, 6–10 November 2023: 441–443. URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/1869>

5. Sytnikov T., Shkodin O., Dilenko O., Zherebkin S., Sytnikov V. Stand-alone mobile platform with limited computing capabilities. Promising directions of modern electronics, information and computer systems: VIII All-Ukrainian scientific and practical conference (MEICS 2023): 22-24 November Dnipro: 117–118. URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/2023/materiali%20konf/25_MEICS-2023.pdf

6. Sytnikov T., Chmelevsky A., Kupriyanov O., Sytnikov V. Application of the same type of filters with limited computing resources. Information Technologies and Engineering – 2024: All-Ukrainian Scientific and Practical Conference: Abstracts of Reports, Mykolaiv, 31 January. – 2 February. 2024: 98–99. URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/1661>

7. Sytnikov T., Molochkov V., Voitov V., Sytnikov V. Phase corrector as a component of the sensor signal processing path in a mobile platform. Mohyla reading – 2024: Experience and trends in the development of society in Ukraine: global, national and regional aspects: Theses of the XXVII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference, November 6–10, 2024, Mykolaiv / Ministry of Education and Science of Ukraine, Petro Mohyla Chornomororsky National University [and others]. – Mykolaiv, 2024: 131–132. URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2507/1/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8.pdf>

