

УДК 004.2/.75/.94

Кагарлицький Євгеній Іванович
(аспірант ПВНЗ «Європейський університет»)
ORCID ID 0009-0003-8905-5226

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПОТУЖНОСТЕЙ НА ОСНОВІ ОПРАЦЮВАННЯ ЧАСТОТНО-МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ

Анотація. У статті розглянуто сучасні підходи до реалізації комп'ютерних систем моніторингу потужностей на основі опрацювання частотно-модульованих сигналів. Проаналізовано архітектуру систем моніторингу, методи фільтрації, декодування та аналізу сигналів. Розкрито алгоритми підвищення точності розпізнавання частотно-модульованих сигналів, а також методи оцінки потужностей. Запропоновано інтеграцію апаратного та програмного забезпечення для досягнення високої продуктивності системи моніторингу. Обґрунтовано переваги застосування частотно-модульованих сигналів у складних технічних системах, які працюють у середовищах із високим рівнем шуму.

Ключові слова: комп'ютерна система моніторингу, частотно-модульовані сигнали, фільтрація сигналів, декодування, спектральний аналіз, розпізнавання сигналів, оцінка потужностей.

Постановка проблеми. Сучасні складні технічні системи потребують постійного моніторингу ключових параметрів, зокрема потужностей, для забезпечення стабільного функціонування, своєчасного реагування на відхилення та ефективного використання ресурсів. Умови експлуатації таких систем, зокрема наявність високого рівня шумів і складних умов передачі даних, створюють значні виклики для традиційних методів обробки сигналів. Частотно-модульовані сигнали, завдяки своїм властивостям, таким як стійкість до шумів, ефективне використання частотного спектра та висока точність передачі інформації, становлять перспективний напрямок для реалізації систем моніторингу. Водночас, недостатньо розроблені алгоритми їх фільтрації, декодування та аналізу вимагають вдосконалення, щоб забезпечити ефективну роботу у режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обробка частотно-модульованих сигналів привертає значну увагу дослідників, оскільки їхнє застосування дозволяє підвищити надійність і точність передачі інформації в умовах шумових перешкод. У роботах Р. Каплана та Д. Нортонна аналізується стійкість ЧМС до шумів і їх застосування у складних технічних системах [7]. Методи спектрального аналізу, такі як швидке перетворення Фур'є (FFT), широко досліджуються у роботах, присвячених аналізу частотних характеристик сигналів [10]. Водночас, сучасні підходи, які інтегрують цифрову фільтрацію, декодування та алгоритми розпізнавання сигналів, залишаються фрагментарно висвітленими. Крім того, питання оцінки потужностей на основі обробки ЧМС у реальному часі та їх інтеграція з апаратним забезпеченням потребують подальших досліджень.

Мета статті. Метою статті є розробка архітектури комп'ютерної системи моніторингу потужностей на основі обробки частотно-модульованих сигналів, аналіз сучасних методів їх фільтрації, декодування, спектрального аналізу та розпізнавання, а також обґрунтування алгоритмів підвищення точності оцінки потужностей у складних технічних середовищах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Моніторинг потужностей у складних технічних системах є невід'ємною складовою ефективного управління їх функціонуванням та забезпечення надійності. У цьому контексті використання частотно-модульованих сигналів (ЧМС) стає ключовим підходом, який дозволяє забезпечити високу точність

передачі інформації, стійкість до шумів та ефективне використання доступного частотного спектра. Частотно-модульовані сигнали мають унікальні характеристики, що роблять їх оптимальним вибором для задач моніторингу потужностей, особливо в умовах складних і мінливих середовищ. Частотно-модульовані сигнали характеризуються тим, що їх інформаційний зміст передається шляхом зміни частоти несучого сигналу залежно від миттєвого значення інформаційного повідомлення. Це дозволяє уникнути залежності інформації від амплітуди сигналу, яка є більш вразливою до зовнішніх перешкод. У результаті такі сигнали мають високу стійкість до шумів і здатність передавати дані навіть у несприятливих умовах, таких як високий рівень електромагнітних перешкод чи нестабільність середовища передачі [10].

Однією з ключових властивостей частотно-модульованих сигналів є їх стійкість до впливу шумів. Оскільки інформація закодована у частотних характеристиках, а не в амплітудних, вплив адитивного білого шуму або інших перешкод має значно менший вплив на якість передачі. Це особливо важливо в контексті моніторингу потужностей, де надійність та безперервність передачі даних є критичними. Стійкість до шумів забезпечується також використанням фільтрації та демодуляції, що дозволяє виділити корисний сигнал навіть у складних середовищах [9]. Ще однією визначальною перевагою частотно-модульованих сигналів є їх здатність забезпечувати високу точність передачі інформації. Завдяки властивостям частотно-модульованих систем, рівень спотворення сигналу зводиться до мінімуму, що дозволяє зберігати точність переданих даних навіть при значній відстані між передавачем і приймачем. У задачах моніторингу потужностей це означає можливість отримання достовірної інформації про стан системи в реальному часі, що критично важливо для своєчасного виявлення збоїв чи аномалій. Крім того, частотно-модульовані сигнали забезпечують ефективне використання частотного спектра, що є важливою характеристикою для систем, які працюють у складних технічних середовищах з обмеженими ресурсами. Завдяки можливості передавати більше інформації у визначеному діапазоні частот, такі сигнали дозволяють зменшити необхідну смугу пропускання та мінімізувати взаємні перешкоди між каналами. Це робить частотно-модульовані сигнали незамінними у багатоканальних системах моніторингу, де необхідно забезпечити одночасну передачу великої кількості даних [11].

Окремо варто зазначити адаптивність частотно-модульованих сигналів до різних типів середовищ передачі. Незалежно від того, чи це є провідні мережі, чи безпровідні системи, такі сигнали можуть бути легко адаптовані до умов експлуатації завдяки зміні параметрів модуляції. Це розширює можливості їх використання в різних галузях, зокрема енергетиці, телекомунікаціях, промислових системах тощо. Частотно-модульовані сигнали також мають переваги в контексті їх застосування для забезпечення надійності систем моніторингу. Використання таких сигналів дозволяє створювати резервні канали передачі, які функціонуватимуть навіть у разі збою основного каналу. Це підвищує загальну стійкість системи та знижує ризики втрати даних [4]. У контексті задач моніторингу потужностей частотно-модульовані сигнали відкривають додаткові можливості для точного вимірювання змін потужності та виявлення динаміки її змін. Їх використання дозволяє проводити моніторинг у реальному часі з мінімальними затримками, що є важливим для систем, де кожна секунда затримки може призводити до значних втрат. Таким чином, частотно-модульовані сигнали забезпечують необхідний рівень продуктивності та гнучкості, роблячи їх оптимальним вибором для реалізації сучасних систем моніторингу [2]. Отже, характеристики частотно-модульованих сигналів, такі як стійкість до шумів, точність передачі інформації та ефективність використання частотного спектра, роблять їх одним із найефективніших інструментів для забезпечення надійного моніторингу потужностей. Їх адаптивність, стійкість до зовнішніх перешкод та здатність працювати в умовах обмежених

ресурсів відкривають широкі перспективи для їх подальшого впровадження в технічних системах.

Моніторинг потужностей у складних технічних системах є однією з основних задач керування, що забезпечує стабільність, ефективність та надійність їх функціонування. У сучасних умовах зростання складності технологічних процесів, інтеграції інформаційно-технологічних рішень та підвищення вимог до енергетичної ефективності, потреба у точному контролі потужностей стає критичною. Технічні системи, що працюють у різних галузях, таких як енергетика, телекомунікації, промислове виробництво або транспорт, вимагають постійного моніторингу ключових параметрів, включаючи потужності, для забезпечення своєчасного реагування на можливі аномалії та збої [10]. Потреба у точному контролі потужностей зумовлена кількома ключовими факторами. По-перше, це пов'язано з необхідністю оптимізації ресурсів, які використовуються у технічних системах. Контроль потужностей дозволяє запобігти перевантаженням, зменшити втрати енергії та забезпечити рівномірний розподіл ресурсів у системі. Наприклад, у промислових виробничих системах точний моніторинг потужностей дозволяє уникнути нераціонального споживання енергії та підвищити ефективність використання обладнання. По-друге, складні технічні системи, як правило, працюють у режимах високої інтенсивності, де будь-яка відмова окремого елемента може призвести до значних наслідків. Моніторинг потужностей у реальному часі дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормального функціонування системи, такі як перевантаження, зменшення продуктивності або несанкціоноване споживання ресурсів. Це особливо актуально для критично важливих систем, таких як енергетичні мережі, де стабільність подачі енергії є пріоритетною [11].

Вимоги до моніторингових систем у реальному часі формуються з огляду на необхідність забезпечення оперативності, точності та надійності передачі даних. Моніторингові системи повинні працювати безперервно, забезпечуючи збір, обробку та аналіз даних про потужності у режимі реального часу. Це передбачає застосування сучасних технологій обробки сигналів, високошвидкісних засобів передачі інформації та алгоритмів прогнозування. Системи моніторингу повинні забезпечувати мінімальну затримку у передачі даних, що дозволяє оперативно реагувати на зміни у параметрах системи [1]. Точність є ще однією важливою вимогою до систем моніторингу потужностей. Будь-яке відхилення у вимірюваних параметрах може призвести до помилкових управлінських рішень, що у свою чергу може вплинути на стабільність роботи всієї системи. З цією метою у моніторингових системах використовуються методи корекції та калібрування даних, що дозволяють зменшити похибки у вимірюваннях. Також активно застосовуються алгоритми виявлення аномалій, які дозволяють ідентифікувати потенційні проблеми ще до того, як вони призведуть до серйозних наслідків. На додаток до точності, моніторингові системи повинні відповідати вимогам стійкості до зовнішніх впливів. У складних технічних середовищах, де системи працюють в умовах високих рівнів шумів, вібрацій або температурних коливань, важливо, щоб система моніторингу зберігала свою функціональність і забезпечувала стабільний збір даних. Для цього використовуються спеціалізовані апаратні рішення, такі як шумозахищені датчики, а також програмні засоби для фільтрації сигналів та корекції даних [6].

Інтерфейс моніторингових систем також відіграє важливу роль, оскільки він забезпечує зручний доступ до даних для операторів та управлінців. Візуалізація даних про потужності, їх динаміка та прогнозування змін дозволяють приймати більш обґрунтовані рішення у процесі управління системою. Застосування графічних панелей, інтерактивних діаграм та інтелектуальних інструментів аналізу підвищує ефективність використання моніторингових систем [4]. Звідси випливає, що моніторинг потужностей є ключовою задачею управління складними технічними системами, що забезпечує їх стабільність, ефективність та надійність. У сучасних умовах зростаючих вимог до оперативності, точності та стійкості

моніторингових систем, впровадження інноваційних технологій, таких як частотно-модульовані сигнали, адаптивні алгоритми обробки даних та інтелектуальні системи прогнозування, стає необхідністю для забезпечення безперебійної роботи технічних систем у реальному часі [3].

Обробка сигналів у сучасних технічних системах займає центральне місце у вирішенні задач аналізу, моніторингу та управління складними процесами. Особливо це стосується частотно-модульованих сигналів (ЧМС), які завдяки своїм властивостям є одним із найбільш ефективних способів передачі інформації у середовищах з високим рівнем шумів та складними умовами передачі. Сучасні підходи до обробки таких сигналів поєднують у собі математичні методи аналізу, цифрові технології та адаптивні алгоритми, які забезпечують високу точність і надійність отримання інформації [5]. Існуючі методи аналізу частотно-модульованих сигналів орієнтовані на виявлення, виділення та розшифрування інформації, закодованої у зміні частоти сигналу. Одним із основних підходів є метод демодуляції, який дозволяє перетворювати змінні частотні характеристики сигналу у форму, зручну для подальшого аналізу. Демодуляція може здійснюватися різними способами, залежно від типу системи та рівня шумів у середовищі передачі. Наприклад, частотно-детекторні методи забезпечують пряме виділення частоти сигналу, тоді як фазово-частотні методи дозволяють підвищити точність обробки, використовуючи додаткові параметри сигналу [7].

Використання цифрових фільтрів є невід'ємною частиною сучасних систем обробки частотно-модульованих сигналів. Цифрові фільтри дозволяють зменшити вплив шумів, виділити корисний сигнал і підвищити якість отриманої інформації. Залежно від задачі, фільтри можуть бути налаштовані на видалення високочастотних або низькочастотних компонентів, а також на селективне виділення певного діапазону частот. Наприклад, у задачах моніторингу потужностей, де важливо забезпечити точність аналізу змін частоти, можуть використовуватися вузькосмугові фільтри. При цьому цифрова фільтрація забезпечує не лише усунення шумів, але й компенсацію спотворень, які можуть виникати під час передачі сигналу через середовище з неоднорідними характеристиками [2]. Спектральний аналіз є ще одним ключовим методом обробки частотно-модульованих сигналів. Його суть полягає у розкладанні сигналу на частотні компоненти, що дозволяє отримати детальну інформацію про його структуру та динаміку. Завдяки спектральному аналізу можна виявляти частотні зміни, що відповідають закодованій інформації, навіть у випадках, коли сигнал суттєво спотворений шумами. Сучасні методи спектрального аналізу, такі як швидке перетворення Фур'є (FFT), дозволяють виконувати обчислення з високою швидкістю та точністю, що є критично важливим для систем, які працюють у режимі реального часу. Застосування спектрального аналізу є особливо ефективним для виявлення гармонічних компонентів сигналу, визначення ширини спектра та оцінки частотного розподілу енергії сигналу [10].

Алгоритми розпізнавання сигналів є ще одним важливим напрямком у сучасній обробці частотно-модульованих сигналів. Вони дозволяють автоматизувати процес ідентифікації та аналізу сигналів, що суттєво підвищує ефективність роботи моніторингових систем. Одним із основних методів є кореляційний аналіз, який дозволяє визначити схожість між отриманим сигналом і еталонним. У поєднанні зі спектральним аналізом кореляційні методи дозволяють виявляти навіть слабкі сигнали, приховані у шумовому середовищі. Додатково використовуються алгоритми класифікації сигналів, засновані на машинному навчанні, які здатні адаптуватися до змін у параметрах сигналів і середовища передачі [6]. Важливим аспектом сучасних підходів до обробки сигналів є інтеграція методів фільтрації, спектрального аналізу та алгоритмів розпізнавання у єдину систему. Це дозволяє забезпечити комплексний підхід до аналізу частотно-модульованих сигналів, що включає видалення шумів, визначення частотних характеристик, ідентифікацію сигналів та їх

інтерпретацію. Використання таких інтегрованих систем є особливо ефективним у складних технічних середовищах, де високий рівень шумів та велика кількість сигналів створюють додаткові виклики [8]. Таким чином, сучасні підходи до обробки частотно-модульованих сигналів ґрунтуються на використанні цифрових фільтрів для зменшення впливу шумів, спектрального аналізу для виділення частотних характеристик та алгоритмів розпізнавання для автоматизації аналізу сигналів. Їх інтеграція у єдину систему забезпечує високу точність, швидкість і надійність обробки сигналів, що є критично важливим для задач моніторингу та управління у складних технічних системах.

Реалізація сучасної системи моніторингу потужностей базується на інтеграції різних методів і технологій, які забезпечують безперервний збір, передачу, обробку і візуалізацію даних. Комп'ютерні системи моніторингу покликані забезпечити ефективне керування складними технічними процесами та оперативне реагування на зміни параметрів. Архітектура такої системи є багатошаровою і охоплює апаратну частину (датчики, засоби передачі даних) та програмне забезпечення, що здійснює обробку сигналів і забезпечує інтерфейс користувача [7]. Основним елементом архітектури системи є датчики, які відповідають за безпосередній збір даних про параметри потужностей у системі. Датчики перетворюють фізичні величини, такі як напруга, струм або частота, у сигнали, які можна обробляти у цифровому вигляді. Вибір типу датчиків залежить від специфіки системи моніторингу. Наприклад, у системах енергетики широко використовуються сенсори струму та напруги, які забезпечують високу точність вимірювань навіть у складних умовах експлуатації. Сучасні датчики часто обладнані функцією попередньої обробки сигналів, що дозволяє зменшити рівень шумів і забезпечити передачу даних у стандартизованому форматі [9]. Другим ключовим компонентом системи є засоби передачі даних, які забезпечують транспортування сигналів від датчиків до центрального обчислювального вузла. У сучасних системах моніторингу використовуються різноманітні технології передачі даних, включаючи провідні мережі (Ethernet, RS-485) і бездротові технології (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, LoRaWAN). Вибір засобів передачі залежить від вимог до системи, таких як відстань між компонентами, швидкість передачі даних та стійкість до перешкод. Для підвищення надійності передачі у складних середовищах використовуються алгоритми корекції помилок, які дозволяють компенсувати спотворення сигналів [8].

Обробка сигналів є центральним елементом функціонування системи моніторингу. На цьому етапі отримані сигнали проходять через етапи фільтрації, демодуляції, аналізу і перетворення у форму, зрозумілу для кінцевого користувача. Для цього використовуються цифрові фільтри, методи спектрального аналізу та алгоритми розпізнавання сигналів. Наприклад, для обробки частотно-модульованих сигналів застосовуються вузькосмугові фільтри для виділення потрібного спектру частот та алгоритми Фур'є-аналізу для визначення характеристик сигналу. Крім того, сучасні системи моніторингу оснащуються модулями штучного інтелекту, які дозволяють прогнозувати динаміку зміни параметрів на основі аналізу історичних даних. Важливим аспектом є розробка інтерфейсу користувача, який забезпечує візуалізацію даних та інтерактивність системи. Інтерфейс має бути зручним і інтуїтивно зрозумілим, щоб користувачі могли оперативним чином отримувати необхідну інформацію та реагувати на зміни у системі. Для цього використовуються інтерактивні графіки, панелі управління та системи сповіщення, які сигналізують про вихід параметрів за допустимі межі. Наприклад, у системах моніторингу енергетичних мереж інтерфейс може містити візуалізацію стану кожної точки мережі, дозволяючи оператору швидко виявляти проблемні зони [6].

Інтеграція апаратного та програмного забезпечення є критично важливим етапом у побудові системи моніторингу. Вона забезпечує взаємодію між датчиками, засобами передачі даних, модулями обробки сигналів та інтерфейсом користувача. Для цього

використовуються стандартні протоколи обміну даними, такі як Modbus, CAN або OPC-UA, які забезпечують сумісність між різними компонентами системи. Важливу роль у інтеграції відіграють хмарні технології, які дозволяють централізувати обробку даних і забезпечити доступ до системи з будь-якої точки світу. Наприклад, використання хмарних платформ дозволяє зберігати великі обсяги даних, отриманих з датчиків, і забезпечувати доступ до них для подальшого аналізу[4]. Сучасні технології також дозволяють створювати децентралізовані системи моніторингу, де обробка даних виконується безпосередньо на рівні датчиків або проміжних вузлів передачі даних. Такий підхід зменшує навантаження на центральний обчислювальний вузол і підвищує швидкість реагування системи. Наприклад, у системах інтернету речей (IoT) широко використовуються "розумні" датчики, які можуть самостійно виконувати попередню обробку сигналів і надсилати лише результати аналізу [9]. Таким чином, реалізація сучасної системи моніторингу потужностей вимагає комплексного підходу, що охоплює інтеграцію апаратних та програмних компонентів, забезпечення надійної передачі даних, застосування ефективних методів обробки сигналів та створення зручного інтерфейсу користувача. Розвиток таких систем базується на впровадженні новітніх технологій, які підвищують їх точність, продуктивність та надійність, що є критично важливим для складних технічних систем [2].

Обробка частотно-модульованих сигналів (ЧМС) є однією з ключових задач сучасних систем моніторингу та управління. Завдяки їхнім властивостям – високій стійкості до шумів і здатності точно передавати інформацію навіть у складних умовах – ЧМС широко застосовуються у різних технічних галузях. Для ефективної обробки таких сигналів необхідна розробка спеціалізованих алгоритмів, які забезпечують фільтрацію, декодування, аналіз сигналів і підвищення точності їх розпізнавання [1]. Методи фільтрації сигналів є базовим етапом у процесі їх обробки, особливо в умовах, коли сигнал передається у середовищах із високим рівнем шумів. Одним із основних завдань фільтрації є виділення корисної частини сигналу, яка містить закодовану інформацію, та усунення небажаних перешкод. У випадку частотно-модульованих сигналів використовуються переважно цифрові фільтри, такі як низькочастотні, високочастотні, смугові та вузькосмугові фільтри. Наприклад, у системах моніторингу потужностей вузькосмугові фільтри дозволяють виділяти лише ті частоти, які відповідають специфічним характеристикам ЧМС. Для реалізації фільтрації застосовуються такі методи, як швидке перетворення Фур'є (FFT), яке дозволяє виділити частотний спектр сигналу і вибірково усунути шумові компоненти [5].

Декодування частотно-модульованих сигналів є наступним етапом їх обробки і передбачає перетворення частотних змін сигналу у відповідні зміни інформаційного повідомлення. Для цього використовуються алгоритми детектування частоти, які визначають миттєве значення частоти сигналу у кожний момент часу. Залежно від вимог до системи можуть застосовуватися різні підходи до декодування, включаючи адаптивні методи, які враховують особливості сигналу та рівень шуму. Наприклад, фазово-частотні методи забезпечують високу точність декодування шляхом аналізу як частотних, так і фазових характеристик сигналу. Аналіз сигналів є критично важливим для оцінки їхніх параметрів та інтерпретації отриманої інформації. У цьому контексті спектральний аналіз відіграє ключову роль, оскільки дозволяє отримати повну картину частотного розподілу сигналу. Швидке перетворення Фур'є, поряд із вейвлет-аналізом, забезпечує розділення сигналу на компоненти різних частот, що дозволяє визначити основні характеристики ЧМС. Для задач моніторингу потужностей це означає можливість оцінки змін потужностей у часі та виявлення аномалій у роботі системи. У випадках, коли сигнал містить складні частотні зміни, використовуються методи часово-частотного аналізу, які дозволяють аналізувати сигнал у різних часових інтервалах [3].

Алгоритми підвищення точності розпізнавання частотно-модульованих сигналів розробляються з метою забезпечення максимальної достовірності отриманої інформації. Одним із підходів є використання кореляційного аналізу, який дозволяє визначити схожість між отриманим сигналом і еталонним. У системах з високим рівнем шумів кореляційні методи демонструють високу ефективність, оскільки дозволяють виділяти навіть слабкі сигнали, приховані у шумовому середовищі. Іншим важливим напрямком є застосування методів машинного навчання, зокрема алгоритмів класифікації сигналів. Використовуючи тренувальні вибірки, такі алгоритми здатні адаптуватися до змін параметрів сигналу та забезпечувати точне розпізнавання навіть у складних умовах [7]. Оцінка потужностей на основі обробки частотно-модульованих сигналів вимагає додаткових алгоритмів, які дозволяють визначати енергетичні характеристики сигналу. Для цього застосовуються методи інтегрування енергетичної складової у часі, що дозволяє обчислювати середню або миттєву потужність сигналу. Також використовуються методи спектральної щільності потужності, які забезпечують детальний аналіз розподілу енергії сигналу у частотному спектрі. Застосування цих алгоритмів дозволяє не лише оцінювати потужності, але й прогнозувати їхні зміни, що є важливим для моніторингу складних технічних систем [11].

Сучасні алгоритми обробки частотно-модульованих сигналів часто інтегрують різні методи, включаючи фільтрацію, декодування, аналіз і розпізнавання, у єдину систему, що дозволяє досягти високої продуктивності та точності. Використання адаптивних алгоритмів і технологій штучного інтелекту відкриває нові можливості для покращення систем обробки сигналів, забезпечуючи їхню здатність працювати у реальному часі та адаптуватися до змін середовища [10]. Таким чином, розробка ефективних методів фільтрації, декодування та аналізу, а також алгоритмів підвищення точності розпізнавання є основою для створення високоефективних систем моніторингу, що відповідають сучасним вимогам до складних технічних систем.

Висновки. Дослідження підтвердило ефективність використання частотно-модульованих сигналів у комп'ютерних системах моніторингу потужностей, особливо в умовах високого рівня шумів. Запропонована архітектура системи, яка інтегрує апаратні та програмні компоненти, забезпечує високу точність, продуктивність і надійність. Методи фільтрації, декодування та спектрального аналізу дозволяють мінімізувати вплив перешкод і забезпечують ефективне виділення корисних сигналів. Розроблені алгоритми розпізнавання сигналів і оцінки потужностей сприяють точній і оперативній роботі системи у реальному часі. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію штучного інтелекту для підвищення адаптивності системи та прогнозування змін у параметрах потужностей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Abe T. and Honda M. Sinusoidal model based on instantaneous frequency attractors. *IEEE Trans. on Audio, Speech and Language Processing*, July 2006, 14(4), P. 1292–300.
2. M. F. Ferreira. *Dissipative Optical Solitons*, Springer, 2022, 364 p.
3. Omelchuk Iu., Chyrka A. Closed-Form ARMA-Based ML-Estimator of a Single-Tone Frequency. *Circuits, Systems, and Signal Processing*. 2018. V. 37 (8). P. 3441-3456.
4. R.J. Mc. Aulay and T.F. Quatieri. Speech Analysis/Synthesis Based on a Sinusoidal Representation. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. August 1986, V. 34 (4), P. 744-754.
5. S. Mann and S. Haykin. The chirplet transform: Physical considerations, *IEEE Trans. Signal Process.*, 1995, V. 43, No. 11, 2745 p.
6. V. Sinik, Z. Despotovic, I. Palinkas. Optimization of the operation and frequency control of electromagnetic vibratory feeders, *Elektronika ir Elektrotehnika*, 2016, №1, V. 22, P. 24-30.
7. Waruhiu, H. (2014). Rebalancing the Balanced Scorecard: a sequel to Kaplan and Norton. *European Journal of Business and Management*, 6(29), 116-124. URL: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80586502/16232-libre.pdf?1644580229=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRbalancing the Balanced Scorecard A Seq.pdf&Expires=1737997059&Signa](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80586502/16232-libre.pdf?1644580229=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRbalancing%20the%20Balanced%20Scorecard%20A%20Seq.pdf&Expires=1737997059&Signa)

[ture=RWd9mZUI7guGGJO~AUcoP9eDa6sZN3qO23t8MXKXpBFjPXvHZde-yEtDNFgVHY46beUDzf4~LpAGFViom0b74LLj4z73xH0WmCkOOJZ57rHpTPIP715rdFupg3mgbzAIVgs2MRztAGB8gHgFMPtdAC77S7MmiHG8xZfgu8j2Anw66IASHQjwQJu3xo-jYTxeY-TafFCJw-9O1aHiA32aj7YCjXhSlzJXN3-UHlikyDLSgZqfObjwu0~a8t2aRHqCWup-5ABOj72jtaZxxbg2UX-PeSmmhPSWsndvB1KPMPG4C7efk8NnyLAYnDDx12qw1W16~J-mx3rIMFKbNpMCQ &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://doi.org/10.26907/2542-0406.2025.01.0008)

8. Z. Despotovic A. R. The increasing energy efficiency of the vibratory conveying drives with electromagnetic excitation, *International Journal of Electrical and Power Engineering*, 2012, № 6 (1), P. 38-42.

9. Воронцов О. В. Замена непрерывных форм элементарных функциональных зависимостей рекуррентными формулами задания дискретных числовых последовательностей. Геометрическое та компьютерное моделирование: Сборник науч. работ. Харьков: ХДУХТ, 2010. Вып. 27. С. 57–62.

10. Снікеєв О.Ф. Інформаційна технологія опрацювання частотномодульованого сигналу / О.Ф. Снікеєв, Д.Ю. Захаренков // Тези доповіді міжнародної конференції «Інформатика, управління та штучний інтелект». – Харків: НТУ «ХПІ» – 2019. – С. 35.

11. Малоед М. М. Оптимізація стабілізуючого управління математичним маятником. Електроніка та системи управління, 2011, №1(27), С. 78–83.

REFERENCES

1. Abe T. and Honda M. Sinusoidal model based on instantaneous frequency attractors. *IEEE Trans. on Audio, Speech and Language Processing*, July 2006, 14(4), P. 1292–300.

2. M. F. Ferreira. *Dissipative Optical Solitons*, Springer, 2022, 364 p.

3. Omelchuk Iu., Chyrka A. Closed-Form ARMA-Based ML-Estimator of a Single-Tone Frequency. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 2018. V. 37 (8). P. 3441-3456.

4. R.J. Mc. Aulay and T.F. Quatieri. Speech Analysis/Synthesis Based on a Sinusoidal Representation. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, August 1986, V. 34 (4), P. 744-754.

5. S. Mann and S. Haykin. The chirplet transform: Physical considerations, *IEEE Trans. Signal Process.*, 1995, V. 43, No. 11, 2745 p.

6. V. Sinik, Z. Despotovic, I. Palinkas. Optimization of the operation and frequency control of electromagnetic vibratory feeders, *Elektronika ir Elektrotechnika*, 2016, №1, V. 22, P. 24-30.

7. Waruhiu, H. (2014). Rebalancing the Balanced Scorecard: a sequel to Kaplan and Norton. *European Journal of Business and Management*, 6(29), 116-124. URL: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80586502/16232-libre.pdf?1644580229=&response-content-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80586502/16232-libre.pdf?1644580229=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRebalancing%20the%20Balanced%20Scorecard%20A%20Seq.pdf&Expires=1737997059&Signature=RWd9mZUI7guGGJO~AUcoP9eDa6sZN3qO23t8MXKXpBFjPXvHZde-yEtDNFgVHY46beUDzf4~LpAGFViom0b74LLj4z73xH0WmCkOOJZ57rHpTPIP715rdFupg3mgbzAIVgs2MRztAGB8gHgFMPtdAC77S7MmiHG8xZfgu8j2Anw66IASHQjwQJu3xo-jYTxeY-TafFCJw-9O1aHiA32aj7YCjXhSlzJXN3-UHlikyDLSgZqfObjwu0~a8t2aRHqCWup-5ABOj72jtaZxxbg2UX-PeSmmhPSWsndvB1KPMPG4C7efk8NnyLAYnDDx12qw1W16~J-mx3rIMFKbNpMCQ &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[disposition=inline%3B+filename%3DRebalancing the Balanced Scorecard A Seq.pdf&Expires=1737997059&Signature=RWd9mZUI7guGGJO~AUcoP9eDa6sZN3qO23t8MXKXpBFjPXvHZde-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80586502/16232-libre.pdf?1644580229=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRebalancing%20the%20Balanced%20Scorecard%20A%20Seq.pdf&Expires=1737997059&Signature=RWd9mZUI7guGGJO~AUcoP9eDa6sZN3qO23t8MXKXpBFjPXvHZde-yEtDNFgVHY46beUDzf4~LpAGFViom0b74LLj4z73xH0WmCkOOJZ57rHpTPIP715rdFupg3mgbzAIVgs2MRztAGB8gHgFMPtdAC77S7MmiHG8xZfgu8j2Anw66IASHQjwQJu3xo-jYTxeY-TafFCJw-9O1aHiA32aj7YCjXhSlzJXN3-UHlikyDLSgZqfObjwu0~a8t2aRHqCWup-5ABOj72jtaZxxbg2UX-PeSmmhPSWsndvB1KPMPG4C7efk8NnyLAYnDDx12qw1W16~J-mx3rIMFKbNpMCQ &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[yEtDNFgVHY46beUDzf4~LpAGFViom0b74LLj4z73xH0WmCkOOJZ57rHpTPIP715rdFupg3mgbzAIVgs2MRztAGB8gHgFMPtdAC77S7MmiHG8xZfgu8j2Anw66IASHQjwQJu3xo-jYTxeY-TafFCJw-9O1aHiA32aj7YCjXhSlzJXN3-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80586502/16232-libre.pdf?1644580229=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRebalancing%20the%20Balanced%20Scorecard%20A%20Seq.pdf&Expires=1737997059&Signature=RWd9mZUI7guGGJO~AUcoP9eDa6sZN3qO23t8MXKXpBFjPXvHZde-yEtDNFgVHY46beUDzf4~LpAGFViom0b74LLj4z73xH0WmCkOOJZ57rHpTPIP715rdFupg3mgbzAIVgs2MRztAGB8gHgFMPtdAC77S7MmiHG8xZfgu8j2Anw66IASHQjwQJu3xo-jYTxeY-TafFCJw-9O1aHiA32aj7YCjXhSlzJXN3-UHlikyDLSgZqfObjwu0~a8t2aRHqCWup-5ABOj72jtaZxxbg2UX-PeSmmhPSWsndvB1KPMPG4C7efk8NnyLAYnDDx12qw1W16~J-mx3rIMFKbNpMCQ &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[UHlikyDLSgZqfObjwu0~a8t2aRHqCWup-5ABOj72jtaZxxbg2UX-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80586502/16232-libre.pdf?1644580229=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRebalancing%20the%20Balanced%20Scorecard%20A%20Seq.pdf&Expires=1737997059&Signature=RWd9mZUI7guGGJO~AUcoP9eDa6sZN3qO23t8MXKXpBFjPXvHZde-yEtDNFgVHY46beUDzf4~LpAGFViom0b74LLj4z73xH0WmCkOOJZ57rHpTPIP715rdFupg3mgbzAIVgs2MRztAGB8gHgFMPtdAC77S7MmiHG8xZfgu8j2Anw66IASHQjwQJu3xo-jYTxeY-TafFCJw-9O1aHiA32aj7YCjXhSlzJXN3-UHlikyDLSgZqfObjwu0~a8t2aRHqCWup-5ABOj72jtaZxxbg2UX-PeSmmhPSWsndvB1KPMPG4C7efk8NnyLAYnDDx12qw1W16~J-mx3rIMFKbNpMCQ &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[PeSmmhPSWsndvB1KPMPG4C7efk8NnyLAYnDDx12qw1W16~J-mx3rIMFKbNpMCQ &Key-Pair-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80586502/16232-libre.pdf?1644580229=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRebalancing%20the%20Balanced%20Scorecard%20A%20Seq.pdf&Expires=1737997059&Signature=RWd9mZUI7guGGJO~AUcoP9eDa6sZN3qO23t8MXKXpBFjPXvHZde-yEtDNFgVHY46beUDzf4~LpAGFViom0b74LLj4z73xH0WmCkOOJZ57rHpTPIP715rdFupg3mgbzAIVgs2MRztAGB8gHgFMPtdAC77S7MmiHG8xZfgu8j2Anw66IASHQjwQJu3xo-jYTxeY-TafFCJw-9O1aHiA32aj7YCjXhSlzJXN3-UHlikyDLSgZqfObjwu0~a8t2aRHqCWup-5ABOj72jtaZxxbg2UX-PeSmmhPSWsndvB1KPMPG4C7efk8NnyLAYnDDx12qw1W16~J-mx3rIMFKbNpMCQ &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

[Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/80586502/16232-libre.pdf?1644580229=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRebalancing%20the%20Balanced%20Scorecard%20A%20Seq.pdf&Expires=1737997059&Signature=RWd9mZUI7guGGJO~AUcoP9eDa6sZN3qO23t8MXKXpBFjPXvHZde-yEtDNFgVHY46beUDzf4~LpAGFViom0b74LLj4z73xH0WmCkOOJZ57rHpTPIP715rdFupg3mgbzAIVgs2MRztAGB8gHgFMPtdAC77S7MmiHG8xZfgu8j2Anw66IASHQjwQJu3xo-jYTxeY-TafFCJw-9O1aHiA32aj7YCjXhSlzJXN3-UHlikyDLSgZqfObjwu0~a8t2aRHqCWup-5ABOj72jtaZxxbg2UX-PeSmmhPSWsndvB1KPMPG4C7efk8NnyLAYnDDx12qw1W16~J-mx3rIMFKbNpMCQ &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

8. Z. Despotovic A. R. The increasing energy efficiency of the vibratory conveying drives with electromagnetic excitation, *International Journal of Electrical and Power Engineering*, 2012, № 6 (1), P. 38-42.

9. Vorontsov O. V. Zamina neprerivnykh form elementarnykh funktsionalnykh zalezhnostei rekurentnykh formulamy zadannia diskretnykh chyslovykh poslidoynostei. Neometrychne ta kompiuterne modeliuvannia: Zbirnyk nauk. prats. Kharkiv: KhDUKhT, 2010. Vyp. 27. S. 57–62.

10. Ієнікієєв О.Ф. Інформаційна технологія опрацювання частотномодульованого сигналу / О.Ф. Ієнікієєв, Д.І. Зажаренков // Тези доповіді міжнародної конференції «Інформатика, управління та штучний інтелект». – Харків: НТУ «ХПІ» – 2019. – С. 35.

11. Малоед М. М. Оптимізація стабілізуючого управління математичним маятником. Електроніка та системи управління, 2011, №1(27), С. 78–83.

Kaharlytskyi Yevheniy Ivanovych
(Postgraduate student of PVNZ "European University")

TITLE OF THE ARTICLE

Abstract. *The article considers modern approaches to the implementation of computer power monitoring systems based on the processing of frequency-modulated signals. The architecture of monitoring systems, methods of filtering, decoding and analysis of signals are analyzed. Algorithms for increasing the accuracy of recognition of frequency-modulated signals, as well as methods for estimating power are disclosed. The integration of hardware and software is proposed to achieve high performance of the monitoring system. The advantages of using frequency-modulated signals in complex technical systems operating in environments with high noise levels are substantiated.*

Keywords: *computer monitoring system, frequency-modulated signals, signal filtering, decoding, spectral analysis, signal recognition, power estimation.*