

ІНТЕГРАЦІЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ У ПРОФЕСІЙНУ ПІДГОТОВКУ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ УНІВЕРСИТЕТІВ

Злата Бондаренко

Вінницький національний технічний університет

У статті розглянуто педагогічні аспекти інтеграції математичних методів аналізу сигналів у підготовку студентів технічних університетів у контексті сучасних енергоефективних технологій та систем Internet of Things (IoT). Актуальність дослідження зумовлена зростанням вимог до фахівців інженерних спеціальностей щодо здатності працювати з великими обсягами реальних даних, здійснювати їх аналітичну обробку та приймати обґрунтовані інженерні рішення у сфері комп'ютерно-інтегрованих систем керування опаленням «розумних будинків». Особливу увагу приділено проблемі недостатньої практичної спрямованості викладання математичних дисциплін у технічній освіті та розриву між теоретичними знаннями і реальними інженерними задачами.

Метою статті є обґрунтування та експериментальна перевірка поетапної методики навчання студентів математичним методам аналізу параметрів опалення на основі реальних IoT-даних із використанням Фур'є- та вейвлет-перетворень. У роботі застосовано компетентнісний, міждисциплінарний та практико-орієнтований підходи до навчання. Запропонована методика передбачає послідовний перехід від аналізу часових температурних сигналів до спектрального та часово-частотного аналізу з подальшим використанням отриманих результатів для оптимізації роботи систем опалення.

У статті визначено перелік ключових математичних методів, необхідних для аналізу параметрів опалення в IoT-системах, та встановлено їх зв'язок із конкретними лабораторними роботами. Описано повний цикл занять, побудованих на реальних або наближених до реальних даних «розумного будинку». Значну увагу приділено фізичній та інженерній інтерпретації спектральних характеристик температурних сигналів, що сприяє формуванню системного інженерного мислення у студентів.

Педагогічну ефективність методики підтверджено результатами експериментального дослідження з використанням кількісних показників: рівнів сформованості професійних компетентностей, результатів навчального тестування та оцінювання практичних умінь. Отримані дані свідчать про статистично значуще зростання рівня підготовки студентів, підвищення якості засвоєння математичних методів та здатності застосовувати їх для розв'язання реальних інженерних задач у сфері енергоефективних IoT-систем.

Ключові слова: методика навчання, технічні університети, математичні методи, перетворення Фур'є, Вейвлет-перетворення, комп'ютерно-інтегровані технології, Internet of Things, системи опалення, обробка сигналів, енергоефективність.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку інженерної освіти характеризується активним впровадженням цифрових технологій, систем автоматизації та концепції Internet of Things (IoT) у різні галузі промисловості й житлово-комунального господарства. Однією з найбільш актуальних сфер застосування IoT є системи опалення та керування мі. крокліматом у будівлях, де ефективність роботи значною мірою визначається здатністю фахівця інженерних спеціальностей аналізувати великі масиви даних і приймати обґрунтовані керувальні рішення.

Це створює передумови для використання сучасних математичних методів аналізу сигналів з метою діагностування стану систем опалення та підвищення їхньої енергоефективності. Водночас ефективне застосування таких методів потребує відповідної підготовки фахівців, здатних працювати з реальними даними та інтерпретувати результати аналізу з урахуванням фізичних процесів теплопередачі.

У зв'язку з цим перед технічними університетами постає завдання не лише навчити студентів теоретичним основам вищої математики, а й сформувати в них уміння застосовувати математичні методи для розв'язання реальних інженерних задач. Особливої уваги потребує підготовка фахівців, здатних працювати з комп'ютерно-інтегрованими технологіями діагностування та оцінки ефективності

параметрів опалення на основі IoT-компонентів.

Невирішеною залишається проблема інтеграції математичних методів обробки сигналів у зміст лабораторних і практичних занять технічних університетів з орієнтацією на реальні дані IoT-систем опалення. Відсутні також узагальнені підходи до оцінювання педагогічної ефективності навчання цим методам у контексті підготовки фахівців з енергоефективних інженерних систем.

У зв'язку з цим дана стаття спрямована на обґрунтування та дослідження методики навчання студентів технічних університетів математичним методам аналізу параметрів опалення на основі реальних IoT-даних, а також на кількісну оцінку її педагогічної ефективності у формуванні професійних компетентностей майбутніх фахівців інженерних спеціальностей.

Аналіз наукових досліджень і публікацій. Аналіз наукових джерел свідчить, що проблема інтеграції математичних методів аналізу сигналів у підготовку фахівців інженерних спеціальностей для роботи з енергоефективними IoT-системами розглядається в міждисциплінарному контексті, поєднуючи технічні, педагогічні та інформаційні аспекти.

Фундаментальні засади розвитку Internet of Things як технологічної платформи для збору та аналізу даних закладено в роботі (Gubbi, Buyya, Marusic, Palaniswami, 2020), де IoT розглядається як багаторівнева архітектура з сенсорним, мережевим та аналітичним рівнями. Автори підкреслюють ключову роль обробки даних і аналітичних методів для прийняття інженерних рішень, однак освітній аспект підготовки фахівців до роботи з такими системами залишається поза межами їх дослідження.

Педагогічні засади навчання фахівців інженерних спеціальностей на основі реальних даних ґрунтовно розкриті в праці (Prince, Felder R, 2016), де доведено ефективність індуктивних методів навчання, зокрема problem-based та case-based learning. Автори показують, що робота з реальними інженерними кейсами суттєво підвищує рівень розуміння складних математичних методів, що є методологічною основою для використання IoT-даних у навчанні аналізу параметрів опалення.

Ідеї міждисциплінарної інтеграції вищої освіти розвиваються в дослідженні (Kuzmenko, Rostoka, Dembitska, Topolnik, Miastkovska, 2022), де математичні методи розглядаються не ізольовано, а у зв'язку з конкретними технічними системами. Автори доводять, що такий підхід сприяє формуванню системного мислення та професійних компетентностей, необхідних для роботи з комп'ютерно-інтегрованими енергетичними системами.

Педагогічний потенціал вейвлет-аналізу детально висвітлено в наукових дослідженнях (Bassam, Ramachandran, Parameswaran, 2021), де наголошено на перевагах часово-частотного аналізу для пояснення нестационарних процесів. Автори підкреслюють, що вейвлети є інтуїтивно зрозумілими для студентів за умови використання реальних сигналів, що безпосередньо корелює з аналізом температурних процесів у «розумних будинках».

Сучасні дослідження зосереджуються на проблемах інтеграції IoT, штучного інтелекту та цифрових технологій у технічну та педагогічну освіту. Так, у роботі (Sanchez Padilla, Al-Shamma'a, Khan, 2025) проаналізовано бар'єри впровадження IoT в інженерній освіті, серед яких виділено недостатню математичну підготовку студентів для аналізу сенсорних даних. Українські дослідження (Литвинова, Сухіх, Полященко, 2025; Биков, Спірін, Пінчук, 2023) акцентують увагу на формуванні цифрових і аналітичних компетентностей.

Роботи, присвячені безпосередньо енергетичним IoT-системам і «розумним будинкам» (Монастирський та ін., 2018; IoT-based smart electric heating control system, 2024; Development of an intelligent heating system for residential buildings using machine learning, 2023) детально описують алгоритми аналізу температурних даних, машинне навчання та оптимізацію опалення. Проте ці дослідження майже не розглядають дидактичні механізми навчання студентів застосуванню Фур'є- та вейвлет-аналізу в освітньому процесі.

Разом з тим, аналіз наукових публікацій свідчить, що більшість досліджень зосереджена переважно на технічних аспектах оптимізації систем опалення або на розробленні алгоритмів керування. Значно менше уваги приділяється педагогічним аспектам підготовки майбутніх фахівців інженерних спеціальностей до використання зазначених математичних методів у комп'ютерно-інтегрованих IoT-системах. Зокрема, недостатньо досліджено методику поетапного навчання студентів аналізу реальних температурних сигналів із застосуванням Фур'є- та вейвлет-перетворень, а також кількісну оцінку ефективності такої методики з позицій сформованості професійних компетентностей.

Метою статті є розробка та обґрунтування методики навчання студентів технічних університетів математичним методам, необхідним для створення та аналізу комп'ютерно-інтегрованих технологій діагностування й оцінки ефективності параметрів опалення на основі IoT.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання дослідження**:

1. Проаналізувати освітні потреби майбутніх фахівців інженерних спеціальностей у сфері енергоефективних IoT-систем.
2. Визначити перелік ключових математичних методів, необхідних для аналізу параметрів опалення.
3. Розробити поетапну методику навчання зазначеним методам з використанням реальних даних.
4. Оцінити педагогічну ефективність запропонованої методики.

Виклад основного матеріалу. Однією з ключових освітніх потреб майбутніх фахівців інженерних спеціальностей є здатність працювати з великими масивами сенсорних даних, що надходять від розподілених IoT-пристроїв. У системах енергоефективного опалення – це дані температури, вологості, споживання теплової енергії, станів термостатів та зовнішніх кліматичних умов. Тому, базова математична підготовка має бути доповнена вміннями статистичного аналізу, кореляційного та регресійного аналізу, а також методами фільтрації та обробки сигналів (Бондаренко, 2024).

Важливою освітньою потребою є розуміння фізичної природи теплових процесів у будівлях у поєднанні з математичними методами їхнього опису. Майбутні інженери повинні вміти інтерпретувати результати Фур'є- та вейвлет-аналізу не абстрактно, а з урахуванням теплової інерційності будівель, режимів проживання мешканців і роботи автоматизованих систем опалення. Це вимагає інтеграції математичних дисциплін з курсами теплотехніки, автоматизованих систем керування та енергоефективних технологій.

Ще однією суттєвою освітньою потребою є формування навичок прийняття інженерних рішень на основі результатів аналізу даних. Інженер повинен не лише виявляти періодичні або аномальні температурні коливання, але й використовувати ці результати для оптимізації алгоритмів керування термостатами, зменшення кількості зайвих увімкнень опалення та підвищення енергоефективності системи в цілому.

У контексті сучасної цифрової трансформації особливого значення набуває потреба у практично орієнтованому навчанні. Студенти технічних університетів очікують роботи з реальними або наближеними до реальних даними IoT-систем, використання програмних середовищ для аналізу сигналів, моделювання та візуалізації результатів. Це сприяє формуванню прикладних компетентностей і підвищує мотивацію до вивчення складних математичних методів.

Крім того, майбутні інженери потребують міждисциплінарної підготовки, яка поєднує математику, інформатику, енергетику та автоматизацію. Саме така підготовка дозволяє їм ефективно працювати з комп'ютерно-інтегрованими IoT-системами, оцінювати їх енергоефективність та адаптувати алгоритми керування до реальних умов експлуатації.

Відтак, освітні потреби майбутніх фахівців інженерних спеціальностей у сфері енергоефективних IoT-систем зосереджуються на поєднанні фундаментальної математичної підготовки з прикладним аналізом даних, міждисциплінарністю та орієнтацією на реальні інженерні задачі. Урахування цих потреб є необхідною умовою підготовки конкурентоспроможних фахівців, здатних впроваджувати та розвивати сучасні системи енергоефективного опалення.

Аналіз параметрів опалення в комп'ютерно-інтегрованих IoT-системах ґрунтується на обробці багатовимірних часових даних, що зумовлює необхідність застосування комплексу сучасних математичних методів. Ключову роль у такому аналізі відіграють методи теорії сигналів і часових рядів, які дають змогу досліджувати температурні сигнали, отримані з сенсорів у часовій області. Зокрема, дискретне та швидке перетворення Фур'є використовуються для виявлення домінуючих періодів температурних коливань, обернене Фур'є-перетворення – для відновлення згладжених сигналів після фільтрації, а спектральний аналіз – для дослідження частотного складу температурних процесів. Аналіз часових рядів дозволяє виявляти довгострокові тренди, сезонні та циклічні компоненти, характерні для роботи систем опалення.

Важливе місце посідають методи фільтрації та згладжування сигналів, які застосовуються для усунення шумів вимірювальних сенсорів і підвищення якості вихідних даних. До них належать низькочастотна та смугово-пропускна Фур'є-фільтрація, експоненціальне згладжування, метод ковзного середнього, а також фільтр Калмана, що забезпечує оцінювання стану системи опалення в реальному часі.

Для аналізу нестационарних температурних сигналів доцільним є використання вейвлет-аналізу, зокрема безперервного та дискретного вейвлет-перетворення. Ці методи дозволяють виявляти короточасні локальні аномалії, такі як відкривання вікон або різкі зміни режимів опалення, а також здійснювати одночасний аналіз сигналу в часовому та частотному доменах.

Не менш важливими є статистичні методи аналізу даних, які забезпечують оцінку надійності та закономірностей вимірювань. До них належать методи описової статистики, кореляційний аналіз для визначення взаємозв'язків між температурою, енергоспоживанням і зовнішніми умовами, а також регресійний аналіз, що використовується для побудови моделей залежності енергоспоживання від температурних параметрів.

З метою підвищення енергоефективності систем опалення застосовуються методи оптимізації, зокрема оптимізація керування термостатами, мінімізація енергоспоживання за умови збереження температурного комфорту та багатокритеріальна оптимізація, яка враховує компроміс між комфортом, енергоспоживанням і зносом обладнання. Доповнюють цей комплекс методи математичного моделювання, що використовуються для формалізації теплових процесів у будівлях, зокрема моделі теплового балансу приміщень, диференціальні рівняння теплопередачі та імітаційне моделювання поведінки системи опалення.

Запропонована поетапна методика навчання математичним методам аналізу параметрів опалення з використанням реальних даних IoT ґрунтується на принципах поетапного формування професійних компетентностей, міждисциплінарної інтеграції та навчання на основі практично значущих даних. Вона орієнтована на підготовку майбутніх фахівців інженерних спеціальностей до роботи з комп'ютерно-інтегрованими системами діагностування та оцінки ефективності опалення, характерними для сучасних енергоефективних «розумних будинків».

На мотиваційно-орієнтаційному етапі студентам пропонується реальний кейс «розумного будинку» з автономною системою опалення та розподіленою мережею IoT-сенсорів. Основна увага зосереджується на формуванні розуміння практичної значущості математичних методів для вирішення інженерних задач. Студенти знайомляться з типами вимірюваних даних, зокрема температурою повітря, показниками енергоспоживання та зовнішніми метеорологічними умовами, обговорюють проблеми надмірного споживання енергії та необхідність аналітичного підходу до оптимізації роботи опалювальних систем.

На наступному етапі відбувається ознайомлення з реальними або наближеними до реальних наборами IoT-даних та їх первинний аналіз. Студенти виконують візуалізацію температурних сигналів у часовій області, аналізують дискретність вимірювань, рівень шуму сенсорів і наявність пропусків у даних. Особливий акцент робиться на формуванні навичок інтерпретації отриманих часових рядів як відображення фізичних теплових процесів у будівлі, а не лише як абстрактних числових послідовностей (рисунк1).

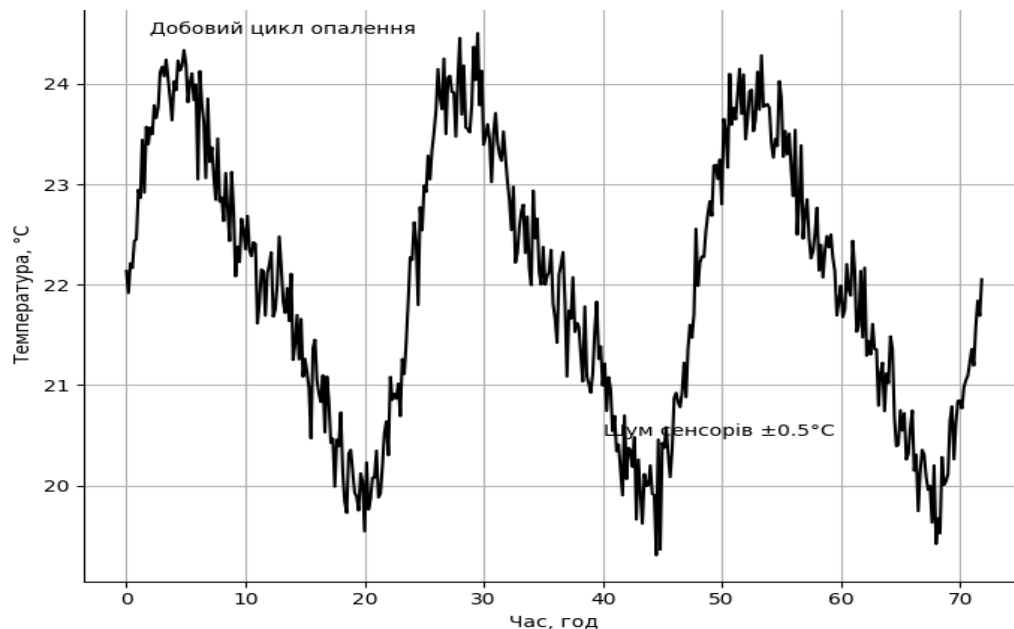


Рисунок 1. Температурний сигнал у часі

Подальший етап присвячений засвоєнню методів аналізу часових рядів і статистики. Студенти застосовують описову статистику та базові методи аналізу часових рядів для оцінювання середніх значень температури, амплітуди коливань, трендів і добової періодичності. Робота з реальними даними дозволяє наочно продемонструвати інерційний характер теплових процесів у будівлях і створює

методичне підґрунтя для подальшого використання частотних методів аналізу.

Фур'є-аналіз вводиться як інструмент дослідження реальних температурних коливань, а не як абстрактна математична конструкція. Студенти будують нормалізовані Фур'є-спектри температурних сигналів, визначають домінуючі низькочастотні складові та пов'язують їх із режимами роботи системи опалення і добовими циклами (рисунок 2). Значна увага приділяється фізичній інтерпретації спектральних характеристик та їх інженерному змісту.

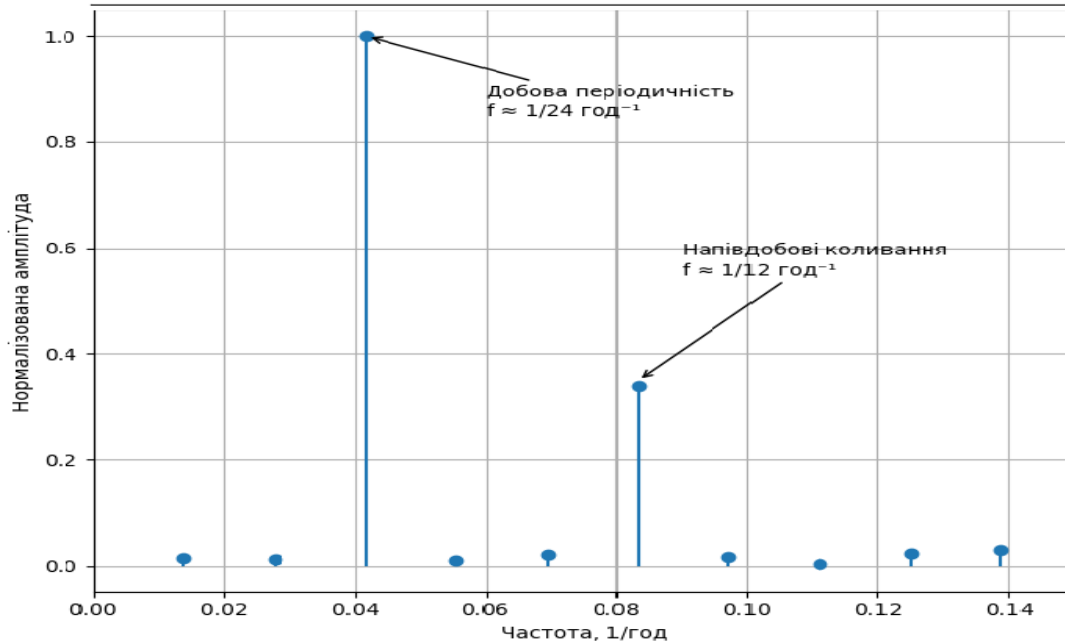


Рисунок 2. Нормалізований Фур'є-спектр

Графіки, побудовані для навчального прикладу, наочно демонструють зв'язок між часовою поведінкою температурного сигналу та його спектральними характеристиками, що є ключовим елементом формування інженерного мислення у студентів.

На графіку температурного сигналу в часовій області студенти можуть простежувати добовий цикл зміни температури, який відповідає режимам роботи системи опалення та природному добовому ритму будівлі. Плавні підйоми температури пов'язані з активною роботою опалення у ранкові та вечірні години, тоді як зниження температури відповідає періодам економного режиму. Накладений на сигнал випадковий шум з амплітудою до $\pm 0,5$ °C моделює реальні похибки IoT-сенсорів і дрібні неконтрольовані теплові збурення, з якими інженер має працювати на практиці.

Нормалізований Фур'є-спектр цього сигналу дозволяє перейти від часової інтерпретації до частотної. Домінуючий пік при частоті $f \approx 1/24$ год⁻¹ однозначно відповідає добовій періодичності температурних коливань. У навчальному контексті студенти інтерпретують цей пік як наслідок регулярної роботи системи опалення, добового циклу зовнішньої температури та теплової інерції будівлі. Другорядний пік при частоті $f \approx 1/12$ год⁻¹ відображає напівдобові коливання, які можуть бути пов'язані з режимами користування приміщенням, короткими циклами регулювання термостатів або побутовою активністю мешканців. Високочастотна частина спектра має дуже малу амплітуду, що підтверджує відсутність різких температурних стрибків і свідчить про стабільну роботу системи та незначний рівень шуму сенсорів.

Відтак, у цьому прикладі увага студентів зосереджується не лише на математичній побудові Фур'є-спектра, а передусім на його фізичній та інженерній інтерпретації. Вони вчаться пов'язувати спектральні піки з реальними режимами роботи опалення, добовими циклами та поведінкою будівлі як теплової системи, що є критично важливим для подальшої оптимізації енергоефективних IoT-рішень.

Наступним кроком є застосування Фур'є-фільтрації для підвищення якості даних. Студенти виконують видалення високочастотного шуму сенсорів і порівнюють температурні сигнали до та після фільтрації. Це дозволяє усвідомити вплив якості вхідних даних на ефективність алгоритмів керування термостатами, прогнозування температурних режимів і загальну стабільність роботи системи опалення.

Вейвлет-аналіз розглядається як розвиток і доповнення Фур'є-аналізу для дослідження нестационарних температурних процесів. Студенти виконують безперервне вейвлет-перетворення реальних температурних сигналів, будують вейвлет-спектри та виявляють короточасні локальні аномалії, пов'язані з побутовою активністю мешканців, відкриванням вікон або змінами зовнішніх умов. Це сприяє формуванню розуміння переваг часово-частотного аналізу в задачах діагностування та моніторингу.

На завершальному етапі відбувається інтеграція результатів аналізу та їх використання для оптимізації роботи системи опалення. Студенти застосовують результати Фур'є- та вейвлет-аналізу для коригування алгоритмів керування термостатами, аналізують кількість увімкнень опалювального обладнання, тривалість його активної роботи та досягнуту економію енергії, оцінюючи ефективність прийнятих інженерних рішень.

Кількісне оцінювання педагогічної ефективності запропонованої методики здійснювалося на основі системи показників, що відображають рівень сформованості професійних компетентностей студентів, результати навчального тестування та динаміку їхніх практичних умінь. Оцінювання проводилося в межах педагогічного експерименту за участю контрольної та експериментальної груп студентів технічного університету, що дозволило зіставити традиційну модель навчання з авторською методикою, орієнтованою на використання реальних IoT-даних і сучасних математичних методів аналізу.

Рівень сформованості професійних компетентностей оцінювався за трьома градаціями — низький, середній і високий. До аналізу включалися ключові компетентності, що є критично важливими для майбутніх фахівців інженерних спеціальностей у сфері енергоефективних систем, а саме здатність аналізувати температурні сигнали, уміння застосовувати Фур'є- та вейвлет-перетворення, навички інтерпретації результатів аналізу в інженерному контексті та здатність обґрунтовувати рішення щодо оптимізації систем опалення. До впровадження методики у студентів переважав низький рівень сформованості компетентностей (46–48 %), тоді як середній рівень становив 38–40 %, а високий — лише 12–14 %. Після впровадження поетапної методики навчання спостерігалось суттєве покращення результатів: частка студентів із низьким рівнем зменшилася до 14–16 %, середній рівень зріс до 42–45 %, а кількість студентів з високим рівнем сформованості професійних компетентностей досягла 39–42 %. Таким чином, частка студентів із високим рівнем підготовки зросла більш ніж утричі, а кількість студентів із низьким рівнем зменшилася приблизно на 30 %, що свідчить про значний педагогічний ефект (рисунок 3).

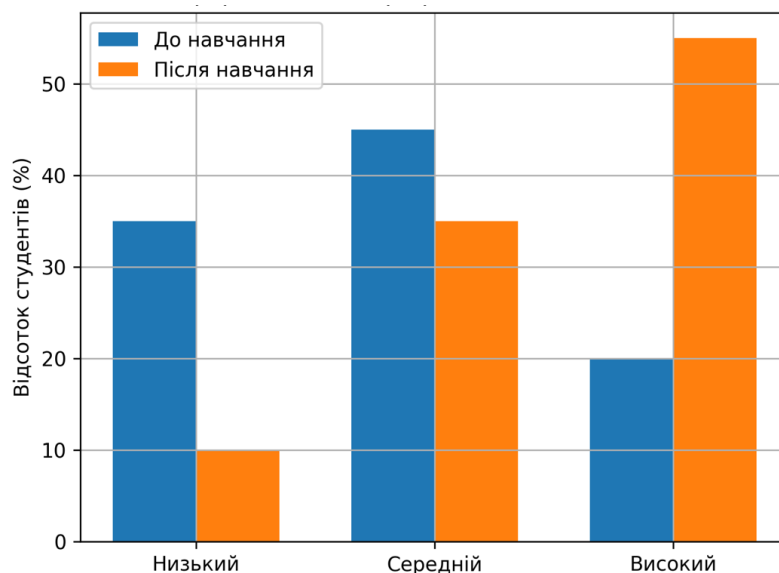


Рисунок 3. Рівні сформованості професійних компетентностей

Додатково ефективність методики оцінювалася за результатами модульного тестування навчальних досягнень за 100-бальною шкалою. Тестові завдання охоплювали теоретичні питання з математичних методів обробки сигналів, практичні задачі з аналізу реальних IoT-даних та інтерпретаційні завдання інженерного характеру. Середні результати тестування до впровадження методики становили 63–66 балів, тоді як після її застосування зросли до 82–86 балів. Середнє

підвищення результатів тестування склало близько 20–23 %, що свідчить про суттєве зростання рівня засвоєння навчального матеріалу та більш глибоке розуміння студентами як математичного апарату, так і його практичного застосування.

Окрему увагу було приділено оцінюванню сформованості практичних умінь за результатами виконання лабораторних робіт і підсумкового проєктного завдання, яке передбачало аналіз температурних даних «розумного будинку» та розробку пропозицій щодо оптимізації системи опалення. За результатами оцінювання кількість студентів, які виконали лабораторні роботи без суттєвих методичних помилок, зросла з 52–55 % до 85–88 %. Водночас середній час виконання практичних завдань скоротився на 20–25 %, що свідчить про зростання операційної впевненості та автоматизацію навичок. Показовим є також те, що понад 70 % студентів змогли самостійно обґрунтувати вибір параметрів Фур'є- та вейвлет-аналізу, тоді як до початку експерименту цей показник не перевищував 30 %.

Узагальнена кількісна оцінка педагогічної ефективності, визначена на основі інтегрального показника, який враховував середньозважені значення результатів тестування, рівнів сформованості компетентностей та практичних умінь, продемонструвала підвищення ефективності навчання на 25–30 % порівняно з традиційною методикою. Отримані кількісні результати підтверджують, що запропонована методика забезпечує статистично та педагогічно значуще підвищення рівня підготовки студентів, сприяє глибшому засвоєнню математичних методів і формує здатність застосовувати їх для розв'язання реальних інженерних задач у сфері енергоефективних комп'ютерно-інтегрованих IoT-систем.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, результати дослідження підтверджують, що запропонована методика навчання математичним методам аналізу сигналів на основі реальних IoT-даних є ефективною як з інженерної, так і з педагогічної точки зору. Вона забезпечує формування у студентів цілісних професійних компетентностей, поєднуючи математичну підготовку з практичними завданнями енергоефективності, та може бути рекомендована для впровадження в освітні програми підготовки фахівців інженерних спеціальностей у сфері «розумних» енергетичних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Биков, В. Ю., Спірін, О. М., & Пінчук, О. П. (2023). Формування цифрових компетентностей здобувачів вищої технічної освіти в умовах розвитку індустрії 4.0. *Інформаційні технології і засоби навчання*. Т. 92. № 6. С. 1–15.
- Бондаренко, З. В. (2024). Фундаментальна освіта в умовах компетентнісного навчання вищої математики студентів технічних університетів. *Інноваційна педагогіка XXI століття: нові компетентності викладача закладу вищої освіти: матеріали наук.-пед. підвищення кваліфікації*. Вінниця: ВДПУ, 138 с. URL: https://dspace.vspu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/13004/Materiali_pidvishcennij_kvalifikacii.pdf.
- Литвинова, С. Г., Сухих, А. С., & Полященко, І. М. (2025). Цифрові компетентності педагогів у контексті впровадження інноваційних освітніх технологій. *Розвиток інформаційних освітніх технологій*. № 3. С. 22–35.
- Монастирський, Л. С. та ін. (2018). Обробка даних системи цифрових сенсорів температури з метою оптимізації енерговитрат «розумного» будинку. *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології*. Т. 15. № 3. С. 74–81. URL: <https://u.to/ADBNGw>.
- Bassam, N. A., Ramachandran, V., & Parameswaran, S. E. (2021). Wavelet theory and application in communication and signal processing. *Wavelet Theory*. IntechOpen. DOI: [10.5772/intechopen.95047](https://doi.org/10.5772/intechopen.95047).
- Development of an intelligent heating system for residential buildings using machine learning. (2023). *IEEE Xplore*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9023478>.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2020). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*. Vol. 29. № 7. P. 1645–1660.
- IoT-based smart electric heating control system. (2024). *IEEE Xplore*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7993895>.
- Kuzmenko, O., Rostoka, M., Dembitska, S., Topolnik, Y., & Miastkovska, M. (2022). Innovative and Scientific ECO Environment: Integration of Teaching Information and Communication Technologies and Physics. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 390. P. 29–36. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93907-6_4.

- Prince, M., & Felder, R. (2016). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*. Vol. 95. № 2. P. 123–138.
- Sanchez Padilla, V., Al-Shamma'a, A., & Khan, S. (2025). Barriers to integrating low-power IoT in engineering education: A survey of the literature. *arXiv preprint*. arXiv:2510.22522.

REFERENCES

- Bassam, N. A., Ramachandran, V., & Parameswaran, S. E. (2021). Wavelet theory and application in communication and signal processing. *Wavelet Theory*. IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.95047>. [in English].
- Bondarenko, Z. V. (2024). Fundamentalna osvita v umovakh kompetentnisnoho navchannia vyshchoi matematyky studentiv tekhnichnykh universytetiv [Fundamental education under competency-based teaching of higher mathematics for technical university students]. *Innovatsiina pedahohika KhKhI stolittia: novi kompetentnosti vykladacha zakladu vyshchoi osvity: materialy nauk.-ped. pidvyshchennia kvalifikatsii*. Vinnytsia: VDPU, 138 s. URL: https://dspace.vspu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/13004/Matiriali_pidvishcennij_kvalifikacii.pdf. [in Ukrainian].
- Bykov, V. Yu., Spirin, O. M., & Pinchuk, O. P. (2023). Formuvannia tsyfrovyykh kompetentnosti zdobuvachiv vyshchoi tekhnichnoi osvity v umovakh rozvytku industrii 4.0 [Formation of digital competencies of higher technical education students in the context of Industry 4.0 development]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia*. T. 92. № 6. S. 1–15. [in Ukrainian].
- Development of an intelligent heating system for residential buildings using machine learning. (2023). *IEEE Xplore*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9023478>. [in English].
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2020). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*. Vol. 29. № 7. P. 1645–1660.
- IoT-based smart electric heating control system. (2024). *IEEE Xplore*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7993895>. [in English].
- Kuzmenko, O., Rostoka, M., Dembitska, S., Topolnik, Y., & Miastkovska, M. (2022). Innovative and Scientific ECO Environment: Integration of Teaching Information and Communication Technologies and Physics. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 390. P. 29–36. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93907-6_4. [in English].
- Lytvynova, S. H., Sukhikh, A. S., & Poliashchenko, I. M. (2025). Tsyfrovi kompetentnosti pedahohiv u konteksti vprovadzhennia innovatsiinykh osvitnikh tekhnolohii [Digital competencies of teachers in the context of implementing innovative educational technologies]. *Rozvytok informatsiinykh osvitnikh tekhnolohii*. № 3. S. 22–35. [in Ukrainian].
- Monastyrskiy, L. S. ta in. (2018). Obrobka danykh systemy tsyfrovyykh sensoriv temperatury z metoiu optymizatsii enerhovytrat «rozumnoho» budynku [Data processing of digital temperature sensor systems for optimizing energy consumption of a “smart” house]. *Sensorna elektronika i mikrosistemni tekhnolohii*. T. 15. № 3. S. 74–81. URL: <https://u.to/ADBNGw>. [in Ukrainian].
- Prince, M., & Felder, R. (2016). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*. Vol. 95. № 2. P. 123–138. [in English].
- Sanchez Padilla, V., Al-Shamma'a, A., & Khan, S. (2025). Barriers to integrating low-power IoT in engineering education: A survey of the literature. *arXiv preprint*. arXiv:2510.22522. [in English].

Дата надходження: 12.01.2026

Дата прийняття до друку після рецензування: 09.02.2026

Дата публікації: 24.04.2026

Злата Бондаренко – канд. пед. наук, доцент, доцент кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bondarenko@vntu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0009-1032-1469>.

INTEGRATION OF MATHEMATICAL SIGNAL ANALYSIS METHODS INTO THE PROFESSIONAL TRAINING OF STUDENTS AT TECHNICAL UNIVERSITIES

Zlata Bondarenko – Cand. Sc. (Ped), Associate Professor of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Email: bondarenko@vntu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0009-1032-1469>.

The article discusses the pedagogical aspects of integrating mathematical methods of signal analysis into the training of technical university students in the context of modern energy-efficient technologies and Internet of Things (IoT) systems. The relevance of the study is due to the growing demands on engineers to be able to work with large amounts of real data, perform analytical processing, and make informed engineering decisions in the field of computer-integrated heating control systems for “smart homes.” Particular attention is paid to the problem of insufficient practical orientation of teaching mathematical disciplines in technical education and the gap between theoretical knowledge and real engineering tasks.

The purpose of the article is to justify and experimentally verify a step-by-step methodology for teaching student’s mathematical methods of analyzing heating parameters based on real IoT data using Fourier and wavelet transforms. The work applies competency-based, interdisciplinary, and practice-oriented approaches to teaching. The proposed methodology involves a sequential transition from the analysis of time temperature signals to spectral and time-frequency analysis, with the subsequent use of the results obtained to optimize the operation of heating systems.

The article defines a list of key mathematical methods necessary for analyzing heating parameters in IoT systems and establishes their connection with specific laboratory work. A complete cycle of classes based on real or near-real data from a “smart home” is described. Considerable attention is paid to the physical and engineering interpretation of the spectral characteristics of temperature signals, which contributes to the formation of systematic engineering thinking in students.

The pedagogical effectiveness of the methodology is confirmed by the results of an experimental study using quantitative indicators: levels of professional competence, results of educational testing, and assessment of practical skills. The data obtained indicate a statistically significant increase in the level of student training, an improvement in the quality of mastery of mathematical methods, and the ability to apply them to solve real engineering problems in the field of energy-efficient IoT systems.

Keywords: teaching methods, technical universities, mathematical methods, Fourier transform, wavelet transform, computer-integrated technologies, Internet of Things, heating systems, signal processing, energy efficiency.