УДК 681.5.03

ВИКОРИСТАННЯ ПРЯМОКУТНИХ ОРТОГОНАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНИХ СТАНІВ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

М. І. Горбійчук, М. О. Слабінога

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, e-mail:ksm@nung.edu.ua, тел.(0342)504521

Розглянуто доцільність застосування прямокутних ортогональних функцій для ідентифікації технічних станів промислових об'єктів. Проаналізовано сучасний стан проблеми практичного застосування прямокутних ортогональних функцій в аналізі випадкових величин. Розроблено програмний пакет для розкладу випадкової величини у спектри по функціях Радемахера, Хаара та Уолша. Отримано та розглянуто результати роботи програмного пакету для аналізу параметрів газоперекачувальних агрегатів. Зроблено висновок щодо можливості застосування даних результатів для отримання додаткової інформації про технічний стан об'єкта.
Ключові слова: спектральний аналіз, прямокутна функція, технічний стан, промисловий об'єкт, статистична характеристика.

Рассмотрена целесообразность применения прямоугольных ортогональных функций для идентификации технических состояний промышленных объектов. Проанализировано современное состояние проблемы практического применения прямоугольных ортогональных функций в анализе случайных величин. Разработан программный пакет для разложения случайной величины в спектры по функциям Радемахера, Хаара и Уолша. Получены и рассмотрены результаты работы программного пакета для анализа параметров газоперекачивающих агрегатов. Сделан вывод о возможности применения данных результатов для получения дополнительной информации о техническом состоянии объекта.
Ключевые слова: спектральный анализ, прямоугольная функция, техническое состояние, промышенный объект, статистическая характеристика

The article considers the justification of the application of rectangular orthogonal functions for the identification of technical conditions of industrial objects. The current state of the practical application problem of rectangular orthogonal functions in the analysis of random variables was analyzed. A software package for the decomposition of a random variable in the spectrum functions in the Rademacher, Haar and Walsh bases was developed. The results of the software package operation for the analysis of the parameters of gas compressor units were received and analyzed. The conclusion about the possibility of applying these results to obtain further information about the technical condition of the object was made.
Keywords: spectral analysis, rectangular functions, technical condition, industrial object, statistical characteristics.

В інформаційному аналізі часових рядів випадкових величин важливе місце займають їх спектральні характеристики. Спектральний аналіз в більшості випадків базується на прямому та зворотному перетворення Фур'є. Проте з розвитком комп'ютерної техніки і апарату дискретної математики все частіше використовуються системи прямокутних ортогональних функцій Хаара, Радемахера, Уолша, які не були популярними у застосуванні у минулому столітті, оскільки вручну інтерпретувати результати таких перетворень було дуже складно [1]. Однак в даний час спектральна обробка таких функцій є на порядок простішою для цифрового опрацювання, а також відповідає тенденціям розвитку мікропроцесорних засобів опрацювання інформації. Математичний апарат та практичні методи застосування вищезазначених ортогональних базисів зараз знаходяться на стадії активної розробки [2, 3]. Крім того, вейвлет-функція Хаара широко застосовується у вейвлет-аналізі та вейвлет-стисканні інформації, розпізнаванні зашумлених зображень [4]. Тому важливим і перспективним напрямком досліджень є застосування розкладу

спектру часового ряду випадкових величин у вищезазначених ортогональних базисах. Однак, наявні практичні рішення в даному напряму не набули поширення. Зокрема, більшість із них є системно та функціонально залежними від програмного пакету Matlab [5], а це створює обмеження щодо аппаратно-програмної платформи, на якій здійснюється аналіз.

Метою даної роботи є створення власної кросплатформенної бібліотеки для розкладу величин у спектри функцій Хаара, Радемахера та Уолша для подальшого використання їх у аналізі даних, зокрема, технічних параметрів газоперекачувальних агрегатів, а також вивчення можливості отримання у результаті такого розкладу додаткових статистичних характеристик сигналу, яким у даному випадку є функція зміни одного із технічних параметрів газоперекачувальних агрегатів (ГПА) у часі.

Для дослідження спектрів випадкової величини в заданих теоретико-числових базисах використаємо функцію, яка буде формуватися наступним чином [5]:

$$X(f_i) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) f_i(t) dt \, , \; i=0,1, \qquad (1)$$

де $x(t)$ – досліджувана випадкова величина, $f_i(t)$ – відповідна функція з вибраного теоретико-числового базису.

Інформація, отримана з графіків функції $X(f_i)$, дозволить детально дослідити розклад випадкової величини за функціями заданого базису та отримати додаткові дані про статистичні характеристики досліджуваного технологічного процесу.

Як мову програмування для програмної реалізації концепції, що базується на вищенаведених теоретичних основах, було вибрано Python версії 2.7. Дана мова програмування відрізняється від інших своєю гнучкістю, простотою роботи із списками, матрицями та іншими типами масивів, кросплатформенністю та великим набором безплатних стандартних бібліотек для проведення наукових обчислень, що в більшості випадків дозволяє рівноцінно замінити математичне забезпечення таких комерційних продуктів, як Matlab та Mathcad [6]. Для відображення графіків та збереження їх у графічні файли з розширенням .png використаємо пакет розширення .pylab.

Випадкова величина (в даному випадку температура працюючих колодок упорного підшипника нагнітача ГПА) подана у вигляді одновимірного масиву даних із записом значень з інтервалом 5 хвилин у файл з розширенням .mat. Для роботи з даними в даному файлі використаємо пакет розширення .scipy [7].

Для реалізації бажаного функціоналу програмного пакету авторами статті було запропоновано модульну архітектуру, що складається з шести файлів-модулів з розширенням .py, які обробляються інтерпретатором Python (рис. 1).

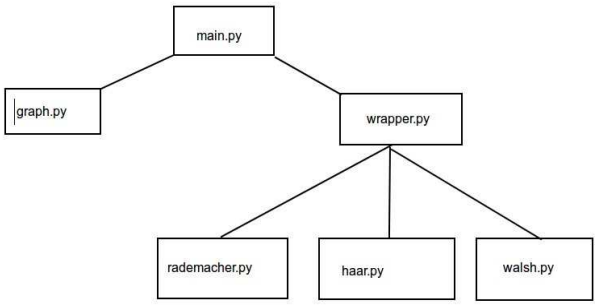


Рисунок 1 – Структура розробленого програмного пакету

Розглянемо детальніше можливості розробленого програмного продукту (рис. 2). Файл main.py отримує від користувача ім'я файлу з розширенням .mat, в якому знаходяться дані для обробки та викликає функцію-обгортку, що оголошена у файлі wrapper.py. Функція-обгортка, в свою чергу, в режимі діалогу з користувачем отримує вказівки щодо вибору теоретико-числового базису для розкладу отриманої величини в даному базисі.

Реалізації обчислення коефіцієнтів розкладу для базисів Радемахера, Хаара та Уолша та вивід відповідних графіків функцій реалізовано, відповідно, у файлах rademacher.py, haar.py, walsh.py. Файл rademacher.py обчислює коефіцієнти для функцій Радемахера та виводить період функції Радемахера, для якого було отримано максимальний коефіцієнт. Файл haar.py обчислює коефіцієнти для заданої кількості функцій Хаара, після чого дозволяє знайти функцію Хаара, при якій досягається максимальне значення коефіцієнта. Файл walsh.py розраховує матрицю Адамара заданого порядку, після чого впорядковує елементи матриці як коефіцієнти для функцій Уолша (з

допомогою кодів Грея). Далі відбувається обчислення коефіцієнтів за функціями Уолша та, за бажанням користувача, вивід функції, при якій було досягнуто максимальне значення коефіцієнта.

Крім того, для виводу графіка вихідної функції створено файл graph.py, який викликається окремо.

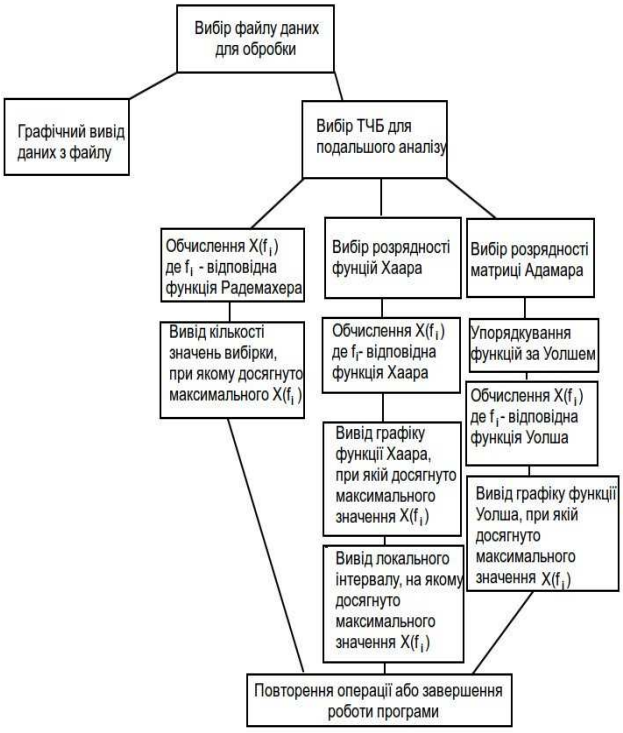


Рисунок 2 – Схема можливих дій користувача при роботі з розробленим програмним пакетом

За замовчуванням графіки отриманих результатів зберігаються у форматі PNG у робочому каталозі користувача. Крім того, для відображення послідовності дій програмного пакету та забезпечення користувача інформацією про процес обробки даних в реальному часі у програму було додано текстовий інтерфейс, через який відбувається взаємодія з користувачем. Приклад роботи текстового інтерфейсу програми показаний на рис. 3. Програма при обчисленні значень $X(f_i)$ для функцій Уолша в першу чергу робить запит на ввід бажаної розрядності матриці Адамара. Після цього програмний пакет розпочинає обчислення, послідовно виконуючи розрахунок матриці Адамара, сортування функцій Уолша, обчислення $X(f_i)$ для кожної з них та збереження графіку цих функцій. Після завершення даних дій програма запитує користувача, чи потрібно зберігати графік функції Уолша, для якої було досягнуто максимальне значення $X(f_i)$. Після збереження результату користувач отримує повідомлення, що розрахунки збережено.

```
Enter the rank of the Hadamard matrix to build: 8
Starting...
Calculating Hadamard matrix...
Ordering Walsh functions...
Calculating Walsh coefficients...
Saving result...

Do you want to save maximum Walsh function(y|n)?y
Saving result...
Calculation finished.
```

Рисунок 3 – Приклад роботи текстового інтерфейсу розробленого програмного пакету

За допомогою розробленого програмного забезпечення був здійснений аналіз статистичних характеристик вибірки значень температури працюючих колодок упорного підшипника нагнітача ГПА. Розглянемо графік значень даного параметра (рис. 4).

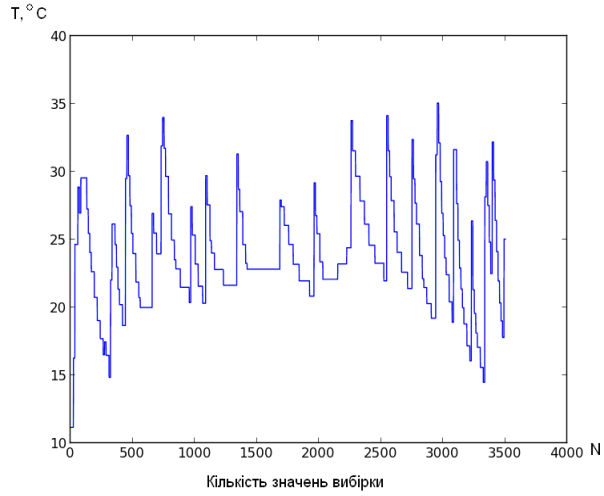


Рисунок 4 – Графік температури працюючих колодок упорного підшипника нагнітача ГПА, що аналізувалась

При розкладі значень температури працюючих колодок упорного підшипника нагнітача ГПА за функціями Радемахера було отримано значення $X(f_i)$ (рис. 5).

Розглянемо функцію Радемахера, при якій

було досягнуто максимальне значення $X(f_i)$. За порядковим номером даної функції (а це номер 3), ми можемо визначити її період, який буде рівним:

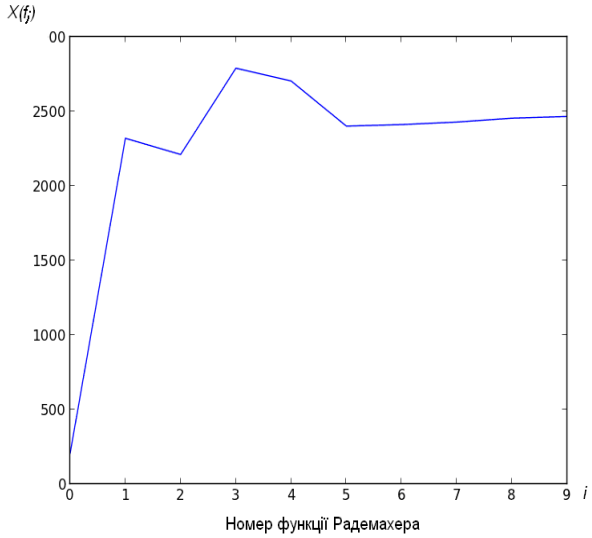


Рисунок 5 – Значення $X(f_i)$, які отримані при розкладі значень температури працюючих колодок упорного підшипника нагнітача ГПА в спектр за функціями Радемахера

$$T = \frac{N}{2^{i+1}}, \qquad (2)$$

де N – загальна кількість значень вибірки, i – номер функції Радемахера при початку відліку 0. Таким чином, максимальне значення $X(f_i)$ було досягнуто для функції з періодом 219 значень, що становить приблизно 18 годин. Як видно з рис. 4, в послідовності значень досліджуваного параметра прослідковується гармонічна складова, період якої приблизно рівний періоду вищезазначеної функції Радемахера. Таким чином, можна зробити висновок, що дана операція дозволяє провести приблизне виділення гармонічної складової, уникаючи при цьому застосування набагато складнішого в програмній реалізації та більш ресурсоємкого швидкого перетворення Фур'є. Результат такої операції буде менш точним, ніж при перетворенні Фур'є, однак, завдяки простоті обробки значень прямокутних функцій Радемахера обчислювальною технікою, буде здійснюватися набагато швидше, що може бути корисним при потребі оперативного аналізу даних.

При розкладі вихідної величини по перших 256 функціях Хаара було отримано значення, які відображені на рис. 6.

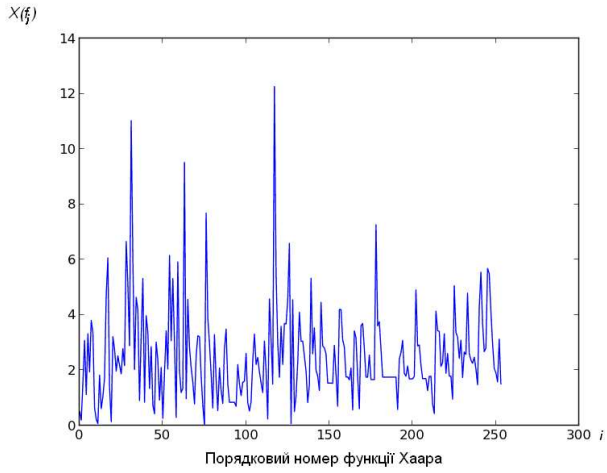


Рисунок 6 – Значення $X(f_i)$, отримані при розкладі значень температури працюючих колодок упорного підшипника нагнітача ГПА в спектр за функціями Хаара

Функції Хаара по своїй природі є локалізованими функціями, тобто приймають значення, відмінні від нуля на визначених часових проміжках. Виведемо графік функції Хаара, при якій було досягнуто максимальне значення $X(f_i)$ (рис. 7).

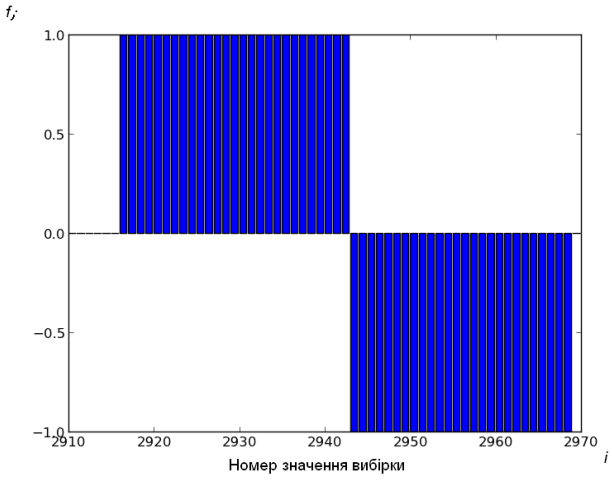


Рисунок 7 – Функція Хаара, при якій було отримано максимальне значення значень $X(f_i)$ для температури працюючих колодок упорного підшипника нагнітача ГПА

Як видно з графіка, функція приймає значення відмінні від нуля на досить вузькому інтервалі загальної вибірки. Із формули, за якою обчислюється $X(f_i)$, можна зробити висновок, що на цьому проміжку відбувається значний перепад значень у досліджуваній вибірці. Виведемо графік вихідної функції в даному діапазоні (рис. 8).

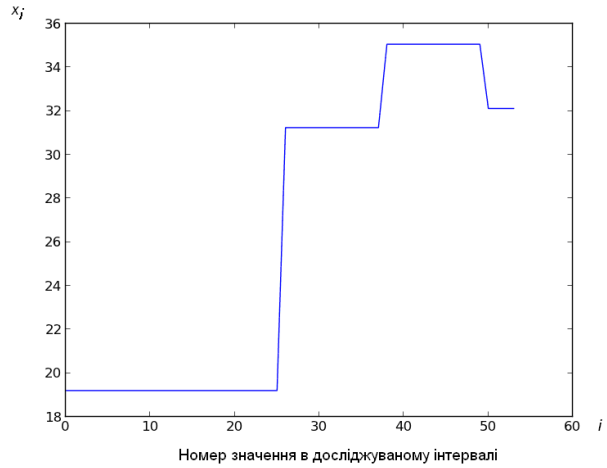


Рисунок 8 – Інтервал вихідної функції, на якому досягається максимальне значення $X(f_i)$ для значень температури працюючих колодок упорного підшипника нагнітача ГПА

Аналіз графіка показує, що виділений часовий відрізок характеризується різким перепадом значень випадкової величини, що може свідчити про зміни в загальному стані досліджуваного об'єкта, особливо, якщо така зміна в значеннях на даному проміжку прослідковується і для інших параметрів технічного об'єкта. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що вищеподана обробка даних дозволяє виділити із загального часового проміжку інтервал, на якому відбувається найбільший перепад у значеннях в часі, та, можливо, проходять зміни у загальному функціонуванні досліджуваного об'єкта.

Завдяки програмній реалізації розкладу вихідної величини за функціями Уолша ми можемо отримати значення $X(f_i)$ (рис. 9). Доцільність практичного застосування в результаті такої обробки даних розглянуто та обґрунтовано вітчизняними та закордонними авторами [8]. Розроблений програмний модуль роботи з функціями Уолша дозволяє доповнити можливості спроектованого програмного пакету та зробити його більш універсальним інструментом для аналізу параметрів технологічного об'єкта з допомогою розкладів у спектри по прямокутних ортогональних функціях.

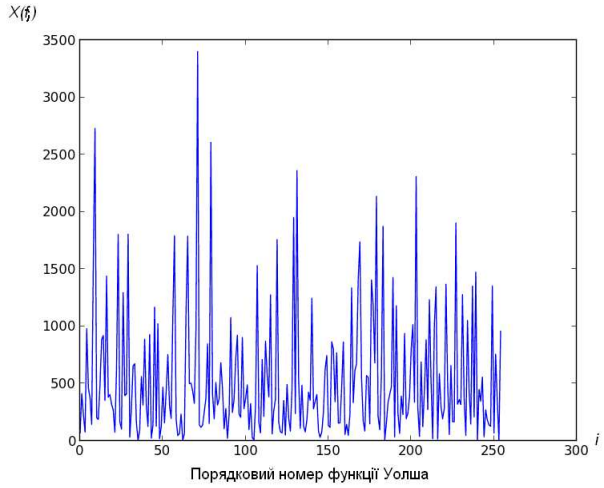


Рисунок 9 – Значення $X(f_i)$, які отримані при розкладі випадкової величини в спектр за функціями Уолша

Отже, в процесі дослідження було здійснено розробку програмного пакету для розкладу досліджуваного параметру в спектри за прямокутними ортогональними функціями. Розроблений пакет є кросплатформенним, гнучким програмним продуктом та, завдяки модульній архітектурі, володіє можливістю удосконалення та доповнення існуючого функціоналу.

Практичне застосування результатів розкладу сигнальних функцій в спектри за прямокутними ортогональними функціями для аналізу їх статистичних характеристик ґрунтовно досліджене в наукових роботах вітчизняних та закордонних авторів, тому розробка даного програмного засобу має значну практичну цінність.

Крім того, завдяки простоті обробки обчислювальною технікою прямокутних ортогональних функцій у порівнянні з функціями, що застосовуються у перетвореннях Фур'є, результати обробки досліджуваних даних дозволяють провести оперативний аналіз деяких статистичних характеристик досліджуваної величини. Зокрема, дослідження розкладу величини за функціями Радемахера дозволяє

швидко виділити гармонійну складову сигналу на досліджуваному інтервалі випадкової величини без застосування ресурсоємкого перетворення Фур'є. А виділення функції Хаара, при якій було досягнуто максимальне значення величини $X(f_i)$, дозволяє оперативно виявляти у великих вибірках вагомі зміни у значеннях досліджуваної величини, які при дослідженні параметрів технологічного об'єкта можуть свідчити про зміну його технічного стану.

ВИСНОВКИ

Розроблене програмне забезпечення є повноцінним програмним продуктом для використання в існуючих методах оцінки стану технічних об'єктів за спектрами їх окремих параметрів, а також дозволяє проводити оперативне дослідження окремих статистичних характеристик досліджуваних величин (в даному випадку, технічних параметрів промислових об'єктів). В перспективі планується розробити методику ідентифікації станів промислових об'єктів із застосуванням розробленого програмного пакету.

1. Переберин А.О систематизации вейвлет-преобразований[Текст]/А.В. Переберин//. – Вычислительные методы и программирование. – 2002. – т. 2. – С. 15-40. 2. Kalton N.Rademacher series and decoupling[Текст]/ N. Kalton // New York J. Math. – 2005. – V. 11. – C. 563–595. 3. Беспалов М. Собственные подпространства дискретного преобразования Уолша [Текст] / М.С. Беспалов // Проблемы передачи информации – 2010. –Т. 46, № 3. – С. 60-79. 4. Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [Текст]/ S.Mallat //IEEE Trans.Pattern Analysis and Machine Intelligence. –1989. –No7. – P.674-693. 5. Дьяконов В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений: Специальный справочник[Текст]/ В. Дьяконов – Пб.:Питер, 2002. – 608 с. – ISBN: 5-318-00667-1. 6. Hughes J.M. Real World Instrumentation with Python[Текст]/ John M. Hughes. – Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2010. – 622 с. – ISBN: 978-0-596-80956-0. 7. McKinney W. Python for Data Analysis[Текст] / Wes McKinney. – Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2012. – 470 с. – ISBN: 978-1-449-31979-3. 8. Баскаков С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] : учебник для вузов: рек. Мин. обр. РФ / С. И. Баскаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2000. – 464с. - ISBN 5060038432.

Поступила в редакцію 31.05.2013р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, доц. Лютак І. З.