

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ “ГУСЕНИЦЯ-SSA” ДЛЯ АНАЛІЗУ РІЧНОГО ЧАСОВОГО РЯДУ ЕЛЕКТРОНАВАНТАЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ

Запропоновано застосування методу “Гусениця-SSA” для обробки часових рядів електронавантаження. Досліджено часовий ряд електронавантаження організації на річному інтервалі спостереження, в результаті якого часовий ряд розділено на окремі компоненти: річний тренд, періодичні складові та стохастичний залишок.

Proposed application of the method "Caterpillar-SSA" for processing time series of electricity load. Researched the time series of electricity load of organization during the year, in which the time series is divided into separate components: an annual trend, periodic and stochastic components.

1. Вступ

Необхідність ощадливого споживання енергоресурсів унаслідок невинного скорочення світових запасів енергоносіїв, постійного їх подорожчання, зумовлюють актуальність задач економії та моніторингу споживання енергоресурсів. У цьому контексті важливе місце посідає електроенергія як універсальний та один із найрозповсюдженіших видів споживаної населенням та промисловістю енергії. Тому актуальним є моніторинг споживання енергоносіїв, зокрема, електроенергії. Моніторинг потрібен на різних рівнях споживання, починаючи від окремо взятих підприємств, установ та організацій, житлових будинків, закінчуючи рівнями галузей народного господарства і країни в цілому.

Для ефективного розв’язання завдань моніторингу споживання електроенергії необхідна побудова адекватних інформаційних технологій, які в свою чергу базуються на відповідних моделях, методах, алгоритмах та їх реалізації апаратно-програмними засобами.

2. Постановка завдання

У цій роботі ставимо завдання дослідити процес електронавантаження організації (навчального корпусу №1 університету ТНТУ ім. Івана Пулюя) на річному інтервалі спостереження за допомогою методу “Гусениця-SSA” з метою виявлення характеру динаміки даного процесу, а також оцінки виділених цим методом компонент: річного тренду, періодичних складових та стохастичного залишку.

3. Аналіз літератури

В загальному випадку на формування процесу електронавантаження впливає багато випадкових факторів. Наприклад, випадкові моменти часу, в які відбувається ввімкнення користувачами електроприладів різної потужності. Окрім того, на динаміку процесу електронавантаження конкретної організації (установи) впливають такі чинники (фактори): режими роботи установи, день тижня, температура повітря навколишнього середовища, тривалість світлового дня і т.п.. На формування динаміки процесу електронавантаження також впливає періодичність людської діяльності. З огляду на це процесу електронавантаження взагалі і навчального корпусу університету зокрема властива стохастична періодичність.

У результаті огляду публікацій, у яких описуються дослідження стохастично періодичних процесів виявлено, що автори пропонують використовувати такі математичні моделі: адитивну та мультиплікативну моделі, періодично-корельований випадковий процес, лінійний періодичний випадковий процес [1, 2, 3], періодичний процес за Слуцьким [4], кусково-стаціонарний випадковий процес [5]. Запропоновані моделі адекватно описують випадкові процеси на відносно коротких інтервалах спостереження. У нашому випадку для вирішення поставленого завдання необхідно побудувати математичну модель на річному інтервалі спостереження.

На сьогоднішній день дослідники широко використовують такі чисельні методи аналізу реалізацій (часових рядів) нестационарних випадкових процесів як: авторегресії та проінтегрованого ковзного середнього (ARIMA) [6],

групового врахування аргументів (МГУА) [7], головних компонент (МГК) [8], емпірична мо-дова декомпозиція (EMD) [9], сингулярного спектрального аналізу “Гусениця-SSA” [10] тощо. Для цих методів розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення, зокрема, доступне для використання в математичних пакетах (Mathcad, Matlab, R).

У даній роботі для дослідження реалізації процесу електронавантаження на річному інтервалі спостереження авторами пропонується застосувати метод “Гусениця-SSA”. Його перевагами є відносна простота (метод є чисельним і здебільшого полягає в роботі з матрицями) а також те, що не потрібно попередньо задавати модель досліджуваного часового ряду. Завдяки цьому можна застосовувати метод для аналізу широкого кола часових рядів, у тому числі й нестационарних.

4. Виклад основного матеріалу дослідження

Метод “Гусениця-SSA” полягає у перетворенні одновимірного часового ряду в багатовимірний (т. зв. траєкторну матрицю), сингулярного розкладу матриці, визначення власних функцій, групування і подальшого застосування методу головних компонент. Це дає можливість розділити часовий ряд на окремі компоненти: річний тренд, періодичну складову (суму періодичних складових) і стохастичний залишок. Таким чином математична модель випадкового процесу подається у вигляді суми:

$$f(x) = f_T(t) + f_n(t) + f_r(t) + \varepsilon(t), t \in [0, T], \quad (1)$$

де $f_T(t)$ – річний тренд (оцінка динаміки процесу впродовж року),

$f_n(t)$ – періодична складова або сума періодичних складових,

$f_r(t)$ – швидкі нерегулярні коливання малої інтенсивності (можуть бути і не відтворені в конкретному випадковому процесі),

$\varepsilon(t)$ – випадкова складова, шум.

Відповідно до поставленого в даній роботі завдання, маємо на меті розкласти досліджуваний річний часовий ряд електронавантаження на тренд, періодичні складові та випадковий процес (шум), а також знайти обґрунтування фізичної природи виявлених у результаті розкладу компонент.

Метод “Гусениця”-SSA є альтернативою застосуванню відомих підходів. Так моделі типу

“тренд – шум” або “авто регресія – ковзне середнє” добре підходять лише для часових рядів відносно простої структури, тоді як аналіз Фур’є, регресійний аналіз чи вейвлет-перетворення призводять до строгої періодичності внаслідок розкладання вихідної функції по фіксованій системі базисних функцій.

На практиці використовують різні модифікації методу. Констатуємо, що метод розвивається до сьогодні. У зв’язку з цим, виділяють два основних напрямки застосування методу: розв’язання задач загального типу (виділення тренду, згладжування, виявлення періодичностей, прогнозування) і спектральний аналіз стаціонарних часових рядів з метою дослідження характеру їх динаміки.

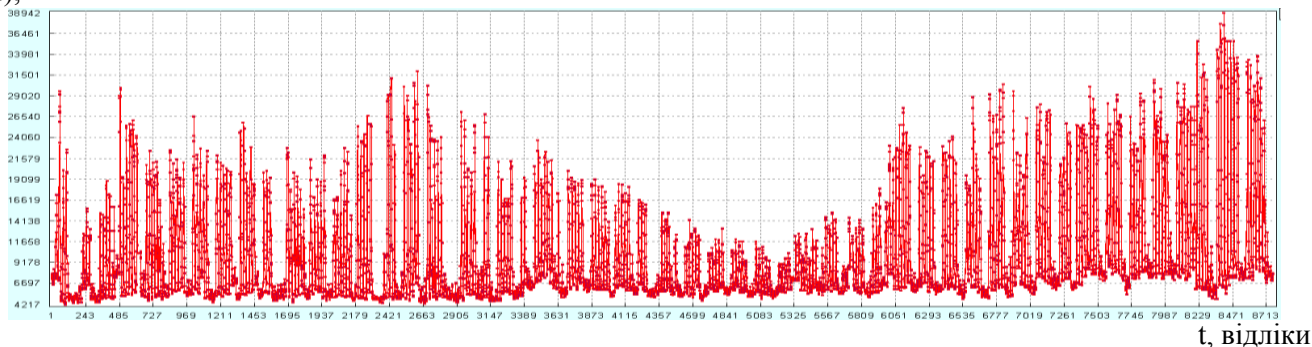
Переваги методу було викладено вище. Основним його недоліком є необхідність наявності в дослідника певного досвіду. Метод є інтерактивним і може давати результати, які дещо відрізняються між собою:

– по-перше, необхідно коректно підібрати параметр методу – довжину вікна. Чим більша довжина вікна, тим на більшу кількість складових буде розкладено вихідний ряд. При цьому можливе змішування із шумом періодичних компонент, які спричиняють малий вклад у вихідний ряд. Окрім того, можливі обмеження в обчислювальній потужності обладнання, яке використовується дослідником, адже із зростанням довжини вікна зростає час виконання необхідних обчислень. З іншого боку, занадто мала довжина вікна призведе до змішування складових компонент ряду, які чинять порівняно великий внесок в ряд;

– по-друге, складно піддається формалізації етап групування, на якому необхідно коректно відділити компоненти розкладеної траєкторної матриці, що відповідають періодичним складовим ряду, від компонент які відповідають стохастичному залишку. В цьому полягає інтерактивність методу – групування компонент про-водить дослідник, виходячи з власного досвіду.

Суть методу та рекомендації щодо його застосування детально розглянуто в наукових працях, наприклад у [10]. З огляду на це не будемо додатково описувати математичний апарат методу. Перейдемо до отриманих результатів. На рис. 1 зображено графік досліджуваної реалізації процесу електронавантаження. Відліки ряду зафіксовано з інтервалом в одну годину.

P(t), Вт



t, відліки

Рис. 1. Графік ряду електронавантаження по фазі A корпусу №1 ТНТУ ім. Івана Пулюя впродовж 2007 року

Експериментальним шляхом для аналізу часового ряду було вибрано довжину вікна (параметр гусениці) $L = 672$ відліки. Довжину вікна підбрано з урахуванням того, що вона повинна бути кратною періоду основної складової часового ряду. Прогнозуємо, що у зв'язку із періодичною повторюваністю людської діяльності, потенційними періодами досліджуваного часового ряду є доба (24 відліки) і тиждень (168 відліків). Запропонована довжина гусениці (число 672) кратне і 168 і 24.

На рис. 2 і 3 представлено графіки перших 18 рангованих по спаданню компонент, отриманих у результаті розкладу річного часового ряду. Спостерігаємо основну негармонічну компоненту, яку можна віднести до річного тренду (під №1 із часткою вкладу в ряд 77%), а також декілька гармонічних компонент сезонного характеру. Всі наступні складові ряду, починаючи із 16-ї або мають негармонічний характер, або характеризуються мізерним вкладом у вихідний ряд (менше 0,2%), вважатимемо їх шумом.

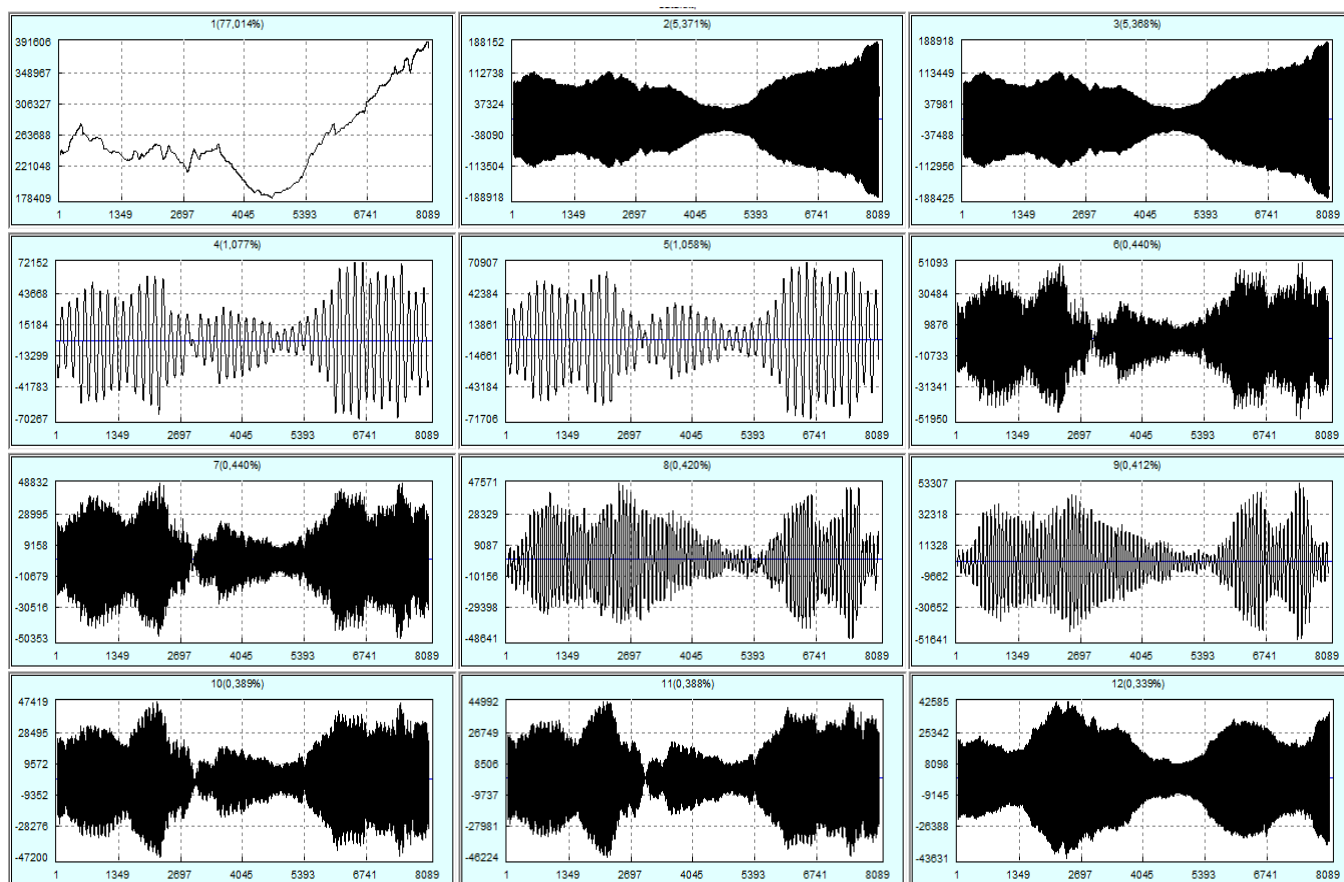


Рис. 2. Графіки перших 12 компонент, отриманих після розкладу часового ряду методом "Гусениця-SSA"

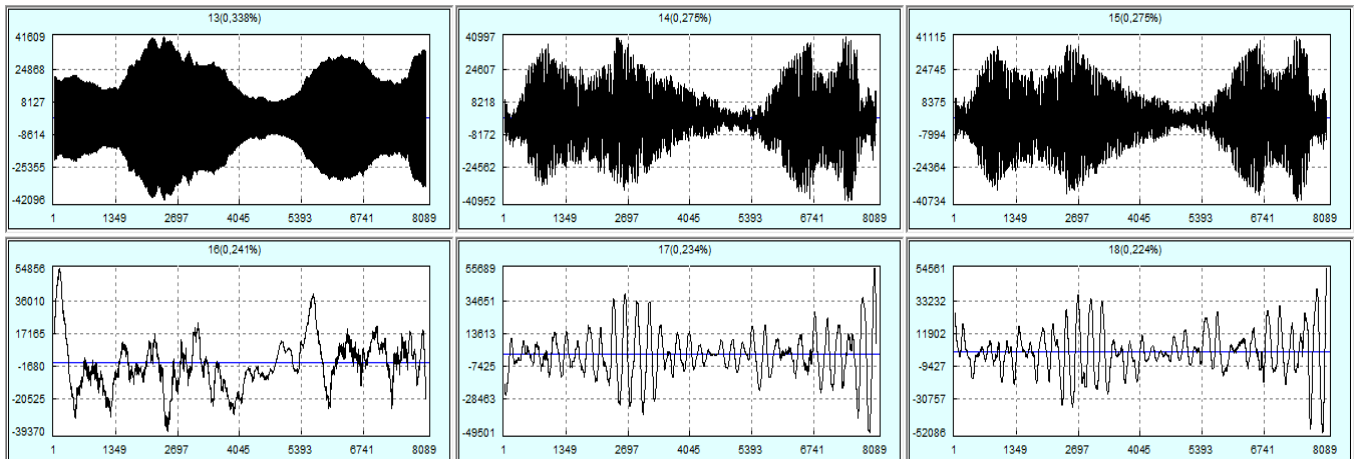


Рис. 3. Графіки компонент №№ 13-18, отриманих після розкладу часового ряду методом “Гусениця-SSA”

Наступний етап методу “Гусениця-SSA” – групування компонент, виділених після розкладу. В першу групу виділимо лише першу компоненту (неперіодичний, повільно змінний характер графіка говорить про те, що це річний тренд ряду). На основі схожості графіків окремих компонент ряду, отриманих в результаті

етапу розкладу, та відсотка їх внеску у вихідний ряд згрупуємо разом 2 та 3 компоненти, 4 та 5, 6 та 7, 8 та 9, 10 та 11, 12 та 13, 14 та 15 компоненти. Всі компоненти під номерами 16 - 672 зведемо в одну групу. Графіки компонент ряду, отримані після етапу групування, подано на рис 4.

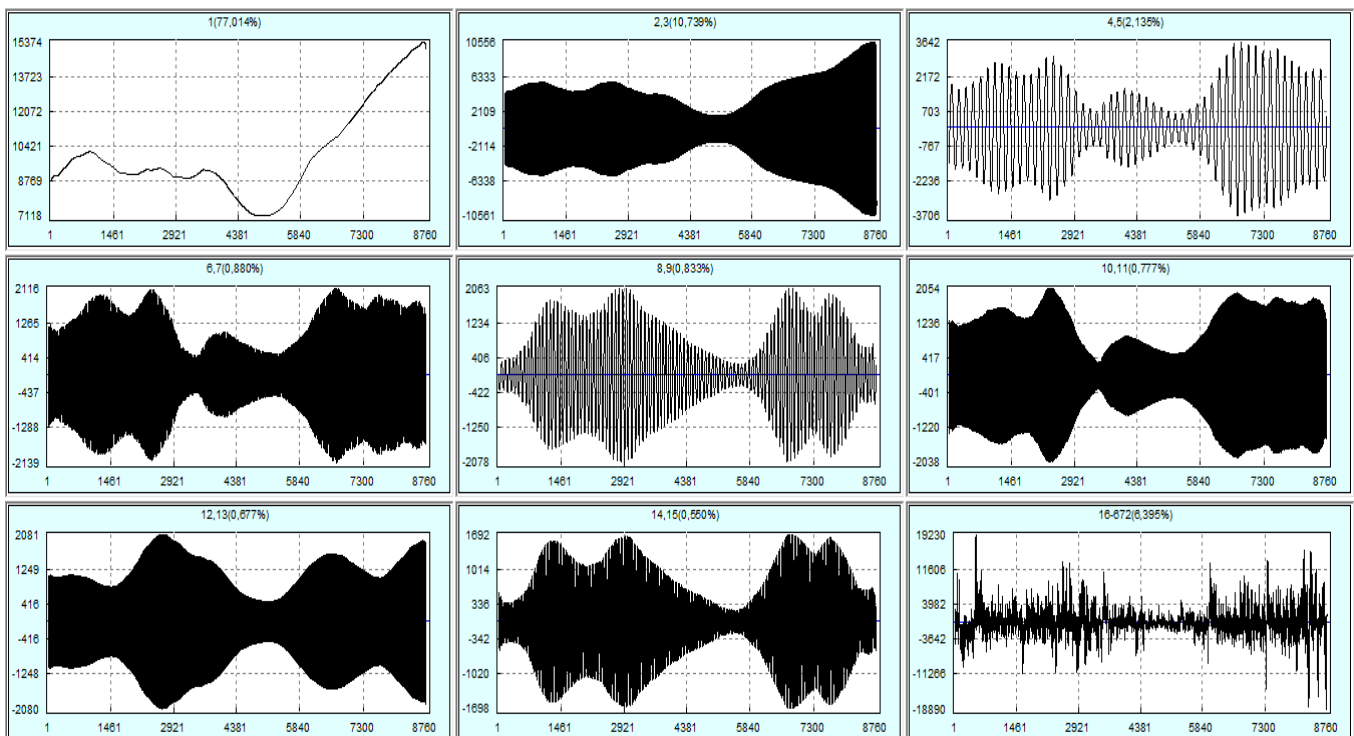


Рис. 4. Графіки компонент вихідного часового ряду після етапу групування методу “Гусениця-SSA”

Періодограми компонент ряду, отриманих після етапу групування (рис. 5) свідчать про те, що ми отримали в результаті окрім тренду (рис. 6) та шуму (рис. 5ж, 7) складові вихідного ча-

сового ряду з періодами 24 години (доба), 168 годин (тиждень), 28, 84 годин (півтижня), 21, 12 годин (півдобы) та 34 години.

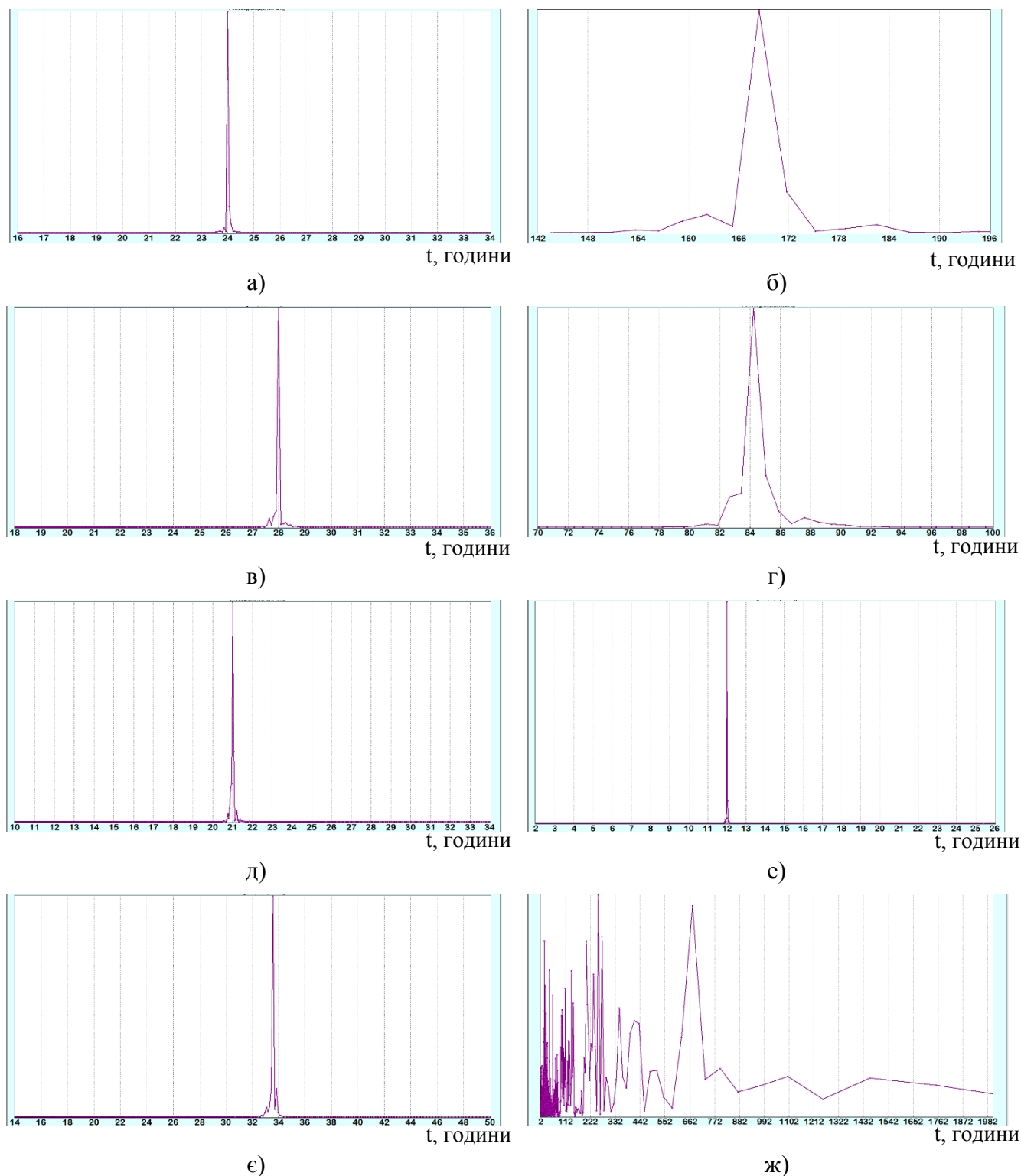


Рис. 5. Періодограми компонент часового ряду електронавантаження з періодами а) 24 години, б) 168 годин, в) 28 годин, г) 84 години, д) 21 година, е) 12 годин, є) 34 години, ж) з різними періодами (шум)

Останнім етапом методу “Гусениця-SSA” є відновлення вихідного ряду шляхом сумування його складових. Розглянемо декілька графіків. Після відновлення ряду лише на основі першої компоненти (річного тренду) отримуємо графіки, наве-

дені на рис. 8. Якщо ж для відновлення ряду використати всі компоненти, отримані після групування, крім шумової компоненти, то отримаємо графіки, наведені на рис. 9 та 10.

$P(t)$, Вт

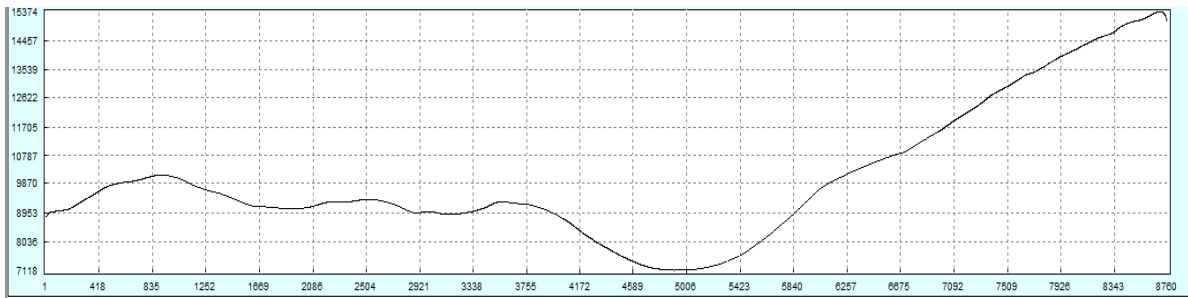


Рис. 6. Графік тренду, виділеного методом “Гусениця-SSA”

t , відліки

$P(t)$, Вт

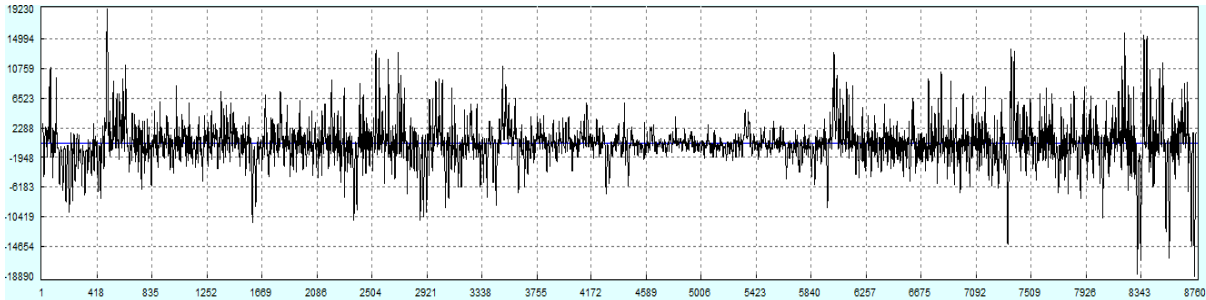


Рис. 7. Графік шумової компоненти вихідного ряду, виділеної методом “Гусениця-SSA”

t , відліки

$P(t)$, Вт

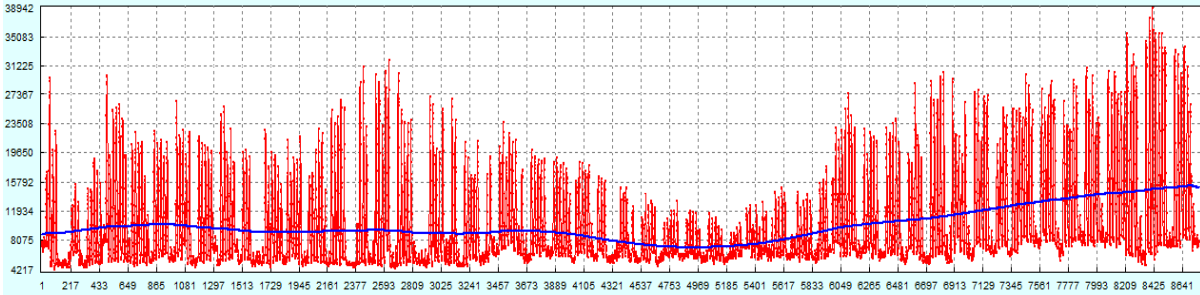


Рис. 8. Вихідний ряд та виділений після розкладу тренд

t , відліки

$P(t)$, Вт

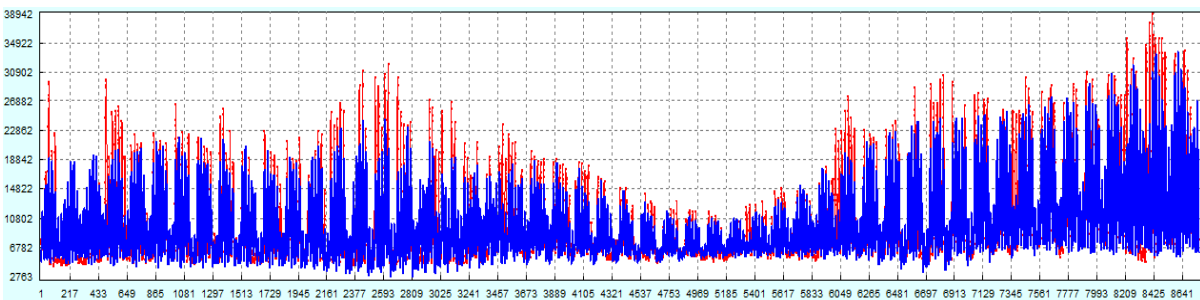
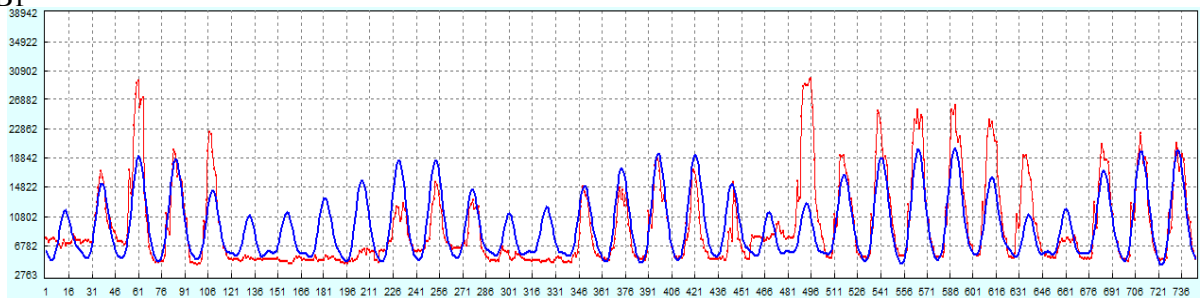


Рис. 9. Вихідний ряд та відновлений ряд із складових

t , відліки

$P(t)$, Вт



t , відліки

Рис. 10. Фрагмент графіків вихідного ряду та відновленого ряду (впродовж січня 2007 року)

Таким чином, у результаті розкладу вихідного часового ряду було отримано коливні складові з періодами доба і тиждень, що відповідає періодичності графіку роботи університету. Річний тренд демонструє загальну сумарну динаміку розвитку процесу протягом року, а шумова компонента – сукупність багатьох випадкових факторів, які впливають на досліджуваний процес електронавантаження.

Висновки

За допомогою методу "Гусениця-SSA" у роботі здійснено розклад часового ряду, який відповідає електронавантаженню корпусу №1 ТНТУ ім. Івана Пулюя впродовж 2007 року. Виділено та проаналізовано компоненти часового ряду а саме: річний тренд (неперіодичну і негармонічну складову, яка повільно змінюється в часі й характеризує динаміку зміни про-

цесу в часі протягом року), а також коливні гармонічні компоненти, які відповідають складовим процесу з різними періодами (24 години і 168 годин), що дають оцінку графіку роботи установи у зрізі електронавантаження корпусу. Також виділено шумову компоненту, яка відповідає сукупності випадкових факторів, що впливають на формування процесу електронавантаження.

Щодо виокремлених компонент із періодами 28, 84, 21, 12, 34 години, варто зауважити, що для пояснення величини цих періодів необхідно провести додаткові дослідження особливостей роботи університету, топології користувачів електромережі корпусу №1 тощо. Власне, це надієть до перспектив подальших досліджень, започаткованих у цій роботі.

Перелік посилань

1. Драган Я. П. Линейные периодически коррелированные случайные процессы / Я. П. Драган, Н. В. Приймак. – Львов, 1986. – 30 с. – (Препринт / АН УССР, Физико-механический ин.-т, № 120).
2. Марченко Б. Г. Побудова моделі та аналіз стохастично періодичних навантажень енергосистем / Б. Г. Марченко, М. В. Приймак // Праці ін-ту електродинаміки. – К. : ІЕД НАН України, 1999. – Вип. 1. – С. 129-153.
3. Приймак М. В., Мацюк О. В. Моделі газонавантажень з врахуванням стохастичної періодичності та можливості їх статистичного аналізу // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал. Івано-Франківськ. – 2003. – № 2(7).
4. Слуцкий Е. Е. Избранные труды / Е. Е. Слуцкий. – М.: Наука, 1960. – 292 с.
5. Марченко Б. Г. Визначення основних ймовірнісних характеристик газоспоживання / Б. Г. Марченко, Н. В. Мулик, М. Є. Фриз // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – №2.
6. Asteriou, Dimitros; Hall, Stephen G. (2011). "ARIMA Models and the Box–Jenkins Methodology". *Applied Econometrics* (Second ed.). Palgrave MacMillan. pp. 265–286.
7. Ивахненко А. Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Зайченко, В. Д. Димитров. – М. : «Сов. радио», 1976. – 280 с.
8. Abdi H., Williams L. J. (2010). Principal component analysis.. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2. с. 433–459.
9. Hilbert-Huang transform: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.scholarpedia.org/article/Hilbert-Huang_transform – Назва з екрану. – Дата звернення: 26.07.2015
10. Голяндина Н. Э. Метод "Гусеница"-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с.