

3. Mitu M., Razus D., Schroeder V. Laminar Burning Velocities of Hydrogen-Blended Methane–Air and Natural Gas–Air Mixtures, Calculated from the Early Stage of p(t) Records in a Spherical Vessel *mdpi-res.com*. <https://mdpi-res.com/energies-14-07556>; <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/22/7556>
4. Ilbas M., Crayford A. P., Yılmaz I., Bowen P. J., Syred N. Laminar-burning velocities of hydrogen–air and hydrogen–methane–air mixtures: An experimental study. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2006. Vol. 31, Iss. 12. P. 1768–1779. doi: 10.1016/j.ijhydene.2005.12.007 Get rights and content.
5. Soroka B., Pyanykh K., Zgurskyi V. Mixed Fuel for Household Gas-Powered Appliances as an Option to Replace Natural Gas with Hydrogen. *Science and Innovation*. 2022. Vol. 18, № 3. P. 10–22. doi: 10.15407/scine18.03.010.
6. Троценко Л. М., Пікашов В. С. Дослідження нагріву поверхонь для спуску шлаку з нагрівальних колодязів при використанні воденьмісткого (кокового) газу / *Енерготехнології та ресурсозбереження*. – 2023. – № 2. – С. 57–66.

УДК 519.87:620.9

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ
ОРГАНІЗАЦІЙ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ МОДЕЛЕЙ**

¹Готович В. А., к.т.н.; ²Ковтун С. І., д.т.н.; ³Куц Ю. В., д.т.н.;

¹Млинко Б. Б., к.т.н.; ^{1,2}Фриз М. Є. к.т.н.

1 – Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

2 – Інститут загальної енергетики НАН України

**3 – Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**INFORMATION TECHNOLOGY FOR ENERGY CONSUMPTION
ANALYSIS OF ORGANIZATIONS BASED ON HYBRID MODELS**

¹Hotovych V., PhD; ²Kovtun S., ScD; ³Kuts Y., ScD;

¹Mylnko B., PhD; ^{1,2}Fryz M., PhD

1 – Ternopil Ivan Puluj National Technical University

2 – General Energy Institute of NASU

**3 – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute”**

An information technology for analyzing the organization's energy consumption based on its hybrid model in the form of decomposition by the singular spectrum analysis method has been developed. The processing of individual components of this decomposition, that is, the trend, cyclical components, and noise components, has been

carried out using the exponential smoothing, Hilbert transformation, and statistical time series analysis. The results can be used to describe and analyze the organization's consumption profile in the tasks of dispatching, energy management and forecasting.

Сучасні енергетичні системи, функціональні можливості яких включають генерування, передачу, зберігання та використання електроенергії, а також енергетичний бізнес та енергетичну аналітику на сьогодні є суттєво інтегрованими із комп'ютерними інформаційними системами та технологіями. Системні актуальні задачі у сфері енергетики, які зокрема пов'язані із нестабільністю та частковою керованістю відновлювальних джерел енергії, невизначеністю поведінки споживачів енергії, яка не завжди відповідає традиційним профілям навантаження, мають виражений міждисциплінарний характер і потребують проведення комплексних наукових досліджень в галузі енергетичної інформатики [1, 2]. Енергетична інформатика об'єднує під єдиною методологією досліджень комп'ютерні науки, системи управління та енергоменеджменту. Енергетична інформатика є сфокусованою на зростанні енергетичної ефективності енергетичних систем шляхом розробки та впровадження сучасних засобів отримання, аналізу даних та їх комп'ютерного імітаційного моделювання [3, 4].

Серед найбільш важливих напрямів досліджень в галузі енергетичної інформатики можна вказати наступні: забезпечення адекватної інформаційної підтримки поточного стану енергосистеми з врахуванням її поведінки в минулому, аналітика даних енергосистем, на основі яких здійснюється їх моніторинг, ідентифікація та діагностика, розроблення інноваційних розподілених архітектур даних, адекватне математичне, комп'ютерне моделювання та прогнозування стану енергетичного обладнання, систем, мереж та відповідних процесів, що забезпечує можливість аналізу та передбачення в різних умовах. До останнього напрямку можна віднести, перш за все, задачі математичного, комп'ютерного моделювання та прогнозування енергоспоживання, включаючи традиційні методи аналізу часових рядів та сучасні методи машинного навчання [5, 6].

Варто також зауважити, що останні дослідження, пов'язані із проблемами переходу на відновлювальні джерела енергії показують важливі взаємозв'язки концепцій енергетичної інформатики та енергетичного громадянства. Зокрема, важливим є факт, що забезпечення кінцевих користувачів інформаційними матеріалами, пов'язаними із аналізом даних щодо електроспоживання впливає на їх поведінку як відповідальних споживачів [7].

Таким чином, проблема аналізу даних процесу електроспоживання з метою зниження рівня апріорної невизначеності, розв'язання задач диспетчеризації, енергоменеджменту, прогнозування, підвищення рівня енергоефективності є важливою в галузі енергетичної інформатики [8].

У даній доповіді ми розглядаємо задачу аналізу погодинного електроспоживання протягом року для освітньої організації. Аналіз даних електроспоживання окремих організацій в Україні є особливо важливим в контексті необхідності пошуку шляхів підвищення рівня енергоефективності споживання в умовах, коли енергетична система держави є суттєво пошкодженою російським агресором. В цілому, кількість літературних джерел, що стосується досліджень електроспоживання в підприємств, що відносяться до категорії малих та середніх, а також освітніх організацій, є відносно невеликим, порівнюючи з галуззю аналізу споживання житлового сектору чи великих енергетичних систем.

Наша ідея полягає у використанні гібридного підходу до аналізу погодинного електроспоживання протягом року на основі методу сингулярного спектрального аналізу (ССА). А саме, з використанням ССА отримати декомпозицію часового ряду електроспоживання на тренд, циклічні компоненти і шумову складову, а тоді здійснити аналіз кожної компоненти окремими методами відповідно до її характеру.

Суть гібридних моделей та методів, що використовуються для задач аналізу та прогнозування часових рядів полягає у застосуванні до одного й того ж часового ряду (або до складових його декомпозиції) кількох різних методів його опрацювання, отримання окремих результатів, обчислення остаточного результату як деякої комбінації (наприклад, лінійної) окремих результатів. Комбінують, як правило, лінійні та нелінійні методи, статистичні моделі та моделі машинного навчання, тощо.

Нами розроблено методологію та здійснено аналіз погодинного електроспоживання організації протягом року на основі його декомпозиції методом ССА. Виконано аналіз окремих компонент отриманої декомпозиції, а саме, тренду, циклічних компонент, шумової компоненти. Аналіз та опрацювання тренду здійснено з використанням методу експоненційного згладжування. Циклічні компоненти зображено у вигляді амплітудно модульованих сигналів, для опрацювання яких застосовано перетворення Гільберта. На рис. 1 наведено приклад першої циклічної компоненти отриманої декомпозиції, для якої отримано обвідну з використанням перетворення Гільберта. У доповіді показано, що отримана обвідна в цілому повторює

характер тренду процесу погодинного електроспоживання організації протягом року.

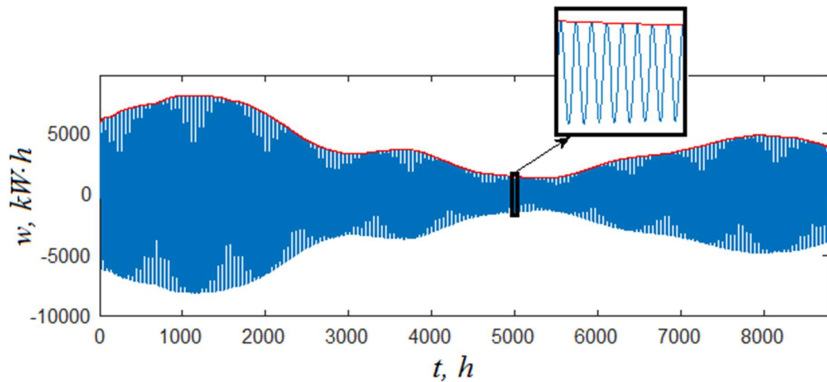


Рис. 1. Приклад першої циклічної компоненти декомпозиції електроспоживання організації та її обвідної

Здійснено також статистичний аналіз шумової компоненти, виходячи із її моделі у вигляді кусково-стаціонарного часового ряду. Отримані результати можуть бути використані для опису та аналізу профілю споживання організації в задачах диспетчеризації, енергоменеджменту та прогнозування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. H. Schmeck, A. Monti, and V. Hagenmeyer, “Energy Informatics: Key Elements for Tomorrow’s Energy System,” *Commun. ACM*, vol. 65, no. 4, pp. 58–63, 2022, doi: 10.1145/3511666.
2. M. Fryz, L. Scherbak, “Properties of discrete-time conditional linear cyclostationary random processes in the problems of energy informatics,” *System Research in Energy*, no. 1 (72), pp. 72–79, Apr. 2023, doi: 10.15407/srenergy2023.01.072.
3. Z. Ma, “Energy Metaverse: a virtual living lab of the energy ecosystem,” *Energy Informatics*, vol. 6, no. 1, p. 3, 2023, doi: 10.1186/s42162-023-00258-3.
4. L. M. Scherbak, M. Ye. Fryz, V. A. Hotovych, “Electricity consumption simulation using random coefficient periodic autoregressive model,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254 012027, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1254/1/012027.
5. М. Є. Фриз, Л. М. Щербак, “Властивості перемішування та ергодичності лінійних процесів у задачах математичного моделювання та статистичного аналізу випадкових сигналів,” *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць*, К.: ПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, 2009. – Вип.

51. – С. 53–57.
6. В. П. Бабак, Ю. В. Куц, М. В. Мислович, М. Є. Фриз, Л. М. Щербак, *Об’єктно-орієнтована ідентифікація стохастичних шумових сигналів*. Київ: Наукова думка, 2024. doi: <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1883-9>.
7. A. Kumar, B. Naqvi, and A. Wolff, “Exploring the energy informatics and energy citizenship domains: a systematic literature review,” *Energy Informatics*, vol. 6, no. 1, p. 13, 2023, doi: 10.1186/s42162-023-00268-1.
8. V. Babak, A. Zaporozhets, S. Kovtun, Y. Kuts, M. Fryz, L. Scherbak, “Information Provision for Monitoring the Current State of Electric Power Facilities,” in *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control*, M. Bezuglyi, N. Bouraou, V. Mykytenko, G. Tymchyk, and A. Zaporozhets, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 283–309. doi: 10.1007/978-3-031-44347-3_8.

УДК 621.165.62

**РОЗРАХУНКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ В
РОТОРІ СЕРЕДНЬОГО ТИСКУ ТУРБИНИ К-200-130 ПРИ ПУСКУ З
ГАРЯЧОГО СТАНУ**

Ліщук С. Р., Пешко В. А., к.т.н.

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»**

**CALCULATION STUDY OF THERMAL STRESSES IN THE
INTERMEDIATE-PRESSURE ROTOR OF A K-200-130 TURBINE DURING
HOT STARTUP**

Lishchuk S.; Peshko V., Cand. Sc. (Eng.)

**National Technical University of Ukraine “Ihor Sikorskyi Kyiv Polytechnic
Institute”**

In this paper, we study the distribution of temperatures and stresses for the medium-pressure rotor of the K-200-130 turbine when it is started from a hot state, which will be necessary in the future to determine the durability of the equipment and its continued operation under conditions of frequent starts and stops. The temperature distribution is uniform throughout the entire start-up, only in the period from rotor push and to synchronization, the temperature rises slightly more rapidly. The maximum stresses during this type of start-up are observed at a time point of 4000s and amount to 270 MPa.