

ЮСЬКЕВИЧ АНДРІЙ

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0009-8759-2400>e-mail: andrii.v.yuskevych@lpnu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ РЕКУРЕНТНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ЦИКЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Зростаюча потреба в гнучких та динамічних системах електроенергії стимулює пошук нових методів моделювання та прогнозування. Рекурентний аналіз, який набув широкого поширення в сфері обробки природної мови та машинного навчання, може стати перспективним інструментом для дослідження та оптимізації циклічних процесів у виробництві електроенергії. У цій статті описуються можливості застосування рекурентного аналізу для вирішення різноманітних задач в енергетиці, пов'язаних з прогнозуванням попиту на електроенергію, оптимізацією диспетчерського управління, плануванням роботи електростанцій та аналізом даних про споживання.

Розглядаються переваги рекурентного аналізу, такі як гнучкість, здатність до навчання та висока точність, а також виклики, пов'язані з великими обсягами даних, обчислювальними ресурсами та інтерпретацією результатів. Наголошується на перспективності рекурентного аналізу для розвитку більш ефективних, надійних та стійких енергосистем.

Ключові слова: рекурентний аналіз, прогнозування, оптимізація, диспетчерське управління, планування, енергосистеми, електроенергія за вимогами.

YUSKEVYCH ANDRII

Lviv Polytechnic National University

APPLICATION OF RECURRENT ANALYSIS FOR CYCLIC PROCESSES IN DEMAND-DRIVEN ELECTRICITY GENERATION

The increasing demand for flexible and dynamic power systems drives the search for new modeling and forecasting methods. Recurrent analysis, which has gained wide recognition in natural language processing and machine learning, has the potential to become a promising tool for research and optimization of cyclic processes in electricity generation. This paper explores the potential applications of recurrent analysis for addressing various energy-related tasks including electricity demand forecasting, dispatch optimization, power plant scheduling, and consumption data analysis.

The paper discusses the advantages of recurrent analysis, such as flexibility, learning ability, and high accuracy, as well as the challenges associated with large data volumes, computational resources, and result interpretation. It emphasizes the prospects of recurrent analysis for developing more efficient, reliable, and sustainable power systems.

The article also explores the integration of recurrence analysis with other data-driven techniques such as machine learning and statistical modeling. This integration enhances the predictive capabilities of recurrence analysis, allowing for more accurate and reliable forecasts of energy production and demand cycles. The synergy between recurrence analysis and machine learning algorithms can lead to the development of advanced control systems that dynamically adjust to changing conditions in real-time, thus ensuring a more stable and efficient power supply.

In conclusion, the article posits that recurrence analysis holds significant potential for enhancing the understanding and management of cyclic processes in power generation. By providing detailed insights into the temporal dynamics of energy production systems, recurrence analysis can contribute to more efficient and reliable power generation, ultimately supporting the transition to sustainable energy systems. The adoption of recurrence analysis in the energy sector represents a step forward in leveraging advanced mathematical techniques to address the complexities of modern power generation.

Keywords: Recurrent analysis, forecasting, optimization, dispatch control, scheduling, power systems, demand-driven electricity.

Постановка проблеми

Традиційні методи моделювання та прогнозування, які використовуються в енергетиці, не завжди здатні ефективно справлятися з цими новими викликами. Це призводить до цілового ряду проблем, неточність прогнозів попиту на електроенергію та генерації ВДЕ, що може призвести до дефіциту або надлишку електроенергії. А також, неефективне диспетчерське управління, яке може призвести до втрат електроенергії, підвищення витрат та погіршення надійності енергопостачання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останні роки значний інтерес викликає впровадження методологій для аналізу і прогнозування циклічних процесів у виробництві електроенергії. Інтеграцію штучного інтелекту у аналізування та прогнозування процесів в енергетиці описують багато як українських так і зарубіжних науковців у своїх працях. Наприклад Карпа Д.М. у [1] досліджував інтеграцію штучного інтелекту для прогнозування споживання електроенергії. У статті [2] автор дослідив прогнозування генерацій електроенергії за моделлю Хольта-Вінтерса. У праці [3] проведено порівняння декількох методів прогнозування споживання електроенергії, автор описав недоліки та переваги кожного з методів та дійшов висновку, що нема досконалих методологій, оскільки є багато різних факторів, що можуть впливати на процеси в енергетиці.

Та не лише українські науковці мають інтерес до теми прогнозування та оптимізації процесів в енергетиці. Дослідженням різних методів прогнозування процесів в енергетиці займалися: Дебент К., Муршид М.[4] провели порівняння моделей енергетичного планування та визначили для кожної переваги та недоліки; у статті [5] автори створили систему з штучним інтелектом, що дозволяла в режимі реального часу прогнозувати тренди в енергетичних системах.

Отже, усі ці роботи є актуальні. Служать хорошим підґрунтям для подальших досліджень методів аналізу і прогнозування, зокрема методів рекурентного аналізу.

Формулювання цілей

Метою цієї роботи є дослідження перспектив застосування рекурентного аналізу для вирішення задач, пов'язаних з циклічними процесами у виробництві електроенергії.

Виклад основного матеріалу

Зростаюча потреба в гнучких та динамічних системах електроенергії, що викликана розвитком відновлюваних джерел енергії та децентралізованого виробництва, веде до пошуку нових методів моделювання та прогнозування. Рекурентний аналіз, який набув широкого поширення в області обробки природної мови та машинного навчання, може бути перспективним інструментом для дослідження та оптимізації циклічних процесів у виробництві електроенергії [3].

Зростаюче використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, призводить до значних коливань у виробництві електроенергії. Це створює виклики для традиційних систем електроенергії, які не були розроблені для роботи з такими мінливими джерелами енергії. Крім того, децентралізація виробництва електроенергії, коли електроенергія виробляється ближче до місця споживання, також призводить до більшої складності та динамічності систем електроенергії.

Традиційні методи моделювання та прогнозування, які використовуються в електроенергетиці, часто не здатні впоратися зі складністю та динамічністю сучасних систем електроенергії. Це призводить до неточності прогнозів та проблем з управлінням мережею. Існує потреба в нових методах моделювання та прогнозування, які можуть враховувати цю складність та динамічність.

Рекурентний аналіз, який набув широкого поширення в області обробки природної мови та машинного навчання, може бути перспективним інструментом для дослідження та оптимізації циклічних процесів у виробництві електроенергії на вимогу. Рекурентні нейронні мережі (PMM) здатні моделювати динамічні залежності в даних, що робить їх корисними для прогнозування майбутніх значень на основі попередніх даних.

Існує декілька методів рекурентного аналізу, серед яких найпоширенішими є:

- Мережі з рекурентним поширенням сигналу (RNN): Ці мережі використовують зворотні зв'язки для обробки послідовностей даних, що робить їх придатними для моделювання динамічних систем.
- Довгокороткострокова пам'ять (LSTM): Цей тип RNN використовує спеціальні вузли, які дозволяють їм краще запам'ятовувати довгострокові залежності в даних.
- Згорткові рекурентні нейронні мережі (CRNN): Ці мережі поєднують в собі принципи згорткових та рекурентних нейронних мереж, що робить їх придатними для аналізу часових рядів з просторовою структурою [10].

Рекурентний аналіз може бути застосований для вирішення різноманітних задач в енергетиці, пов'язаних з циклічними процесами у виробництві електроенергії за вимогами [9]. Цей метод дозволяє виявляти екстремальні та рідкісні події. Топологія рекурентних діаграм надає загальне уявлення про характер досліджуваного процесу. Такі діаграми можуть мати різні типи топології, такі як однорідні для стаціонарних і автономних систем, періодичні для систем з періодичністю в динаміці, дрейф для систем з повільно змінюваними параметрами та області різких змін для динамічних систем. Вказані топології наведено на рис. 1

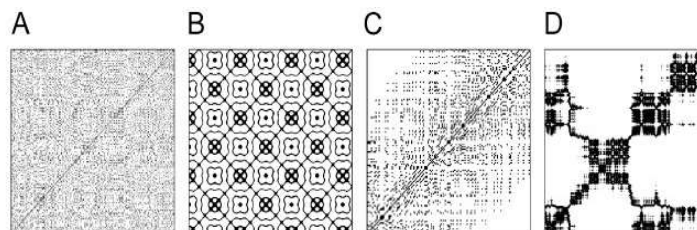


Рис. 1. Топології рекурентних діаграм: А — однорідні; В — періодичні; С — дрейф; D — різкі зміни в динаміці

Текстура рекурентних діаграм включає такі елементи, як точки, діагональні лінії та вертикальні або горизонтальні лінії (рис. 2).



Рис. 2. Текстури рекурентних діаграм

Ці структури використовуються для обчислення мір кількісного аналізу рекурентних діаграм (recurrence quantification analysis, RQA) [8].

Рекурентні нейронні мережі можуть використовуватися для прогнозування попиту на електроенергію з урахуванням історичних даних, погодних умов, святкових днів та інших факторів. Рекурентні мережі можуть допомогти диспетчерам енергосистем оптимізувати розподіл навантаження, диспетчерське управління резервом та інші операції, пов'язані з циклічними процесами. Дані мережі можуть використовуватися для планування роботи електростанцій, враховуючи прогнозований попит на електроенергію, ціни на електроенергію, доступність ресурсів та інші фактори. Рекурентні мережі можуть використовуватися для аналізу даних про споживання електроенергії з метою виявлення закономірностей, аномалій та потенційних проблем [6].

Рекурентні нейронні мережі (англ. Recurrent Neural Networks, RNN) – це мережі, що містять зворотні зв'язки і дозволяють зберігати інформацію (рис. 3) [12].

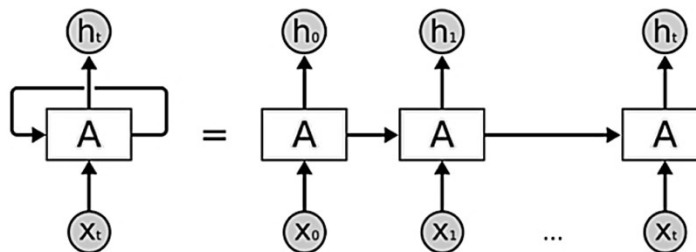


Рис. 3. Рекурентна мережа у розгорті

На схемі вище фрагмент нейронної мережі A приймає вхідний значення x_t і повертає значення h_t . Наявність зворотного зв'язку дозволяє передавати інформацію від одного кроку навчання мережі до іншого.

Рекурентний аналіз має ряд переваг при застосуванні в енергетиці, порівняно з традиційним методом:

- Гнучкість: Рекурентні мережі можуть моделювати складні нелінійні динамічні системи, що робить їх придатними для аналізу циклічних процесів у виробництві електроенергії за вимогами.
- Здатність до навчання: Рекурентні мережі можуть навчатися на даних, що робить їх придатними для адаптації до мінливих умов та нових викликів.
- Точність: Рекурентні мережі можуть досягати високої точності при прогнозуванні та оптимізації, що робить їх цінним інструментом для прийняття рішень в енергетиці.

Рекурентні мережі можуть допомогти інтегрувати відновлювані джерела енергії в енергосистему, враховуючи їх мінливу природу та прогножуючи виробництво електроенергії та можуть використовуватися для розробки систем управління енергозбереженням, які можуть допомогти споживачам оптимізувати своє споживання електроенергії [13].

Рекурентний аналіз продемонстрував значний потенціал для покращення моніторингу, прогнозування та оптимізації циклічних процесів у виробництві електроенергії. Завдяки здатності враховувати динамічні залежності та довгострокові тренди, рекурентні нейронні мережі можуть надавати цінні знання про поведінку складних систем, таких як електростанції та електромережі.

Рекурентні мережі можуть використовуватися для аналізу даних з датчиків на електростанціях та лініях електропередач з метою виявлення несправностей на ранніх стадіях.

Незважаючи на переваги, застосування рекурентного аналізу в енергетиці також має ряд викликів:

- Великі обсяги даних: Рекурентним мережам для навчання потрібні великі обсяги даних. Збір та підготовка цих даних можуть бути складним завданням.
- Обчислювальні ресурси: Навчання рекурентних мереж може потребувати значних обчислювальних ресурсів [7].

Інтерпретація результатів роботи рекурентних мереж може бути складною, що може ускладнити розуміння того, як мережа приймає рішення.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на вирішення цих викликів та розробку нових методів рекурентного аналізу, спеціально призначених для задач в енергетиці. Також важливим напрямком є

інтеграція рекурентного аналізу з іншими методами прогнозування та оптимізації для створення комплексних систем управління енергосистемами.

Висновки

Рекурентний аналіз є потужним інструментом з великим потенціалом для оптимізації циклічних процесів у виробництві електроенергії за вимогами. Застосування рекурентних мереж може допомогти вирішити ряд важливих задач в енергетиці, пов'язаних з прогнозуванням, оптимізацією та управлінням. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на подолання викликів, пов'язаних з даними, обчислювальними ресурсами та інтерпретацією результатів. Впровадження рекурентного аналізу в енергетиці може сприяти розвитку більш ефективних, надійних та стійких енергосистем.

Література

1. Карпа Д. М., Цмоць І. Г., Опомяк Ю. В. Нейромереві засоби прогнозування споживання енергоресурсів. Науковий вісник НЛТУ України. т. 28, № 5. 2018. С. 140–146.
2. Калінчик В.П., Буравльова М.Т., Калінчик В.В., Скосирев В.Г. Прогнозування показників енергоспоживання, генерації і вартості отриманої енергії. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Т. 31 (70), № 2, Ч. 1. 2020. С. 243–249.
3. Грищенко Р. Прогнозування споживання електричної енергії електротехнічних комплексів міської електричної мережі. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No. 3, 2022. P. 152-160.
4. Debnath KB., Mourshed M. Forecasting methods in energy planning models. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 88. 2018. P. 297-325.
5. Tanveer A., Huanxin C. A review on machine learning forecasting growth trends and their real-time applications in different energy systems. Sustainable Cities and Society, Volume 54. 2020. P. 562–579.
6. Marwan N. Software. Programmes. Commandline Recurrence Plots. 2007. <http://tocsy.pik-potsdam.de/commandline- rp.php>.
7. Eckmann J. P., Kamphorst O., Ruelle D. Recurrence plots of dynamical systems. Europhys. Lett., 4. 1987. P. 973–977.
8. Zbilut J. P., Webber C. L. Recurrence Quantification Analysis: Introduction and Historical Context. Int. J. Bifurcation Chaos. 2007. No 17. P. 10. 5.
9. Marwan N. A historical review of recurrence plots. The European Physical Journal Special Topics. 2008. No 164 (1). P. 3–12.
10. Zou Y., Romano MC., Thiel M., Marwan M., Kurths J. Inferring direct coupling by means of recurrences. International Journal of Bifurcation and Chaos. 2011. No 21(4). P. 1099–1111.
11. Піскун О. В. Особливості застосування рекурентних діаграм і рекурентного кількісного аналізу для дослідження фінансових часових рядів / О. В. Піскун // Фінансовий простір. – 2011. – 3 (3). – С. 111–118.
12. Васюта К.С. Розвиток методів виявлення радіосигналів в радіотехнічних системах із використанням рекурентного аналізу / К. С. Васюта, О. Б. Танцюра, О.В. Ревін // Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України. – 2013. – 2(11). – С. 135–139.
13. Соловійов В. М. Моделювання складних економічних систем : навч. посіб. / В. М. Соловійов, В. В. Соловійова, Н. А. Харadžян. – Кривий Ріг : Видавничий відділ НметАУ, 2010. – С. 119.

References

1. Kalinchyk V.P., Buravlyova M.T., Kalinchyk V.V., Skosyrev V.G. (2020) Prediction of indicators of energy consumption, generation and cost of received energy. Scientific notes of Tavri National University named after V.I. Vernadskyi. Series: technical sciences. Vol. 31 (70), No. 2, Part 1. 243–249.
2. Debnath KB., Mourshed M. (2018) Forecasting methods in energy planning models. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 88, 297-325.
3. Hryshchenko R. (2022) Forecasting the consumption of electrical energy of electrotechnical complexes of the city electrical network. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No. 3, 152-160.
4. Debnath KB., Mourshed M. Forecasting methods in energy planning models. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 88. 2018. P. 297-325.
5. Tanveer A., Huanxin C. A review on machine learning forecasting growth trends and their real-time applications in different energy systems. Sustainable Cities and Society, Volume 54. 2020. P. 562–579.
6. Marwan N. Software. Programmes. Commandline Recurrence Plots. 2007. <http://tocsy.pik-potsdam.de/commandline- rp.php>.
7. Eckmann J. P., Kamphorst O., Ruelle D. Recurrence plots of dynamical systems. Europhys. Lett., 4. 1987. P. 973–977.
8. Zbilut J. P., Webber C. L. Recurrence Quantification Analysis: Introduction and Historical Context. Int. J. Bifurcation Chaos. 2007. No 17. P. 10. 5.
9. Marwan N. A historical review of recurrence plots. The European Physical Journal Special Topics. 2008. No 164 (1). P. 3–12.
10. Zou Y., Romano MC., Thiel M., Marwan M., Kurths J. Inferring direct coupling by means of recurrences. International Journal of Bifurcation and Chaos. 2011. No 21(4). P. 1099–1111.
11. Vasyuta, K. S., Tantsyura, O. B., & Revin, O. V. (2013). Development of radio signal detection methods in radio engineering systems using recurrence analysis. Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, 2(11), 135–139.
12. Solovyov, V. M., Solovyova, V. V., & Kharazhyan, N. A. (2010). Modeling of complex economic systems: study guide. Kryvyi Rih: Publishing Department of NMTAU.