

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИКИДІВ ВУГЛЕЦЮ У ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Парниковий ефект, утворений масивними викидами вуглекислого газу, завдав серйозної шкоди навколишньому середовищу Землі, в якому енергетика є одним з основних джерел глобальних викидів парникових газів. Скорочення викидів вуглецю в електроенергетиці відіграє важливу роль у зменшенні викидів парникових газів та пом'якшенні екологічних, економічних і соціальних наслідків зміни клімату, а прогнозування викидів вуглецю є важливою основою для формування політики щодо скорочення викидів вуглецю в електроенергетиці. У доповіді представлено детальний огляд результатів досліджень з прогнозування викидів вуглецю на основі глибокого навчання. Представлені основні нейронні мережі, що застосовуються в галузі прогнозування викидів вуглецю в Україні та за кордоном, а також моделі, що поєднують інші методи та нейронні мережі, і обговорюються основні ролі різних методів у поєднанні з нейронними мережами. Нейронні мережі були використані для прогнозування викидів вуглецю в електроенергетиці, і було проведено порівняння ефективності різних моделей щодо викидів вуглецю. Підводяться підсумки застосування нейронних мереж у сфері прогнозування викидів вуглецю та обговорюються майбутні напрямки досліджень.

Ключові слова: Прогнозування викидів вуглецю; нейронна мережа БП; рекурентна нейронна мережа; глибоке навчання; гібридні моделі.

Abstract

The greenhouse effect generated by massive carbon dioxide emissions has caused serious damage to the Earth's environment, in which energy is one of the main sources of global greenhouse gas emissions. Reducing carbon emissions in the electricity sector plays an important role in reducing greenhouse gas emissions and mitigating the environmental, economic and social impacts of climate change, and carbon emissions forecasting is an important basis for formulating policies to reduce carbon emissions in the electricity sector. The report provides a detailed overview of the results of research on carbon emissions forecasting based on deep learning. It presents the main neural networks used in the field of carbon emissions forecasting in Ukraine and abroad, as well as models that combine other methods and neural networks, and discusses the main roles of different methods in combination with neural networks. Neural networks have been used to predict carbon emissions in the electricity sector, and the performance of different models in terms of carbon emissions has been compared. The paper summarizes the application of neural networks in the field of carbon emissions forecasting and discusses future research directions.

Keywords: Carbon emissions forecasting; BP neural network; recurrent neural network; deep learning; hybrid models.

Вступ

Викиди великої кількості вуглекислого газу в атмосферу в результаті промислової діяльності посилюють парниковий ефект Землі [1], що призводить до збільшення концентрації парникових газів в атмосфері, а це, в свою чергу, сприяє підвищенню температури поверхні Землі. Такі зміни спричинили низку проблем, таких як екстремальні погодні умови, скорочення виробництва продуктів харчування та підвищення рівня моря. Крім того, в результаті парникового ефекту глобальний екологічний баланс зазнав серйозної шкоди: багато видів опинилися під загрозою виживання, а екологічне різноманіття серйозно ослаблене. Для вирішення цієї проблеми міжнародному співтовариству необхідно терміново прийняти стійку модель промислового розвитку, щоб мінімізувати викиди парникових газів.

Щоб захистити нашу Землю, всі країни зобов'язані активно діяти на випередження для скорочення викидів вуглекислого газу, що є нагальним завданням, яке вимагає глобального співробітництва для вирішення проблеми зміни клімату. Як найбільший у світі емітент CO₂, викиди вуглецю в електрое-

енергетиці становлять понад третину загальних викидів вуглецю, тому скорочення викидів в електроенергетичній системі має велике значення для досягнення вуглецевої нейтральності. Всебічний і точний прогноз викидів вуглецю відіграє вирішальну роль у формуванні політики. Водночас, у цьому контексті виробництво та розвиток енергетичних підприємств потребують структурної перебудови та переходу до «зеленого» та низьковуглецевого розвитку [2], щоб адаптуватися до нової тенденції розвитку. У довгостроковій перспективі зелене та низьковуглецеве стратегічне позиціонування не лише адаптується до майбутніх екологічних тенденцій, але й має потенціал для задоволення очікувань споживачів та інвесторів щодо соціальної відповідальності.

Процес викидів вуглецю є динамічним, і викиди вуглецю в кожен момент часу змінюються з часом, тому їх прогнозування є проблемою кореляційного прогнозування часових рядів. З розвитком науки і техніки різноманітне обладнання для збору інформації, таке як датчики, стає досконалішим, а характеристики зібраної інформації стають різноманітнішими. Дані про викиди вуглецю мають дуже складну структуру, характеризуються великим обсягом даних та нелінійністю. Тому використання нейронних мереж, придатних для роботи з такого роду даними для прогнозування викидів вуглецю, стає необхідним вибором.

Враховуючи обмеженість прямого застосування нейромережевих моделей у прогнозуванні викидів вуглецю в електроенергетиці, у доповіді аналізується література, пов'язана із застосуванням нейронних мереж для вирішення задачі. Дослідження має на меті виявити особливості застосування нейронних мереж для прогнозування викидів вуглецю в електроенергетиці, допомогти з'ясувати зв'язки та відмінності між різними методами дослідження в цій галузі та запропонувати напрямки та ідеї для майбутніх досліджень з метою подальшого розвитку галузі.

У доповіді проаналізовано та узагальнено останні застосування нейронних мереж у галузі прогнозування викидів вуглецю, включаючи окремі нейронні мережі, гібридні нейронні мережі та інші методи. Обговорюються переваги та недоліки різних методів нейронних мереж, а також наводяться приклади практичних застосувань, які демонструють ефективність різних методів прогнозування в реальних умовах. Далі проводиться порівняльний аналіз та узагальнення експериментів з прогнозування викидів вуглецю за допомогою нейронних мереж. Нарешті, розглядаються тенденції та напрямки розвитку галузі досліджень.

Результати дослідження

В останні роки методи прогнозування викидів вуглецю в основному базуються на статистичних методах та алгоритмах, зокрема, методах машинного навчання. Методи, що використовують статистику, в основному включають інтегруючу авторегресійну модель ковзного середнього [3] (ARIMA), метод експоненціального згладжування [4] тощо. Ці методи базуються на історичних даних і тенденціях для прогнозування, а статистичні моделі створюються для побудови моделей прогнозування шляхом аналізу минулих даних про викиди вуглецю та пов'язаних з ними факторів. Статистичні методи зазвичай базуються на припущенні про лінійні зв'язки, ігноруючи можливі нелінійні зв'язки, і не відповідають потребам поставленої задачі. Для того, щоб підвищити точність прогнозування викидів вуглецю, методи на основі штучного інтелекту почали поступово ставати основним методом прогнозування.

Аналіз літератури за останні 5 років, показує, що методи на основі штучного інтелекту набувають все більшого поширення. Наразі технологія штучного інтелекту продовжує впроваджувати інновації та розвиватися в галузі прогнозування, включаючи застосування таких методів, як глибоке навчання та навчання з підкріпленням. Ця тенденція вказує на те, що штучний інтелект став домінуючим технологічним трендом у цій галузі.

З поступовим поглибленням досліджень, методи прогнозування, засновані на стратегіях машинного навчання, широко використовуються для прогнозування викидів вуглецю, такі як машина опорних векторів та Random Forest [5]. Порівняно зі статистичними методами, підходи машинного навчання є більш гнучкими та інтелектуальними і можуть відтворювати складні нелінійні зв'язки на основі великих обсягів даних. Однак традиційні моделі машинного навчання мають відносно обмежену адаптивність до змін у розподілі даних і нелінійних зв'язків, і зазвичай потребують ручного введення нелінійних характеристик для вирішення нелінійних задач. Тому методи глибокого навчання, які можуть навчатися наскрізно і автоматично виявляти ознаки, поступово стали популярним напрямком досліджень, а нейронні мережі подолали недолік лінійних моделей, які важко відтворюють нелінійні зв'яз-

ки.

Традиційно прогнозування викидів вуглецю, що проводиться в Україні та за кордоном, базується на статистичних методах екологічної кривої Кузнеця, рівнянні IPAT, моделі STIRPAT [6] та ін., які в основному використовуються для досліджень прогнозування на макрорівні. Кількість даних для прогнозування викидів вуглецю на макрорівні є відносно невеликою, і більшість прогнозів робиться на річному, квартальному та місячному часових масштабах. Хоча нейронні мережі в основному обробляють великі обсяги даних, вони також мають відмінну продуктивність, коли обсяг даних відносно невеликий. В роботі [7] нейронні мережі BP були використані для прогнозування викидів вуглецю на макрорівні зі значними результатами, що свідчить про те, що нейронні мережі також мають дуже хорошу продуктивність у прогнозуванні на макрорівні і можуть замінити статистичні методи. Оскільки попит на точність прогнозування зростає, одна модель не може задовольнити попит, тому все більше і більше вчених вивчають комбінацію декількох моделей для прогнозування з метою підвищення точності. У [8] запропонували комбінацію сірого кореляційного аналізу та нейронної мережі BP, спочатку використовуючи сірий кореляційний аналіз для відсіювання більш впливових змінних у даних, а потім використовуючи нейронну мережу BP для навчання. Цей гібридний підхід до моделювання покращує швидкість навчання та точність нейронної мережі BP, а також підвищує надійність моделі. Також для обробки даних використовуються такі моделі, як регресійна модель Лассо [9] та аналіз головних компонент [10] (PCA). Цей метод поєднання моделей передбачає попередню обробку даних. Основними методами обробки є відсіювання, стиснення, зменшення розмірності тощо. Після обробки даних покращується швидкість навчання та точність прогнозування моделі. Існують також деякі комбінації алгоритмів, такі як нелінійна оптимізація рою частинок (PSO), покращена оптимізація рою частинок (IPSO), генетичний алгоритм та нейронна мережа BP.

Нейронна мережа BP (Backpropagation) – це поширена архітектура штучної нейронної мережі, що використовується для вирішення завдань класифікації, регресії та інших завдань машинного навчання, яка виконує корекцію помилок за допомогою алгоритму зворотного поширення помилки. Це техніка керованого навчання, яка змінює ваги нейронної мережі за допомогою навчальних даних. Структура складається з декількох шарів, які зазвичай включають вхідний, прихований і вихідний шари, як показано на рисунку 1. Нейронні мережі BP мають нелінійну передавальну функцію, яка може апроксимувати нелінійні функції з довільною точністю, і тому їх використовують у дослідженнях з прогнозування викидів вуглецю.

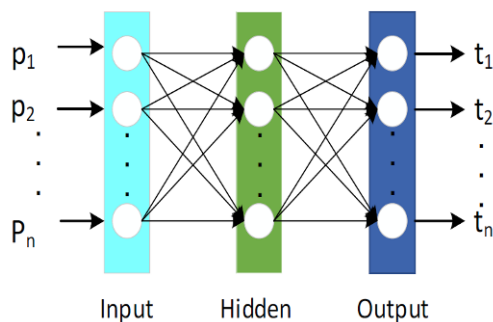


Рисунок 1. Структурна схема нейронної мережі BP

Нейронна мережа BP має просту структуру. При використанні нейронних мереж для прогнозування викидів вуглецю дані спочатку попередньо обробляються, що зазвичай включає заповнення пропущених значень і нормалізацію, а потім будується відповідна нейромережева модель і перед початком навчання ініціалізуються ваги і зсуви в мережі. Після початку навчання розраховується прогнозне значення шляхом прямого поширення, прогнозне значення порівнюється з фактичним значенням для розрахунку втрат, а ваги і зміщення коригуються шляхом зворотного поширення з метою зменшення втрат. У всьому процесі навчання вищезазначені кроки повторюються до досягнення оптимуму. Під час навчання необхідно постійно відповідно до фактичної ситуації коригувати гіперпараметри, щоб досягти кращої здатності до узагальнення. Навчання нейронних мереж є ітеративним і безперервним процесом оптимізації. Завдяки ретельному налаштуванню параметрів та обробці даних, точність та ефективність моделі для прогнозування викидів вуглецю поступово покращується.

Основною метою комбінованих алгоритмів є оптимізація параметрів нейромережевої моделі для покращення її продуктивності. Оптимальні параметри нейронної мережі спочатку розраховуються за

допомогою алгоритму оптимізації, а потім параметризуються і навчаються. Описані методи значно підвищують точність і швидкість прогнозування.

Висновки

Дані про викиди вуглецю характеризуються великим обсягом даних і нелінійністю. Нейронні мережі добре справляються з такими даними. У порівнянні з традиційними моделями прогнозування, нейронні мережі можуть краще відтворювати складні нелінійні взаємозв'язки в даних і адаптуватися до потреб більш складних даних про викиди вуглецю. В Україні та за кордоном для прогнозування викидів вуглецю в основному використовуються нейронна мережа BP, рекурентна нейронна мережа та поєднання традиційних методів з цими двома мережами. Традиційні методи статистичного аналізу в основному використовуються для обробки даних та оптимізації параметрів нейронних мереж. Загалом, відмінна продуктивність нейронних мереж у прогнозуванні викидів вуглецю та їх здатність адаптуватися до складних нелінійних характеристик даних роблять їх ефективним інструментом для прогнозування викидів вуглецю в енергетиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. M. Tavassoli and A. Kamran-Pirzaman, "Comparison of effective greenhouse gases and global warming," 2023 8th International Conference on Technology and Energy Management (ICTEM), Mazandaran, Babol, Iran, Islamic Republic of, 2023, pp. 500 1-5, doi: 10.1109/ICTEM56862.2023.10083954.
2. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк // Технічна електродинаміка. — 2012. — № 5. — С. 52–67.
3. Huijuan Yang, John F. O'Connell, Short-term carbon emissions forecast for aviation industry in Shanghai, Journal of Cleaner Production, Volume 275, 2020, 122734, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122734>.
4. Li, Y., Li, T. & Lu, S. Forecast of urban traffic carbon emission and analysis of influencing factors. Energy Efficiency 14, 84 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12053-021-10001-0>.
5. Lei Wen, Xiaoyu Yuan, Forecasting CO2 emissions in Chinas commercial department, through BP neural network based on random forest and PSO, Science of The Total Environment, Volume 718, 2020, 137194, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137194>.
6. WANG N, HAN C Y, ZHANG Y, et al. Research on regional carbon emissions peaking based on the threshold-STIRPAT extended model - taking East China as an example [J/OL]. Environmental Engineering: 1-11 [2023-11-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2097.X.20231026.1803.004.html>.
7. PAN S Y, ZHANG M L. Research on carbon dioxide emission prediction and influencing factors in Gansu Province based on BP neural network [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(07): 61-68+85. DOI: 10.13205/j.hjgc.202307009.
8. JI G Y. Application of BP neural network model based on gray correlation analysis in China's carbon emission prediction [J]. Practice and Understanding of Mathematics, 2014, 44(14): 243-249.
9. ZHAO J H, LI J S, WANG P L, et al. Research on carbon peak path in Henan Province based on Lasso-BP neural network model [J]. Environmental Engineering, 2022, 40(12): 151-156+164. DOI: 10.13205/j.hjgc.202212020.
10. YAN F Y, LIU S X, ZHANG X P. Research on land carbon emission prediction based on PCA-BP neural network [J]. Western Journal of Human Settlements and Environment, 2021, 36(06): 1-7. DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20210601.

Сілаков Микита Дмитрович – студент групи ІЕСМ-21б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: silakov187@gmail.com

Кулик Володимир Володимирович – докт. техн. наук, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kulyk.v.v@vntu.edu.ua

Mykyta Silakov – student of group 1ESM-21b, Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: silakov187@gmail.com

Volodymyr Kulyk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kulyk.v.v@vntu.edu.ua