

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ
ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ
КОНВЕРТАЦІЇ
У МОБІЛЬНИЙ ФОРМАТ CORE ML**

Комін А. С.

Науковий керівник – к.т.н., ст. викладач Бойко О. В.
Сумський державний університет, каф. Інформаційних технологій
м. Суми, Україна
e-mail: anton.komin2@gmail.com

This work is devoted to assessing the efficiency of a machine learning model for predicting the level of electricity consumption after the model conversion from a desktop model to a model for mobile devices. The original Keras LSTM model is converted into a CoreML model using Coremltools for running on iOS mobile devices. The converted model is evaluated using a prototype iOS application which predicts and visualises energy consumption data.

Рівень споживання електроенергії людством зростає з кожним роком, тому питання енергоефективності є надзвичайно важливим. Відповідно до [1] 75% будівель у ЄС не є енергоефективними, що призводить до неефективного використання енергоресурсів. Технології генерації енергії на основі відновлювальних джерел енергії при використанні у домогосподарствах та малих підприємствах дозволяють не тільки зменшити використання вичерпних ресурсів, а і покращити стійкість та стабільність енергосистеми в яку вони інтегровані. Розробка доступних та простих у використанні систем управління енергомережами на основі джерел відновлюваної енергії є необхідною складовою впровадження даних систем.

Однією з ключових підсистем у системі управління енергетичною мережею є підсистема прогнозування споживання електроенергії. Оскільки дані щодо споживання електроенергії мають значні вимоги до конфіденційності та часто захищені законодавством [2], дуже важливо збирати та обробляти ці дані на стороні споживача. Сучасні мобільні телефони достатньо потужні для запуску складних моделей машинного навчання, завжди знаходяться поруч з власником та захищені кодом-паролем або біометричними засобами автентифікації, що дозволяє виконувати периферійні обчислення з високим рівнем приватності.

Дані про споживання електроенергії зазвичай подаються у форматі часових рядів, який добре аналізуються сучасними моделями машинного навчання. TensorFlow [3] є потужним інструментом для розробки таких моделей. За допомогою бібліотеки Coremltools [4] можливо конвертувати моделі TensorFlow у формат CoreML для запуску на пристроях iOS.

У роботі [5] було проаналізовано різні моделі машинного навчання для короткострокового прогнозування споживання електроенергії. Модель на основі LSTM показала найкращі результати, тому для порівняння будемо використовувати подібну, але спрощену модель. Для проектування моделі використаємо бібліотеку Keras з TensorFlow та створимо послідовну модель. Опис рівнів моделі подано у табл. 1. Параметри рівнів були визначені експериментально.

Таблиця 1 – Структура моделі прогнозування на базі LSTM

Рівень	Форма вихідних даних
<code>keras.layers.recurrent.LSTM (48)</code>	(None, 48)
<code>keras.layers.Dropout(0.1)</code>	(None, 48)
<code>keras.layers.Dense(1)</code>	(None, 1)

Для навчання та тестування моделі використовується набір даних, що містить погодинні дані споживання електроенергії станцією АЗС за 2 роки (17520 годин). Дані були очищені від пустих та аномальних значень, після чого було проведено нормалізацію значень до діапазону від 0 до 1. Набір даних було поділено на навчальний та тестовий, а також переформатовано для врахування кроку у 24 години. Модель навчалася для прогнозування показника споживання на годину вперед на основі показників попередніх 24 годин. Навчання відбувалось у 100 епох з розміром вибірки 50. Після навчання модель Tensorflow було конвертовано у CoreML за допомогою бібліотеки Coremltools, але виникла проблема з інтерпретацією форми вхідних даних. Проблема вирішено шляхом додавання базової вхідної функції `concrete function` розміром (1, 1, 24) у якості підпису моделі. Після цього модель успішно конвертовано у CoreML.

Для тестування CoreML моделі було створено мобільний додаток на платформі iOS, що читає дані для тестування із файлу .csv, проводить прогнозування показників на основі цих даних та виконує візуалізацію фактичних та прогнозованих показників рівня споживання електроенергії (рис. 1). Для порівняння точності обох моделей було розраховано показники RMSE, MAPE, MAE та MSE (табл. 2) та створено візуалізації результатів прогнозів. (рис. 2).

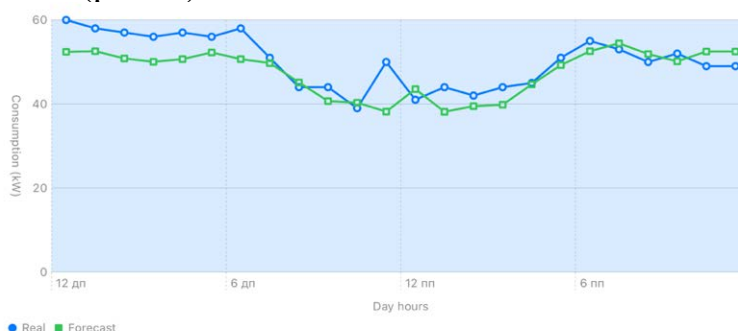


Рисунок 1 – Прогноз рівня споживання моделлю CoreML

Таблиця 2 – Показники первинної моделі Tensorflow

Показник	LSTM Tensorflow	LSTM CoreML	Різниця, %
RMSE	3.929780	4.701461	+ 19.63
MAPE	6.540120	7.553514	+ 15.49
MAE	3.266565	3.879699	+ 18.77
MSE	15.44317	22.103738	+ 43.13

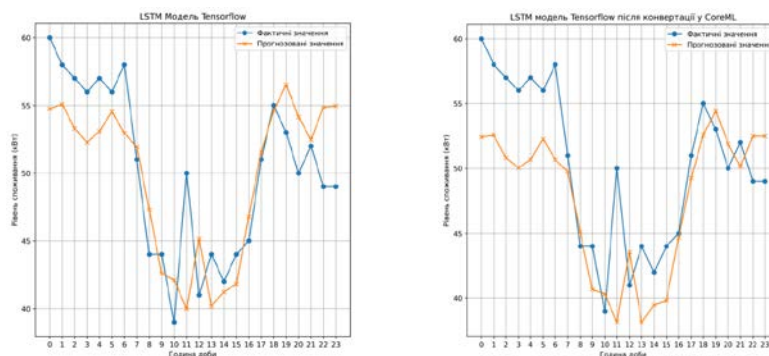


Рисунок 2 – Порівняння прогнозованих даних з фактичними

Після проведеного тестування та порівняння результатів моделей виявлено, що конвертація моделі на базі LSTM Tensorflow у модель CoreML за допомогою Coremltools призводить до зниження точності прогнозів. Деградація показників моделі становить від 15% до 43%, що дозволяє використовувати модель лише для орієнтовного короткострокового прогнозування. Необхідно враховувати, що процес конвертації був виконаний зі стандартними параметрами, що могло вплинути на якість вихідної моделі CoreML. Оптимізація процесу конвертації має бути предметом подальших досліджень. Окрім того, моделі Tensorflow можуть бути конвертовані у інші формати, такі як Tensorflow Lite та Pytorch, що також дозволяє їх використання на мобільних пристроях iOS і відкриває шлях для подальших досліджень.

Список використаних джерел:

1. Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast) URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2023_231_R_0001&qid=1695186598766 (дата звернення: 03.03.2024).
2. Art. 83 GDPR General conditions for imposing administrative fines URL: <https://gdpr.eu/article-83-conditions-for-imposing-administrative-fines/> (дата звернення: 03.03.2024).
3. TensorFlow Guide, URL: <https://www.tensorflow.org/guide> (дата звернення: 03.03.2024).
4. Core ML Tools documentation, URL: <https://apple.github.io/coremltools/docs-guides/source/overview-coremltools.html> (дата звернення: 03.03.2024).
5. Shendryk, V., Parfenenko, Y., Tymchuk, S., Kholiavka, Y., & Bielka, Y. (2022). Modeling techniques of electricity consumption forecasting. AIP Conf. Proc , 2022, Vol. 2570 (1), 030004.