

УДК 621

doi 10.54708/22259309_2025_132141

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ, БЫВШИХ В УПОТРЕБЛЕНИИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Р. Р. Ахтямов¹, М. А. Исмагилов², М. Н. Рахман³

¹Tevoltx@gmail.com, ²ismagilovmarat13@gmail.com, ³rakhmanmn@uust.ru

EVoltX, ПИШ “Моторы будущего”, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В работе показано использование нейросети для классификации аккумуляторных батарей. Представленное исследование полезно для электросетевых компаний. Для классифицирования нейросеть использует метод случайного леса, состоящего из множества деревьев принятия решений, в основе работы которых лежит процесс рекурсивного разбиения исходного множества объектов на подмножества, ассоциированные с предварительно заданными классами. Обучение производилось на 80 % от 292 строк, тестирование – на 20 % от того же числа строк, в результате была получена точность 89,93 %.

Ключевые слова: метод случайного леса (Random Forest classifier); вторая жизнь аккумулятора; машинное обучение; точность; ИНС.

ВВЕДЕНИЕ

Обновление аккумуляторов второго поколения для электромобилей (EV) с использованием алгоритмов машинного обучения (ML) представляет собой сочетание устойчивости, экономических возможностей и технологического прогресса. В этой статье рассматриваются различные стороны процесса обновления, включая преимущества, проблемы, используемые алгоритмы и общее влияние машинного обучения на повышение эффективности использования батарей.

Использование аккумуляторов с длительным сроком службы в электромобилях может внести существенный вклад в устойчивую энергетику. Аккумуляторы, сохраняющие 70–80 % своей первоначальной емкости после первого использования, подходят для таких применений, как стационарные системы накопления энергии [1]. Если проверка показывает, что уровень SOH составляет более 80 %, то аккумуляторная батарея может быть использована повторно в автомобильной отрасли. При уровне SOH 50 % или ниже аккумуляторную батарею необходимо демонтировать [2]. Батареи с уровнем SOH, имеющие промежуточные между этими значения, могут быть использованы повторно. За счет перепрофилирования этих аккумуляторов можно продлить срок службы аккумуляторных материалов, тем самым понизив потребность в производстве новых аккумуляторов, что позволит минимизировать экологические затраты, связанные с добычей сырья и производством [3].

Несмотря на преимущества, восстановление аккумуляторов с истекшим сроком службы связано с серьезными трудностями. Обеспечение работоспособности и надежности этих аккумуляторов в новых областях применения требует основательного тестирования и оценки. Различия в состоянии работоспособности (SOH) различных аккумуляторов представляют значительный риск при неправильном управлении, поскольку это может привести к снижению

производительности и проблемам безопасности при совместном использовании неподходящих аккумуляторов [4].

Алгоритмы машинного обучения играют важнейшую роль в преодолении этих проблем, так как повышают точность и эффективность оценки состояния аккумуляторов с истекшим сроком службы. Эти методы позволяют анализировать массивные наборы данных для прогнозирования характера деградации аккумулятора, что позволяет проводить точные оценки без тщательного тестирования.

В этой статье мы предлагаем нейронную сеть, определяющую химический состав батареи. Она основана на методе случайного леса. Случайный лес (Random Forest) – это довольно мощная и надежная модель, представляющая собой комбинацию множества деревьев принятия решений, в основе работы которых лежит процесс рекурсивного разбиения исходного множества объектов на подмножества, ассоциированные с предварительно заданными классами. Разбиение производится с помощью решающих правил, в которых осуществляется проверка значений атрибутов по заданному условию [5].

Определение характеристик аккумулятора необходимо для обеспечения их оптимальной работы в течение длительного срока службы, для предотвращения сбоя в производительности и быстрого выхода из строя [6].

КЛАССИФИКАТОР ДЛЯ АНАЛИЗИРОВАНИЯ/ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АККУМУЛЯТОРА

Представленная блок-схема наглядно отображает последовательность этапов или процессов, входящих в структуру исследования/анализа. Каждый узел схемы представляет собой ключевой шаг, действие или задачу, а направленные стрелки между ними демонстрируют логику взаимосвязей и последовательность выполнения операций. Начальная точка обозначает старт процесса, после чего последовательные шаги ведут к достижению итогового результата. Такая схема структурирует процесс, делая его понятным и логически связанным, что способствует более эффективному анализу и интерпретации информации.

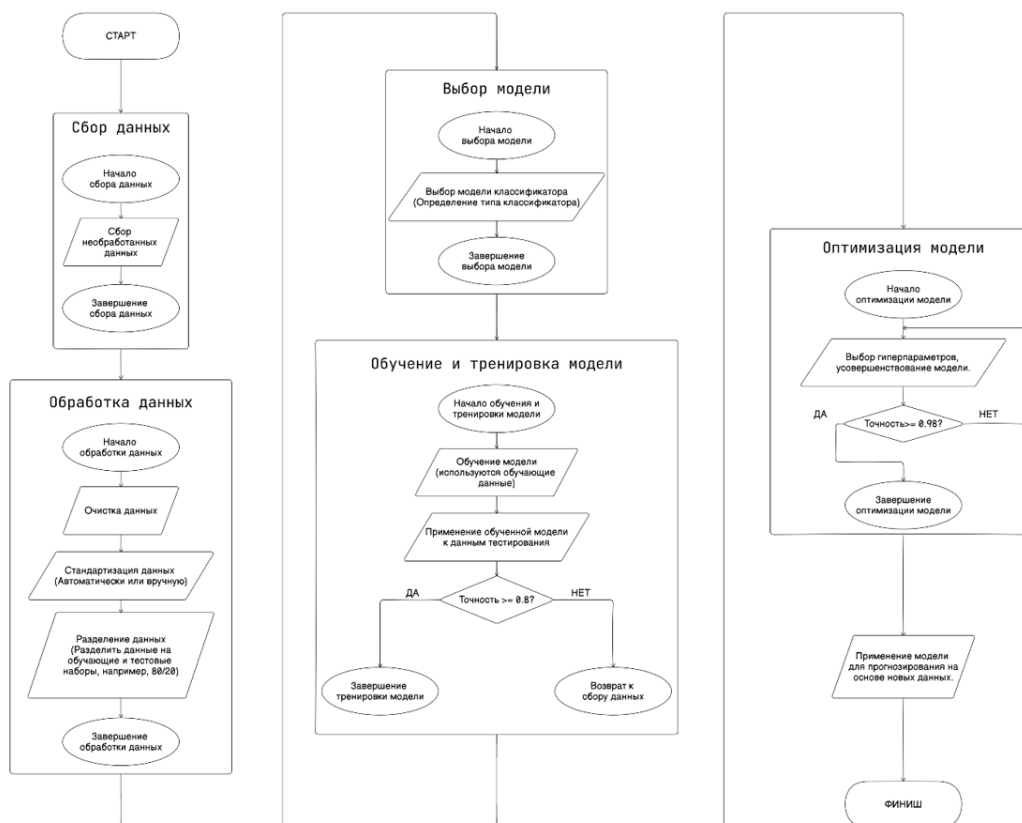


Рис. 1. Процесс разработки нейронной сети

Точность (Accuracy):

$$Accuracy = \frac{\sum_{i=1}^{N_{test}} 1(\hat{y}_i = y_{test,i})}{N_{test}},$$

где:

1 – индикаторная функция, возвращающая 1, если условие выполнено, и 0 в противном случае;

\hat{y}_i – предсказанное значение для i -го примера;

N_{test} – количество примеров в текстовой выборке;

$y_{test,i}$ – истинное значение для i -го примера.

АНАЛИЗИРОВАНИЕ МОДЕЛИ И РЕЗУЛЬТОВ

Обучение модели:

$$\{(X_{train}, y_{train}), (X_{test}, y_{test})\} = \text{train_test_split}(\{X, y\}, p_{test}, \text{random_state} = 42, \text{stratify} = y)$$

где:

$p_{test} = 0,2$ – доля тестовой выборки;

$\text{stratify} = y$ обеспечивает равномерное распределение классов.

Обучение случайного леса:

$$\text{clf} = \text{RandomForestClassifier}(n_{estimators} = 10, \text{max_depth} = 12, \text{random_state} = 42)$$

$$\text{clf}.fit(X_{train}, y_{train})$$

где:

$n_{estimators} = 10$ – количество деревьев;

$\text{max_depth} = 12$ – максимальная глубина деревьев.

2) Проверка модели:

Предсказание на тестовой выборке:

$$\hat{y}_i = \text{clf}.predict(X_{test,i}), \forall i \in \{1, 2, \dots, N_{test}\},$$

где:

\hat{y}_i – предсказание модели для i -го примера текстовой выборки.

Гистограммы визуализируют распределение значений для каждого из входных признаков: "Capacity (Ah)", "Voltage (V)" и "Weight (Kg)". Это помогает понять диапазоны и частоты значений для каждой характеристики (рис. 2).

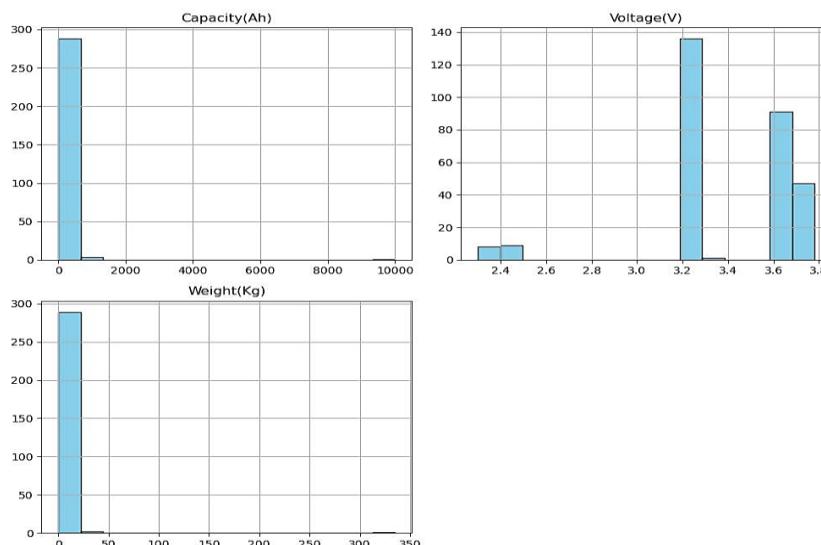


Рис. 2. Гистограммы входных данных

Диаграммы размаха показывают распределение значений каждого признака в зависимости от химического состава батарей (Chemic). Эти графики помогают определить различия между группами и выявить выбросы (рис. 3).

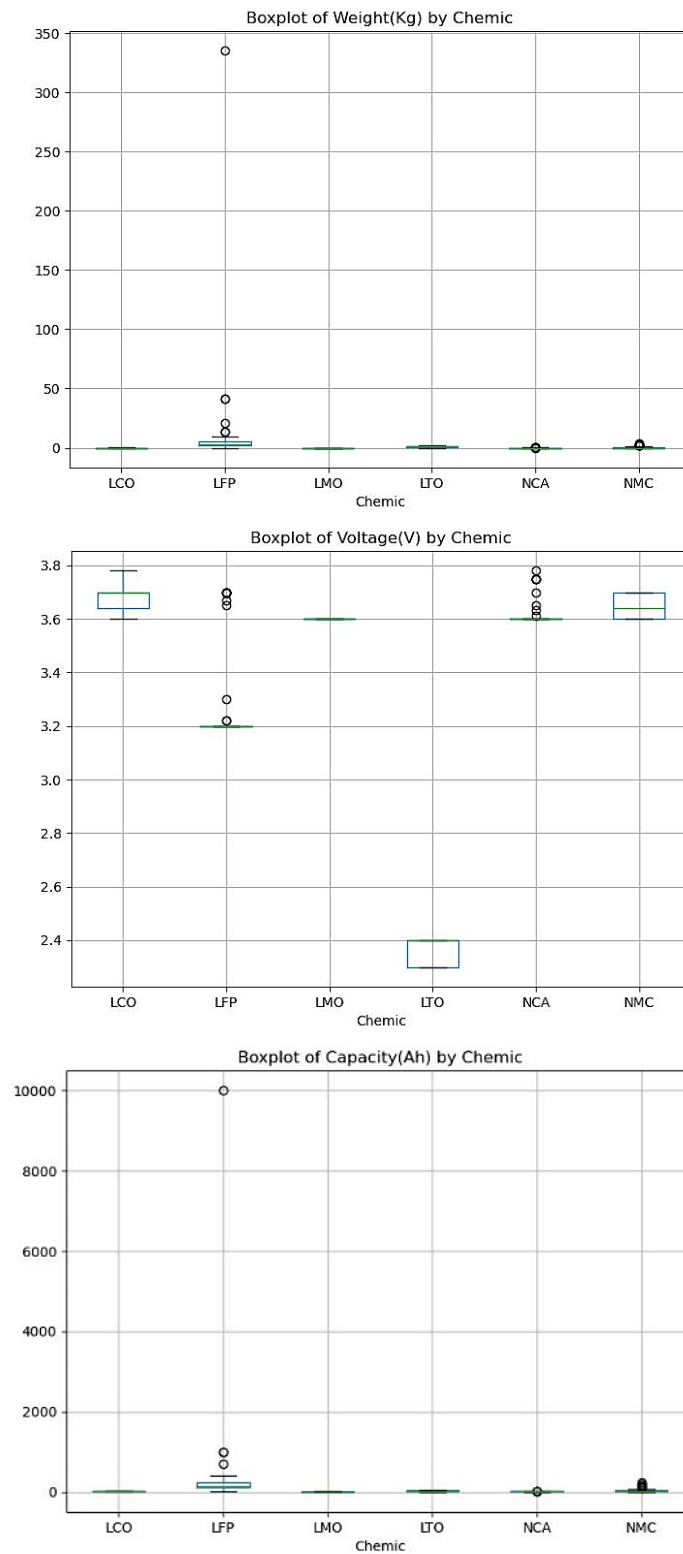


Рис. 3. Диаграммы размаха (Boxplots)

Матрица корреляции иллюстрирует взаимосвязь между входными признаками. Цветовая шкала от холодного к теплomu помогает визуализировать коэффициенты корреляции, что позволяет выявить признаки с высокой корреляцией (рис. 4).

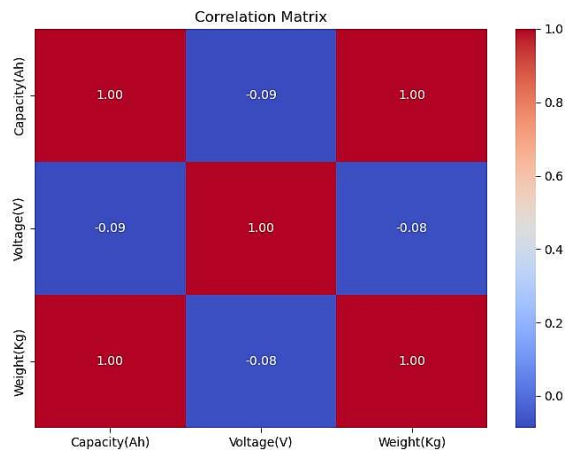


Рис. 4. Матрица корреляции

График, представленный на рис. 5, сравнивает фактические классы с предсказанными для тестовой выборки. Точки, соответствующие фактическим данным, отмечены синим, а предсказанным – красным, что позволяет оценить точность модели.

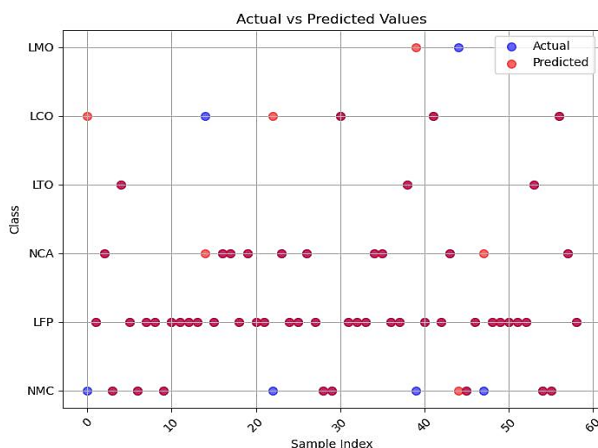


Рис. 5. График фактических и предсказанных значений

График важности признаков, представленный на рис. 6, демонстрирует вклад каждого из признаков в классификацию. Чем выше столбец, тем более значим признак для работы модели Random Forest.

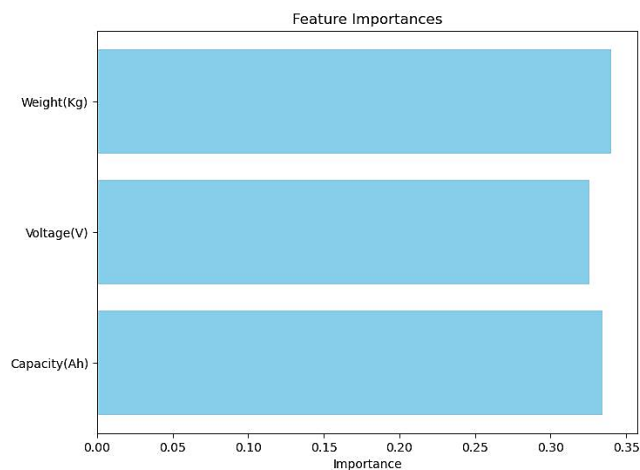


Рис. 6. Важность признаков

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение – внедрение нейронных сетей в анализ химического состава аккумуляторов упрощает процесс исследования и открывает путь к созданию более безопасных, эффективных и емких батарей. Нейронные сети превосходят традиционные методы, интегрируя большие объемы данных для более надежных прогнозов. К тому же вычислительные модели сокращают необходимость физических экспериментов, экономя время и ресурсы. А обучение на различных наборах данных делает их применимыми к широкому спектру материалов.

Будущее обещает дальнейшее совершенствование моделей, интеграцию анализа в реальном времени на производстве и улучшение контроля качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Xiaofan C. et al.** Taking Second-Life Batteries from Exhausted to Empowered Using Experiments, Data Analysis, and Health Estimation // Cell Reports Physical Science. 2024. Vol. 5. No. 5. Pp. 101941–101941, <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2024.101941>. Accessed 7 July 2024.
2. **Patel A. N., Lander L., Ahuja J., Bulman J., Lum J. K. H., Pople J. O. D., Hales A., Patel Y. and Edge J. S.** Lithium-ion battery second life: pathways, challenges and outlook // Front. Chem. 2024. 12:1358417. doi: <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1358417>, 08 April 2024.
3. **A Scientific** Machine Learning Approach for Predicting and Forecasting Battery Degradation in Electric Vehicles // ArXiv. Org. 2024. arxiv.org/abs/2410.14347.
4. **Volta Foundation.** Opportunities and Challenges of Second-Life Batteries // Volta Foundation. 2024. 27 Jan. <https://volta.foundation/battery-bits/opportunities-and-challenges-of-second-life-batteries>.
5. **Ghoroghi A. et al.** Advances in Application of Machine Learning to Life Cycle Assessment: A Literature Review // The International Journal of Life Cycle Assessment. 2022. 28 Mar. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02030-3>.
6. **Nováková K. et al.** Second-Life of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles: Concept, Aging, Testing, and Applications // Energies. 2023. Vol. 16. No. 5. 1 Jan. P. 2345, www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2345, <https://doi.org/10.3390/en16052345>.

ОБ АВТОРАХ

Ахтямов Роман Ринатович, студент, ПИШ «Моторы будущего», УУНИТ.

Исмагилов Марат Артурович, студент, ПИШ «Моторы будущего», УУНИТ.

Рахман Мд. Нафиз, аспирант, ПИШ «Моторы будущего», УУНИТ.

METADATA

Title: Study of characteristics of used electric vehicle batteries using artificial neural networks.

Authors: R. R. Akhtyamov¹, M. A. Ismagilov², M. N. Rahman³

Affiliation:

¹⁻³ Ufa University of science and technology (UUST), Russia.

Email: ¹ITEvoltx@gmail.com, ²ismagilovmarat13@gmail.com, ³rakhmanmn@uust.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1 (32), pp. 141-146, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The paper demonstrates the use of a neural network for classifying batteries. The presented study is useful for electric grid companies. For classification, the neural network uses the random forest method, consisting of a set of decision trees, the operation of which is based on the process of recursive partitioning of the original set of objects into subsets associated with pre-defined classes. Training was performed on 80% of 292 lines, testing on 20% of the same number of lines, resulting in an accuracy of 89.93%.

Keywords: random forest classifier, second life of battery, machine learning, accuracy.

About authors:

AKHTYAMOV Roman Rinatovich, student, AES "Motors of the Future", UUST.

ISMAGILOV Marat Arturovich, student, AES "Motors of the Future", UUST.

RAHMAN Md. Nafiz, postgraduate student, AES "Motors of the Future", UUST.