

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ МЕТОДОМ MACHINE LEARNING

*Кузьмич П.В. студент гр.478105, Ложечка А.А. студент гр.478101  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Савилова Ю.И. – к.т.н., доцент*

В данной статье рассматривается роль и прогнозирование жизни литий-ионных батарей. Мы обсудим насколько широка область применения литий-ионных аккумуляторов. Рассмотрим программу, которая предоставляет нам время жизни литий-ионных батарей от установленных нами входных данных. Данная статья предоставляет понятное объяснение принципов работы ML-инженера и их важность в современных информационных технологиях.

**Ключевые слова.** Литий-ионные батареи, machine learning, алгоритм, деградация, прогнозирование.

Мир машинного обучения и анализа данных многообразен. ML-разработчик — это программист, который работает с машинным обучением (Machine Learning) и с помощью специальных наборов данных и алгоритмов обучает искусственный интеллект, а также создаёт компьютерные модели. ML давно стало частью информационных систем. Впервые история машинного обучения началась в 1950-х, когда появились первые нейронные сети и алгоритмы ML.

Литий-ионные аккумуляторы широко применяются в электромобилях, портативной электронике и системах хранения энергии. Однако их деградация, вызванная химическими и механическими процессами, приводит к снижению ёмкости и росту внутреннего сопротивления. В данной работе исследуются методы машинного обучения для прогнозирования остаточной ёмкости и срока службы батарей. Рассмотренные алгоритмы проходят на основе открытых данных NASA Battery Dataset. Результаты демонстрируют перспективность ML для оптимизации эксплуатации аккумуляторов.

Для работы в области науки о данных разработана масса программных библиотек, вычислительных каркасов, модулей и наборов инструментов, которые эффективно имплементируют наиболее общие алгоритмы и технические решения, применяемые в науке о данных. Тот, кто станет исследователем данных, несомненно, будет досконально знать научно-вычислительную библиотеку NumPy, библиотеку машинного обучения scikit-learn, библиотеку для анализа данных pandas и множество других. По поводу того, какой язык программирования лучше всего подходит для усвоения науки о данных, развернулась здоровая полемика. Многие настаивают на языке статистического программирования R. Некоторые предлагают Java или Scala. Однако, по нашему мнению, Python - идеальный вариант. Он обладает несколькими особенностями, которые делают его наиболее пригодным для изучения и решения задач в области науки о данных:

- Он относительно прост в написании кода (и в особенности в понимании)
- Он располагает сотнями прикладных библиотек, предназначенных для работы в области науки о данных
- Он обладает огромным сообществом, что позволяет быстро решать технические проблемы

ML-разработчик выступает связующим звеном между теорией и практикой. Без его экспертизы невозможно достичь точности прогноза и адаптировать модель под реальные условия.

ML-разработчик – это не просто программист, а специалист, сочетающий навыки анализа данных, понимание алгоритмов и умение решать инженерные задачи, что делает его незаменимым в проектах, связанных с искусственным интеллектом и прогнозной аналитикой.

В исследовании были использованы следующие библиотеки:

- NumPy – это библиотека Python с открытым исходным кодом, которая используется практически во всех областях науки и техники
- Pandas – одна из первостепенных, используемых в науке о данных для работы с данными (в частности, для импорта данных)
- Scikit-learn – самая популярная библиотека для работы в области машинного обучения на языке Python. Она содержит все модели, которые были тут имплементированы, и многие другие
- Matplotlib – популярная Python-библиотека для визуализации данных. Она используется для создания любых видов графиков: линейных, круговых диаграмм, построчных гистограмм и других – в зависимости от задач

С учётом вышеупомянутых инструментов, мы приступили к построению регрессии методом случайного леса на основе открытых данных от NASA Battery Dataset. Регрессия случайного леса – метод машинного обучения, основанный на построении огромного количества логических деревьев для предсказания числовых значений. Этот метод отлично нам подходит, так как он точнее простой

регрессии, улавливает сложные закономерности в данных, а также показывает, какие признаки сильнее влияют на результат.

Полученные данные мы разделяем на тренировочную и тестовую выборку в соотношении 80/20. Затем мы подсчитали среднюю абсолютную ошибку и коэффициент детерминации. Средняя абсолютная ошибка – это мера ошибок между парными наблюдениями, выражающими одно и то же явление. Коэффициент детерминации является статистической мерой согласия, с помощью которой можно определить, насколько модель соответствует данным, на которых она построена. Эти данные можно увидеть на рисунке 1.

```
[490 rows x 6 columns]
Средняя абсолютная ошибка (MAE): 40.75476571428557
Коэффициент детерминации (R^2): 0.9751979945848624
```

Рисунок 1 – средняя абсолютная ошибка и коэффициент детерминации

Данные напрямую зависят от параметров. Каждый параметр в датасете имеет значение, от которого зависят выходные данные. У нас были такие параметры, как:

- Напряжение (Voltage\_measure) – его падение со временем коррелирует с деградацией электродов
- Ток (Current\_measured) – высокие разряды тока приводят к увеличению глубины разряда, что ускоряет деградацию активных материалов электродов
- Температура (Temperature\_measured) – перегрев ускоряет химические реакции, снижая срок службы батареи
- Ток нагрузки (Current\_load) – резкие изменения тока нагрузки приводят к микроскопическим повреждениям кристаллической решётки графита
- Напряжение нагрузки (Voltage\_load) – превышение 4.2 В (максимального напряжения) приводит к оперативному окислению катода. При нагрузке меньше 2.5 В (минимального напряжения) вызывается необратимая сульфатация анода

После выполнения вышеперечисленных действий мы визуализируем результаты в виде графика, имеющего зависимость фактического от предсказанного времени жизни (см. рисунок 2).

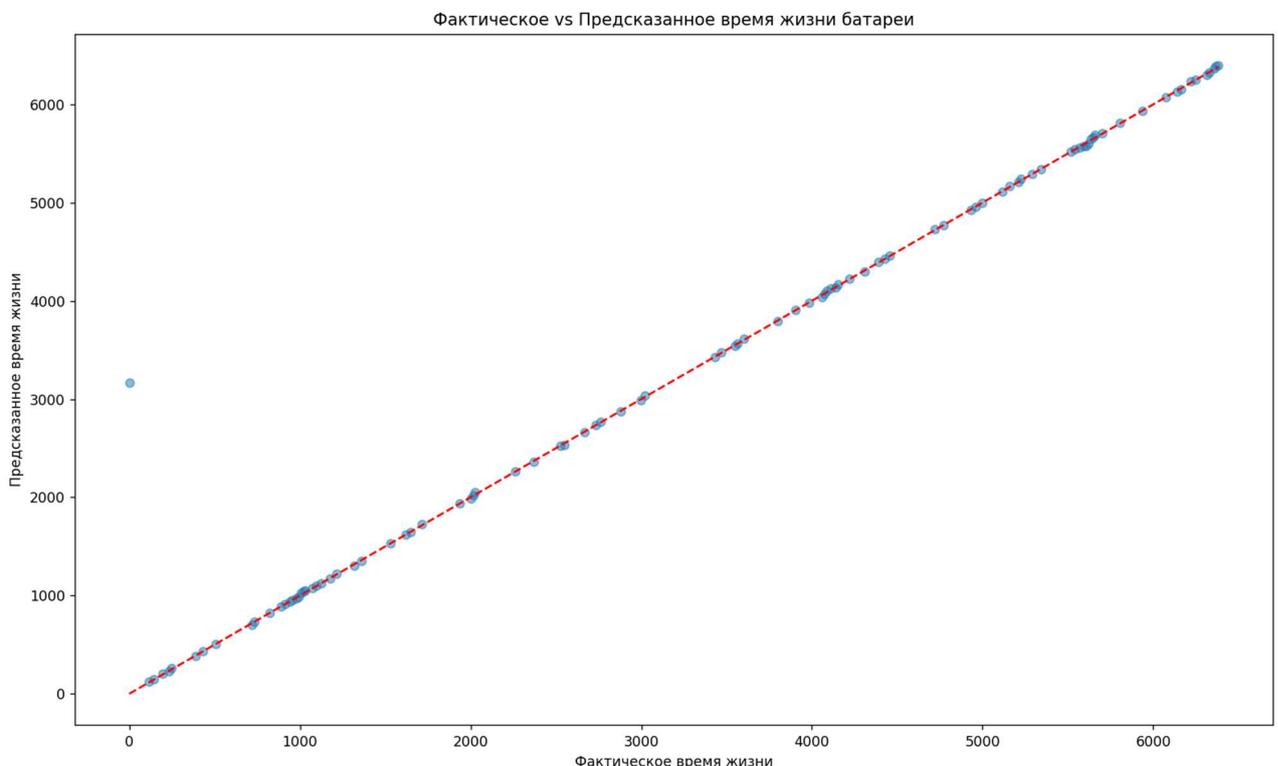


Рисунок 2 – график линейной регрессии

Следом за этим мы вводим данные о нашей литий-ионной батарее и получаем графики прогнозирования деградации. Номинальное напряжение для литий-ионной батарее от 3.6 до 3.7 В. Стандартный ток постоянного заряда составляет 0,5С, где С – это емкость аккумулятора. Для литий-ионных аккумуляторов рекомендуемый диапазон рабочих температур составляет от 20 °С до 25 °С. Пиковый ток (кратковременный) может находиться в диапазоне 5С–10С. Рабочий диапазон нагруженного напряжения – от 3 до 4.2 В.

```

Введите Напряжение (Voltage_measured): 3.6
Введите Ток (Current_measured): 0.5
Введите Температуру (Temperature_measured): 20
Введите Ток нагрузки (Current_load): 5
Введите Нагруженное Напряжение (Voltage_load): 3
Предсказанное время жизни: 2413.830799999997 секунд
Оставшаяся емкость батареи: 62.50%
    
```

Рисунок 3 – введенные данные с полученной деградацией

По итогу мы получаем предсказанное время жизни нашей литий-ионной батарее и оставшуюся ёмкость батарее. Оставшаяся ёмкость батарее (SOH) – это показатель, отражающий текущую ёмкость батарее относительно её начального значения. Обычно выражается в процентах:

$$SOH = \frac{\text{Текущая ёмкость}}{\text{Начальная ёмкость}} * 100\% \quad (1)$$

В качестве начального значения было выбрано максимальное время жизни из датасета. Предсказанное время жизни – это прогнозируемый момент, когда батарее достигнет предельного значения SOH (обычно 70–80%).

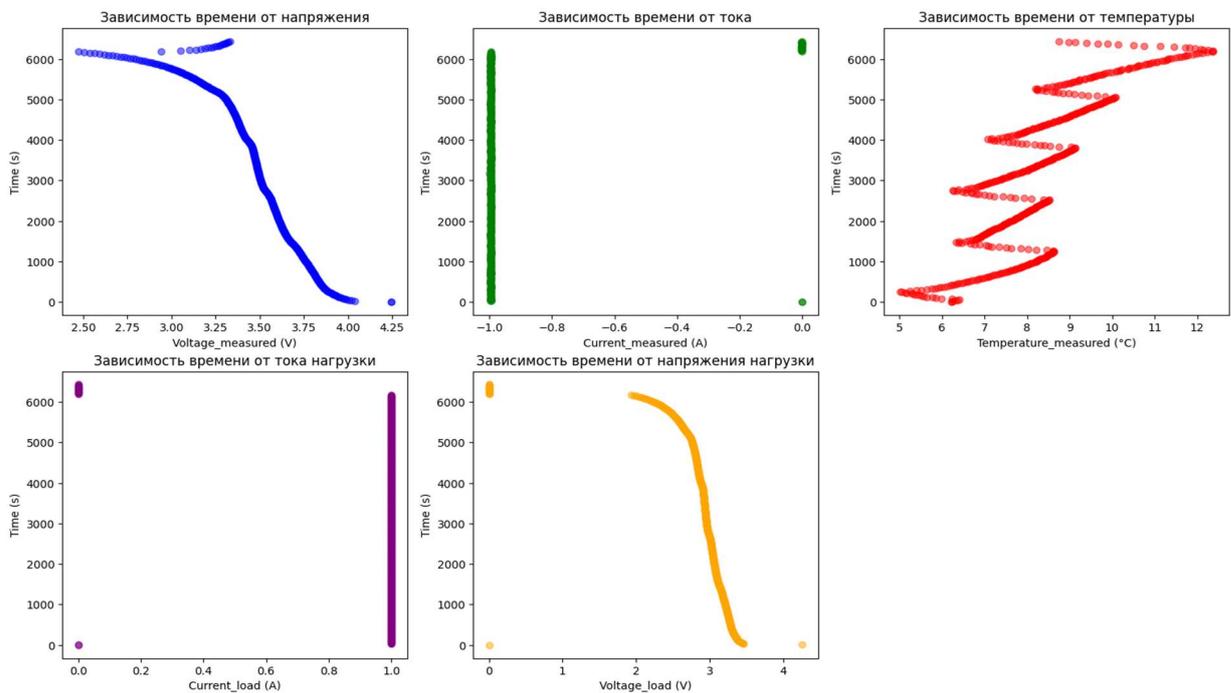


Рисунок 4 – графики деградации литий-ионной батарее

Также мы должны понимать, что, если напряжение под нагрузкой падает ниже минимального, то это ведёт к необратимой деградации. Иначе, если при зарядке будет превышение максимума, то это может вызвать перегрев и риск возгорания. В датасете NASA Battery Dataset ток нагрузки составлял 2 – 4 А, что подходит для режима нормальной эксплуатации.

**Список использованных источников:**

1. *Data Science. Наука о данных с нуля / Джоэл Грас // БХВ-Петербург, 2020. – С.413-416.*
2. *NASA Battery Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/patrickfleith/nasa-battery-dataset>*
3. *Battery-Aging-Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/Pratham-code-01/Battery-Aging-Analysis>*
4. *Архитектура платформы машинного обучения в продакшене [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/688406>*

## **PREDICTION OF LITHIUM-ION BATTERIES DEGRADATION BY MACHINE LEARNING**

Kuzmich P.V. student gr.478105, Lozhechka A.A. student gr.478101

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Savilova U.I. – Candidate of Technical Sciences, scientific supervisor*

This article discusses the role and life prediction of lithium-ion batteries. We will discuss how wide the scope of application of lithium-ion batteries is. We will consider a program that provides us with the life time of lithium-ion batteries from the input data we set. This article provides a clear explanation of the principles of ML engineer and their importance in modern information technology.

**Keywords.** Lithium-ion batteries, machine learning, algorithm, degradation, forecasting.