

## НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

А. В. ЕЛИЗАРОВА<sup>1</sup>, Г. А. САИТОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> elizarovaanastasia@gmail.com, <sup>2</sup> saitova@bk.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** Соблюдение режимов разряда и заряда литий-ионных аккумуляторов для предотвращения выхода из строя, возгорания батареи и предотвращения емкости является актуальной проблемой при построении систем контроля и управления. Состояние заряда аккумулятора зависит от многих параметров. Их кривые разряда и заряда представляют нелинейный процесс, зависящий как от собственных химических процессов аккумулятора, так и от параметров его эксплуатации. Собственными эффектами аккумулятора, вносящих нелинейность, являются эффекты саморазряда, деградации и др. Параметрами эксплуатации, от которых зависит кривая разряда, являются ток разряда, температура аккумулятора, количество циклов разряда, условия заряда и др. В статье рассматривается разработка нейросетевой модели для систем контроля и управления литий-ионных аккумуляторных батарей, на примере аккумуляторов и батарей, используемых для автономных необитаемых объектов.

**Ключевые слова:** литий-ионный аккумулятор; состояние заряда батареи; нейросетевая модель, интеллектуальные системы управления; методы прогнозирования.

### ВВЕДЕНИЕ

Аккумуляторные батареи имеют большое значение в современной жизни. Они широко применяются как источники питания в самых различных областях, например, для цифровой техники, гражданской/военной авиации, подводных лодок, устройств специального назначения, автономных объектов и т.д. Высокоэнергоемкие системы, к которым относятся литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) и батареи из них, являются системами повышенной пожароопасности. Для безопасной эксплуатации таких систем необходимо строго соблюдать режимы разряда и заряда батареи, для предотвращения необратимой деградации емкости, выхода из строя и даже возгорания батареи из-за неконтролируемого саморазогрева (теплового разгона).

Батарея состоит из углеродного анода и катода, из оксида металла, содержащего также Li (например,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ). Положительные ионы лития мигрируют между анодом и катодом через органический электролит. Литий никогда не возникает в свободном металлическом состоянии, а происходит только обмен его ионами между катодом и анодом (рис. 1).

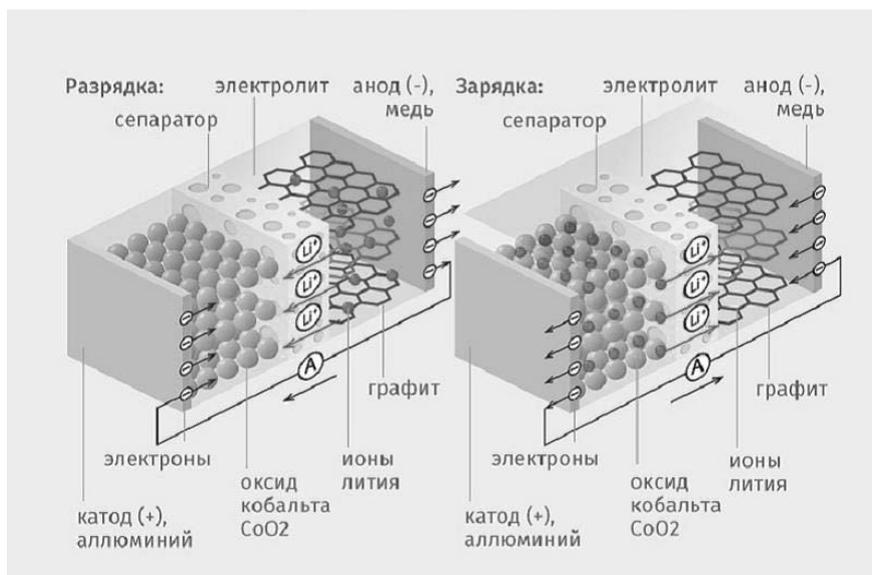


Рис. 1. Общая схема литий-ионного аккумулятора

Важнейшим параметром для конечного пользователя, будь то человек или автономная система, является текущая величина степени заряженности аккумулятора или батареи в текущий момент времени, учитывающая текущий режим эксплуатации, а также определение остаточной емкости прогноз времени, оставшегося до завершения текущего процесса [1,2].

Состояние заряда аккумулятора зависит от многих параметров. Их кривые разряда и заряда представляют нелинейный процесс, зависящий как от собственных химических процессов аккумулятора, так и от параметров его эксплуатации. Собственными эффектами аккумулятора, вносящих нелинейность, являются эффекты саморазряда, деградации и др. Параметрами эксплуатации, от которых зависит кривая разряда, являются ток разряда, температура аккумулятора, количество циклов разряда, условия заряда и др.

*Постановка задачи:* Важнейшим параметром для конечного пользователя является текущая величина степени заряженности аккумулятора или батареи в текущий момент времени, учитывающая текущий режим эксплуатации, а также определение остаточной емкости прогноз времени, оставшегося до завершения текущего процесса.

*Целью* данной работы является разработка нейросетевой модели для систем контроля и управления литий-ионных аккумуляторных батарей, на примере аккумуляторов и батарей, используемых для автономных необитаемых объектов.

### СУЩЕСТВУЮЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Для исследования возможности применения обобщенного эмпирического уравнения Шефферда-Хаскина-Даниленко для описания разрядных характеристик были смоделированы экспериментальные разрядные характеристики аккумулятора с помощью пакета Matlab. Построены разрядные характеристики при номинальном токе разряда 2А (0,4 Сн). Данные для расчетной характеристики были подобраны вручную для построения графиков функции. Данная модель не подходит для практического применения, так как это достаточно трудоемкая работа по времени и возникают трудности при поиске нужных коэффициентов, а также определения текущего импеданса аккумуляторов в процессе эксплуатации, в следствие чего метод является применимым только теоретически [3].

$$U = E - R * I - \left( \frac{D * q + K * q * I}{C - q} \right) + A * \left[ e^{-Bq} - 1 \right],$$

где E – ЭДС аккумулятора, В; R – внутреннее сопротивление аккумулятора, Ом; I – ток разряда,

$A$ ;  $C$  – емкость полностью заряженного аккумулятора,  $Aч$ ;  $q=I*\tau$  – емкость ( $Aч$ ), отданная аккумулятором за время разряда  $\tau(ч)$ ;  $A, B, K, D$  – эмпирические коэффициенты.

### РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ В MATLAB

Для нейросетевого моделирования состояния заряда литий-ионного аккумулятора необходимо импортировать данные испытаний для обучения нейронной сети, сгенерировать нейронную сеть, и обучить ее по этим данным.

Выбран способ создания и обучения нейронной сети с помощью программного кода на языке Matlab, так как это позволит:

- вводить данные из записанных заранее файлов;
- вводить данные в автоматическом режиме, без ручной настройки;
- автоматическое задание параметров нейронной сети, без ручной настройки;
- в программном коде наглядно представлены параметры нейронной сети.

Созданная нейронная сеть является персептроном, с обратной связью, с двумя скрытыми слоями по 20 и 10 нейронов соответственно. На входе и выходе нейронной сети задаются следующие параметры: время, ток ( $I, A$ ), напряжение ( $U, B$ ), емкость ( $C, \%$ ), так как эти параметры наиболее тесно взаимосвязаны. Экспериментальные данные взяты при нормальных климатических условиях (НКУ)  $25\pm 5$  °. Отображение нейронной сети представлено на рисунке 2.

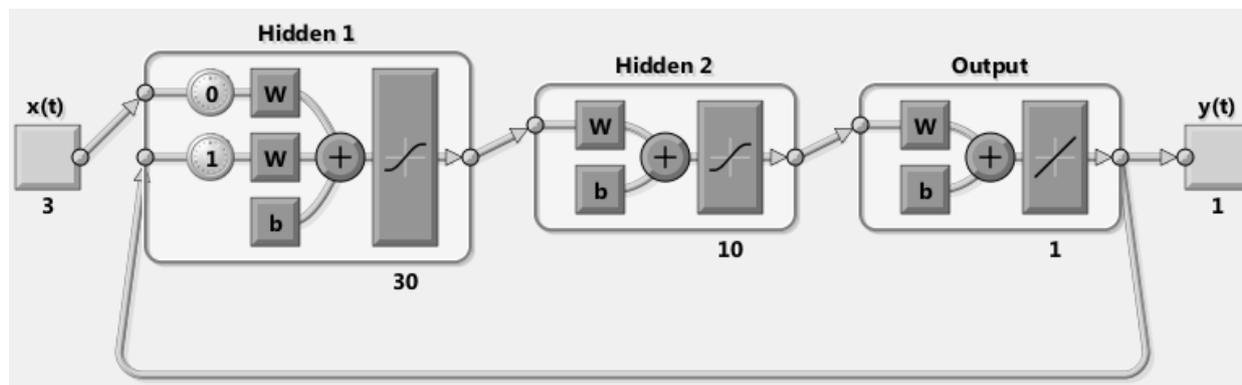


Рис. 2. Структура нейронной сети

Для того, чтобы нейронная сеть на первом слое могла определить влияние большого числа параметров, а на следующем попыталась обобщить их влияние, количество нейронов первого слоя будет 30, а на втором слое будет 10 нейронов.

Наличие обратных связей в нейронной сети определит ее способность анализировать свои предыдущие состояния.

Нейронная сеть должна обладать одной обратной связью, охватывающей всю нейронную сеть по всем параметрам аккумулятора. С помощью этого мы попытаемся показать нейронной сети что изменение параметров происходит с ограниченной скоростью, а следующее значение параметров аккумуляторной батареи зависит не только от текущих значений, но и от значений предыдущего состояния [4].

Данная нейронная сеть обучается очень быстро, за 1000 циклов (эпох) ошибка обучения снижется до 0,00599. Изменение ошибки представлено на рисунке 3.

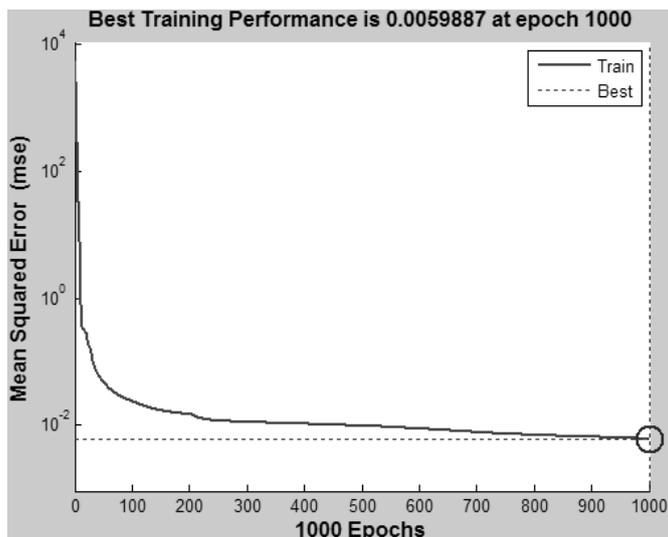


Рис. 3. Процесс уменьшения ошибки в ходе обучения нейронной сети

Для анализа работы нейронной сети с новыми данными построены графики исходных данных и данных нейронной сети по напряжению и емкости. Графики представлены на рисунках 4, 5.

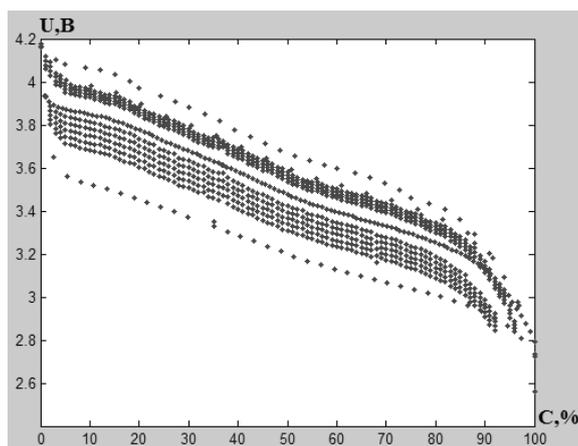


Рис. 4. Исходные данные

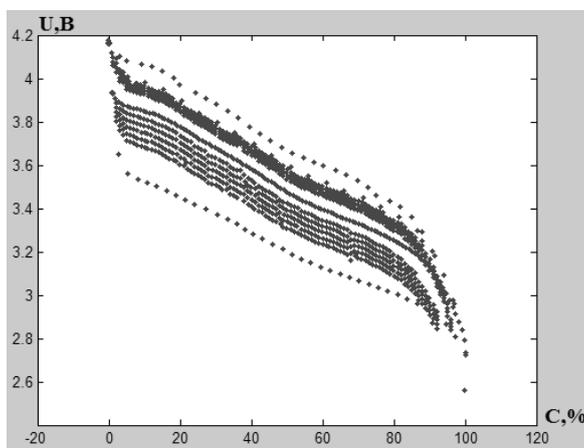


Рис. 5. Данные, полученные от нейронной сети

Далее проведено обучение нейронной сети на тестовой выборке. Результат моделирования показан на рисунке 6.

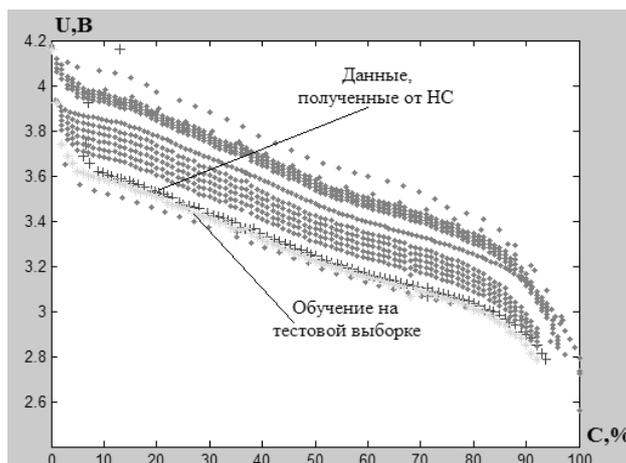


Рис. 6. Проверка качества работы нейронной сети на тестовой выборке

Как видно из переходных процессов моделирования, качество модели очень высокое. Для улучшения достоверности модели необходимо дополнительно обработать данные для обучения, а также, возможно модифицировать структуру нейронной сети.

#### ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведем проверку соответствия результатов, полученных от нейросетевой модели с данными, полученными экспериментальным путем.

Ранее была создана математическая модель и база данных, чтобы можно было определить значение состояния заряда аккумулятора (SOC, %) с шагом в 1% в зависимости от изменения  $I$ ,  $U$ ,  $T$ . Входящими данными являются измеренные в момент времени  $t$  напряжение аккумулятора, ток в цепи, температура окружающей среды и/или аккумулятора. На слайде показаны мат модель.

Для получения данных о состоянии заряда аккумулятора в командную строку среды Matlab введен код с входными значениями  $I$ ,  $U$ ,  $t$ , на выходе получаем  $C$  (%).

```
>> x_test = [2.3; 3.95; 0.25]; Y_test = sim(net,x_test)
Y_test = 11.4195.
```

	J	K	L	M	N
	testing				4,875
	I	U	tau	C,%	C
	2,3	4,1637	0	0	0
	2,3	4,1196	0,021196	1	0,04875
	2,3	4,0898	0,042391	2	0,0975
	2,3	4,0387	0,063587	3	0,14625
	2,3	4,0309	0,084783	4	0,195
	2,3	3,9925	0,00106	5	0,002438
	2,3	3,9867	0,001272	6	0,002925
	2,3	3,9773	0,001484	7	0,003413
	2,3	3,9746	0,006783	8	0,0156
	2,3	3,9715	0,00763	9	0,01755
	2,3	3,9666	0,008478	10	0,0195
	2,3	3,9571	0,233152	11	0,53625
	2,3	3,9477	0,254348	12	0,585
	2,3	3,9413	0,275543	13	0,63375

Рис. 7. Данные, полученные экспериментальным путем

Результаты данных, полученных экспериментальным путем показаны на рисунке 8.

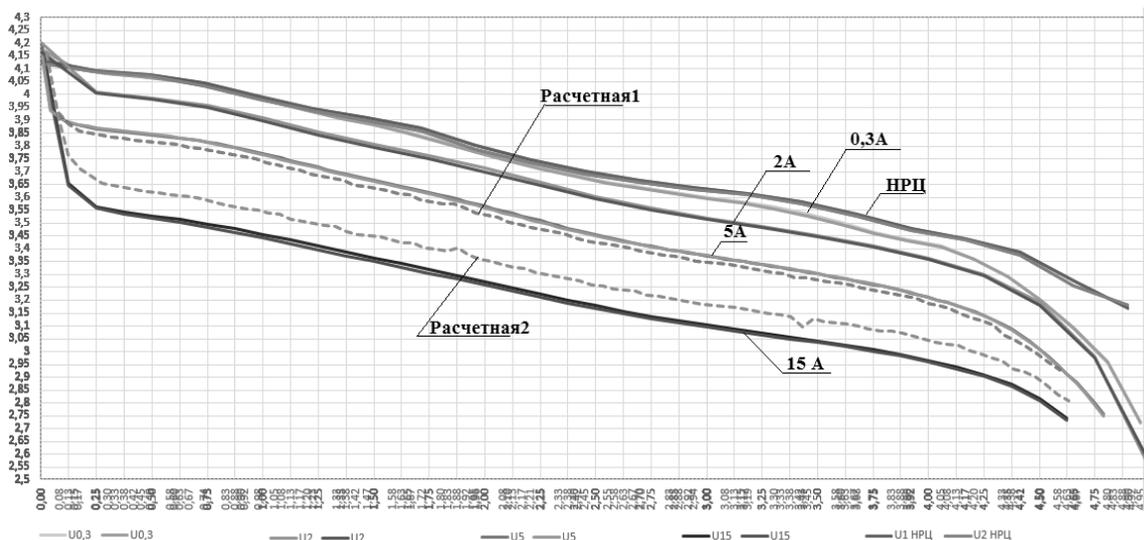


Рис. 8. Кривые разряда аккумулятора при токах 0,3А, 2А, 5А, 15А и кривая зависимости НРЦ от SOC

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно сказать, что разработанная нейросетевая модель способна достаточно точно спрогнозировать состояние заряда аккумулятора по входным данным.

Наиболее точным образом нейронная сеть прогнозирует номинальную зону кривой разряда. Корреляция на экспоненциальных участках требует большего уточнения по отношению к номинальному, но в общем случае может считаться достаточной для достоверного прогнозирования состояния заряда аккумулятора.

Одним из способов такого уточнения, может быть, использование большего количества входных параметров, описывающих состояние аккумулятора, например, включение в обучающую выборку количество циклов перезаряда.

Таким образом, полученная нейросетевая модель способна полностью заменить математическую модель аккумуляторной батареи, или дополнить ее, например, в диагностике. Применение такой нейросетевой модели ускорит процесс составления моделей для проведения полунатурных экспериментов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисевич А.В.** Моделирование литий-ионных аккумуляторов для систем управления батареями: обзор текущего состояния // Современная техника и технологии. 2014. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <https://technology.snauka.ru/2014/05/3542> (дата обращения: 29.03.2021).
2. **Головко В.А.** От многослойных перцептронов к нейронным сетям глубокого доверия: парадигмы обучения и применение. В сб.: Нейроинформатика-2015. XVII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. Лекции по нейроинформатике. – НИЯУ МИФИ, 2015. – 84 с.
3. **Tang X. et al.** Li-ion battery parameter estimation for state of charge // American Control Conference (ACC), 2011. – IEEE, 2011. – С. 941-946.
4. **Сайтова Г.А., Елизарова А.В.** Нейросетевая модель для оценки состояния заряженности литий-ионного аккумулятора // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2021) [Электронный ресурс]: труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. – Электрон. текстовые и граф. дан.– Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2021. – С. 288-293.

### ОБ АВТОРАХ

**ЕЛИЗАРОВА Анастасия Валерьевна**, асп. каф. ТК.

**САИТОВА Гузель Асхатовна**, к.т.н., доцент. каф. ТК.

### METADATA

**Title:** Neural network model of a lithium-ion battery.

**Authors:** A. V. Elizarova <sup>1</sup>, G. A. Saitova <sup>2</sup>

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (USATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup> elizarovaanastasia@gmail.com, <sup>2</sup> saitova@bk.ru,

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (25), pp. 29-35, 2021. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** Compliance with the discharge and charge modes of lithium-ion batteries to prevent failure, battery ignition and capacity prevention is an urgent problem in the construction of monitoring and control systems. The state of charge of the battery depends on many parameters. Their discharge and charge curves represent a nonlinear process that depends both on the battery's own chemical processes and on the parameters of its operation. The battery's own effects, which introduce nonlinearity, are the effects of self-discharge, degradation, etc. The operating parameters on which the discharge curve depends are the discharge current, battery temperature, number of discharge cycles, charge conditions, etc. The article discusses the development of a neural network model for monitoring and control systems of lithium-ion batteries, using the example of batteries and batteries used for autonomous uninhabited objects.

**Key words:** lithium-ion battery; battery charge status; neural network model, intelligent control systems; forecasting methods.

**About authors:**

**ELIZAROVA, Anastasiia Valerevna**, postgraduate student of the Department of Technical Cybernetics.

**SAITOVA, Guzel Ashatovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Cybernetics.