



Семинар "Проблемы обеспечения устойчивого и эффективного энергоснабжения изолированных и удаленных территорий РФ"



УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Оценка состояния заряда литий- ионных аккумуляторов

Докладчик: Шамарова Наталия Андреевна

Организация: Иркутский национальный исследовательский
технический университет

Контактная информация: email: k15@istu.edu

т. 8(908)-641-1356

Москва, 2020



Содержание



- Актуальность
- Методы оценки заряда
- Тестовые испытания
- Расчет параметров батареи
- Выводы



Актуальность



Горная промышленность



Космическая отрасль



Бытовая электроника



Силовые инверторы



Электромобили



Системы накопления энергии



Литий-ионные батареи



Оборонная / военная отрасль



Подводные лодки



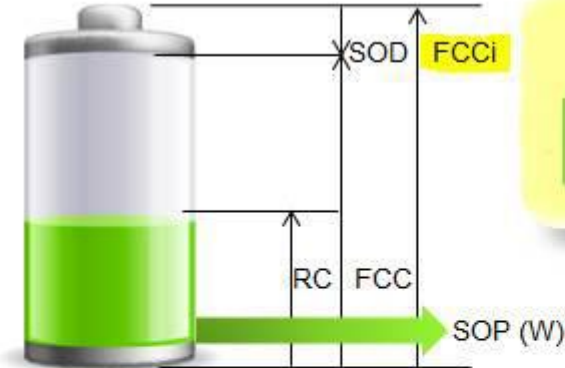
Телебашня



Солнечное и ветровое накопление энергии



Ж/д транспорт



FCCi : начальная емкость [Ач]
 FCC : емкость полного заряда [Ач]
 RC : оставшаяся емкость [Ач]
 SOP : оставшаяся мощность [Ач]
 SOD : состояние повреждения = 1-SOH
 SOC : состояние заряда = RC/FCC
 SOH : состояние здоровья = FCC/FCCi





Методы и модели оценки заряда



Адаптивные системы

Book-keeping

- **OCV** (Метод разомкнутой цепи)
- **CC** (Кулоновский подсчет или метод ампер-часов)

Модели на основе эквивалентных электрических схем

- Ринт
- Тевенина
- **PNGV** (Партнерство для нового поколения транспортных средств)
- **DP** (двойная поляризация)
- nRC
- Runtime model

Адаптивные фильтры

- **RLS** (Рекурсивная оценка на основе наименьших квадратов)
- **KF** (Калман фильтр)
- **HF** (H-оценка на основе бесконечности)

Машинное обучение

- **NN** (Нейронная сеть)
- **GA** (Генетический алгоритм)
- **SVM** (Метод опорных векторов)
- **ELM** (Экстремальное обучение)
- **FL** (Нечеткая логика)
- **PSO** (Метод роя частиц)



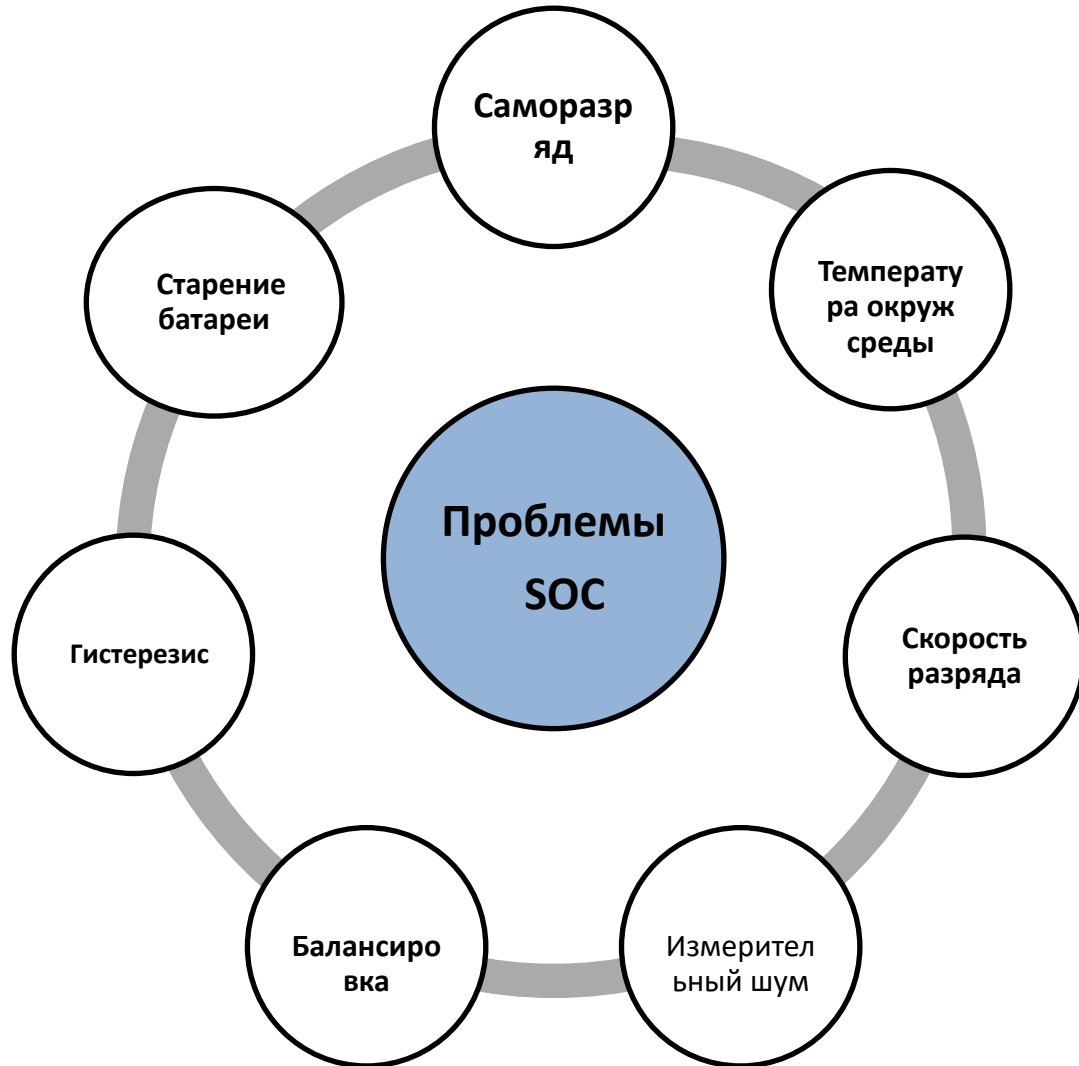
Сравнение моделей



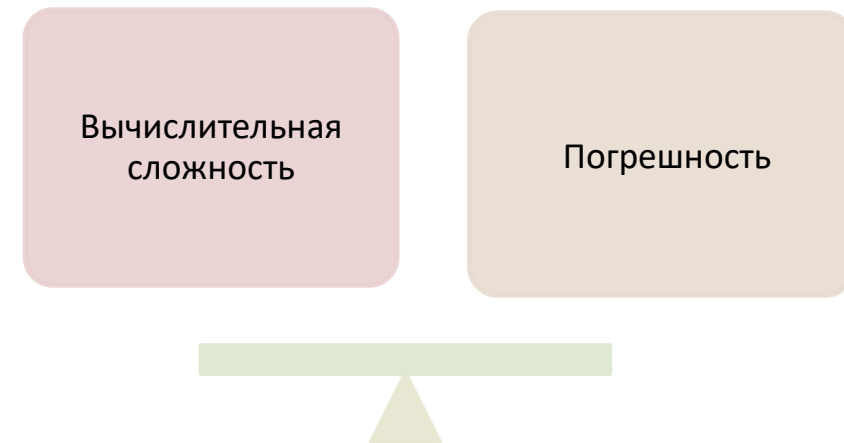
Год публикации	Модель батареи	Алгоритмы	Тест батареи	Условия	Ошибка (%) MAE
2019	1RC	-	LMO-LNO/Graphite	NEDC	3.54
2014	2RC	Adaptive-IEKF	LiFePO4	NEDC	1.1
2018	PNGV	I-UKF	Li-Ion	DST	1.5
2018	2RC	STHF	Li-Ion	NEDC	0.008
2017	-	RBFNN	Lithium battery	UDDS	0.0867
2019	-	BPNN-GS	LiNiMnCoO ₂	BJDST	0.72
2019	-	ELM-GSA	LiNiMnCoO ₂	BJDST	0.48
2015	-	Fuzzy-LSSVM	LiFePO4	Real driving cycle	0.5
2017	-	PSO-RBFNN	Lithium battery	UDDS	0.0036



Проблемы точности оценки заряда



Модель оценки SOC это компромисс между:





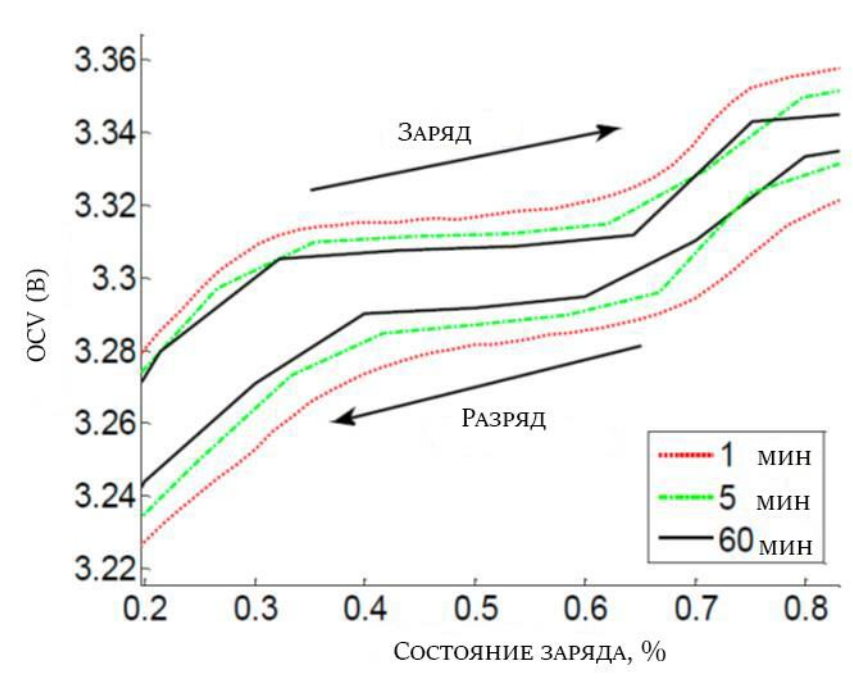
Метод ампер- часов и метод разомкнутой цепи (OCV)



Метод ампер-часов

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \frac{\eta_i}{Q} \int_{t_0}^t i(t) dt$$

Метод OCV



Отношение напряжения разомкнутой цепи к заряду для LiFePO4



Тест



Характеристика батареи

Тип батареи	LiFePO4
Модель	LFP100ANA
Вес	3,6 кг
Номинальная емкость	100 Ач
Максимальный ток заряда	300 А (3С)
Максимальный ток разряда	300 А (3С)
Оптимальный ток заряда	50 А (0,5С)
Оптимальный ток разряда	50 А (0,5С)
Номинальное напряжение	3,2 В
Максимальное напряжение	3,6 В
Минимальное напряжение	2,8 В



Внешний вид установки



Измерение оставшейся емкости

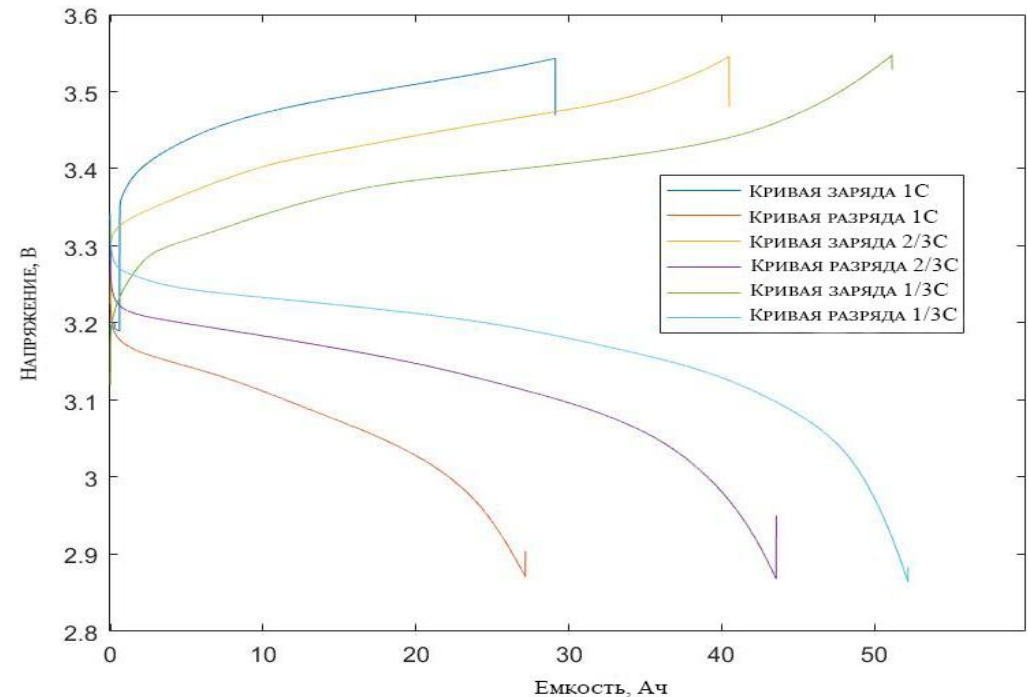
Ток (А)	Емкость-заряда(Ач)	Емкость-разряда (Ач)	Среднее
1С	29,11	27,15	28,13
2/3С	40,48	43,56	42,02
1/3С	51,14	52,18	51,66 (макс)

Кулоновская эффективность

$$\eta_{Ah} = \frac{Q_{discharge}}{Q_{charge}} = 0,93$$

Техническое состояние

$$SOH = 100 \times \frac{C_{measured}}{C_{initial}} = 51.66 \%$$



Результаты статического емкостного теста



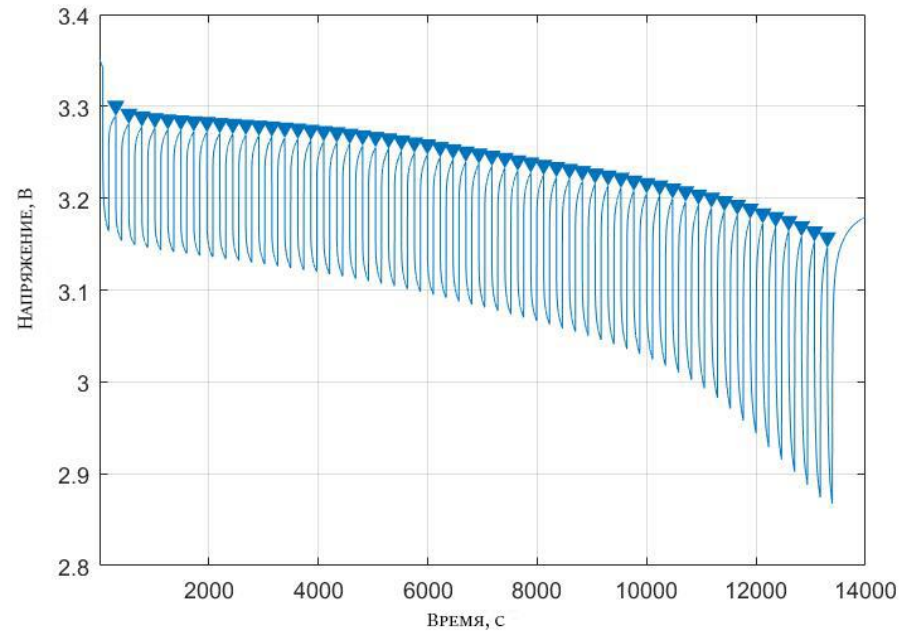
Тест OCV



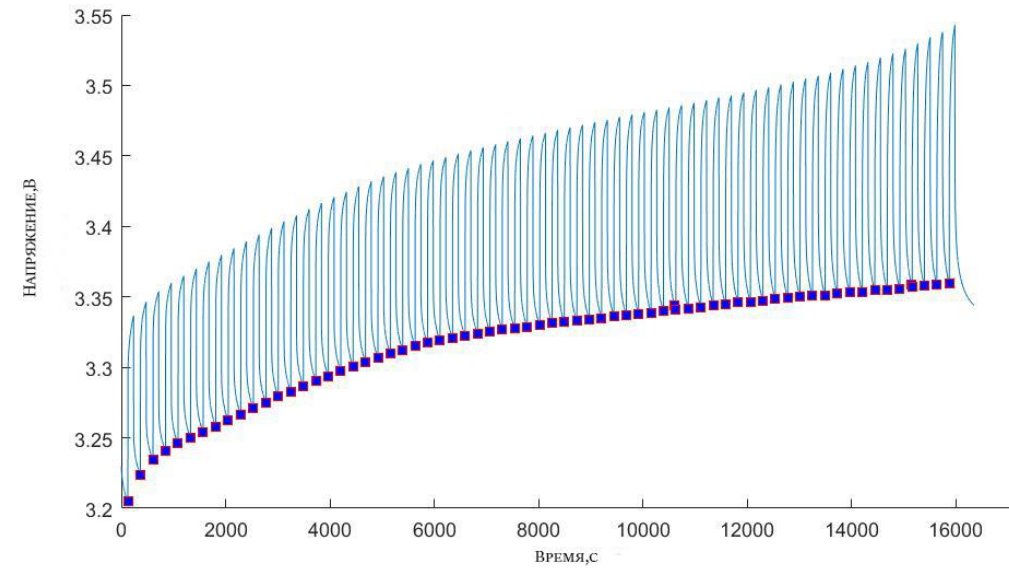
Время импульса	Ток
----------------	-----

25 с	100 А
------	-------

30 с	0 А
------	-----



OCV- тест разряда



OCV-тест заряда

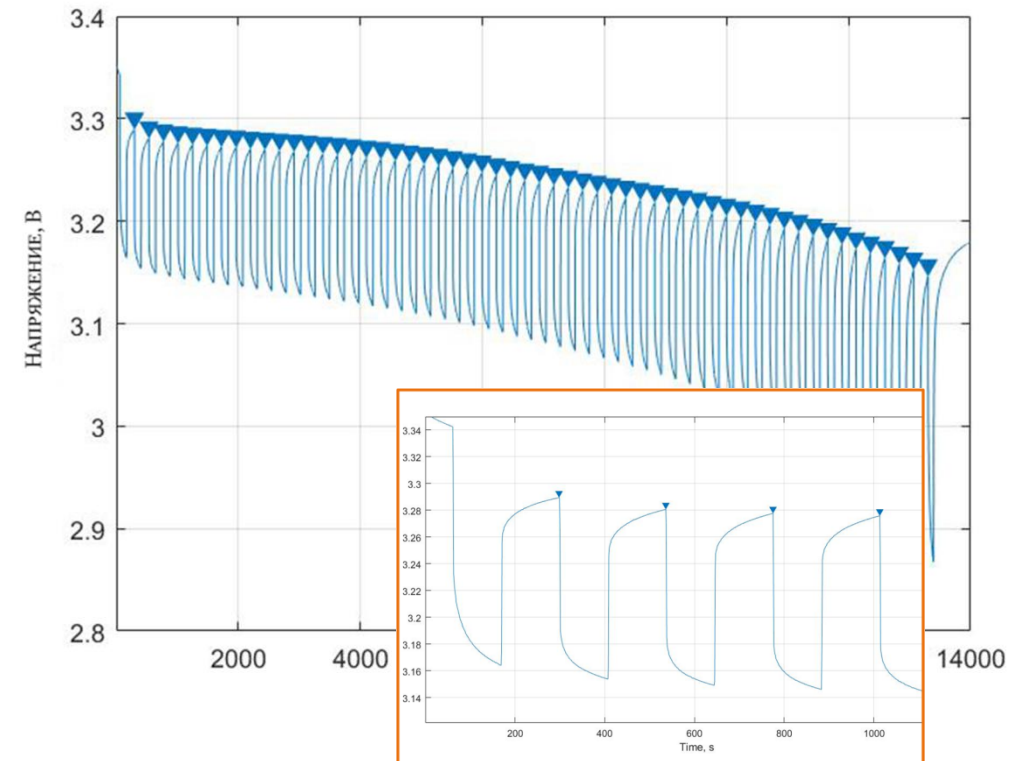


Расчет параметров батареи



Параметры батареи при различных SOC

SOC (%)	OCV(V)	R0(Ом)	R1(Ом)	C1(Ф)	τ (с)
95.62	3.2894	0.00102	0.00033	63636	21
92.8	3.2806	0.001016	0.0003	70000	21
91.15	3.2776	0.005996	0.00032	66250	21.2
89.96	3.2758	0.000988	0.00033	64242	21.2
89	3.2744	0.001004	0.00032	64224	21.2
.
78.1	3.2616	0.001076	0.00039	54324	21.2
76.99	3.2604	0.001084	0.0004	53496	21.4
75.89	3.2587	0.001057	0.00043	48996	21.2
.
51.46	3.2225	0.001085	0.00056	37800	21.2
49.6	3.2205	0.001095	0.00056	38196	21.4
48.15	3.2182	0.001082	0.0006	35316	21.2
.
7.59	3.1582	0.001612	0.00109	18324	20
5.81	3.1525	0.001575	0.00121	16200	20
4.36	3.146	0.001445	0.0014	11412	16



OCV-тест разряда

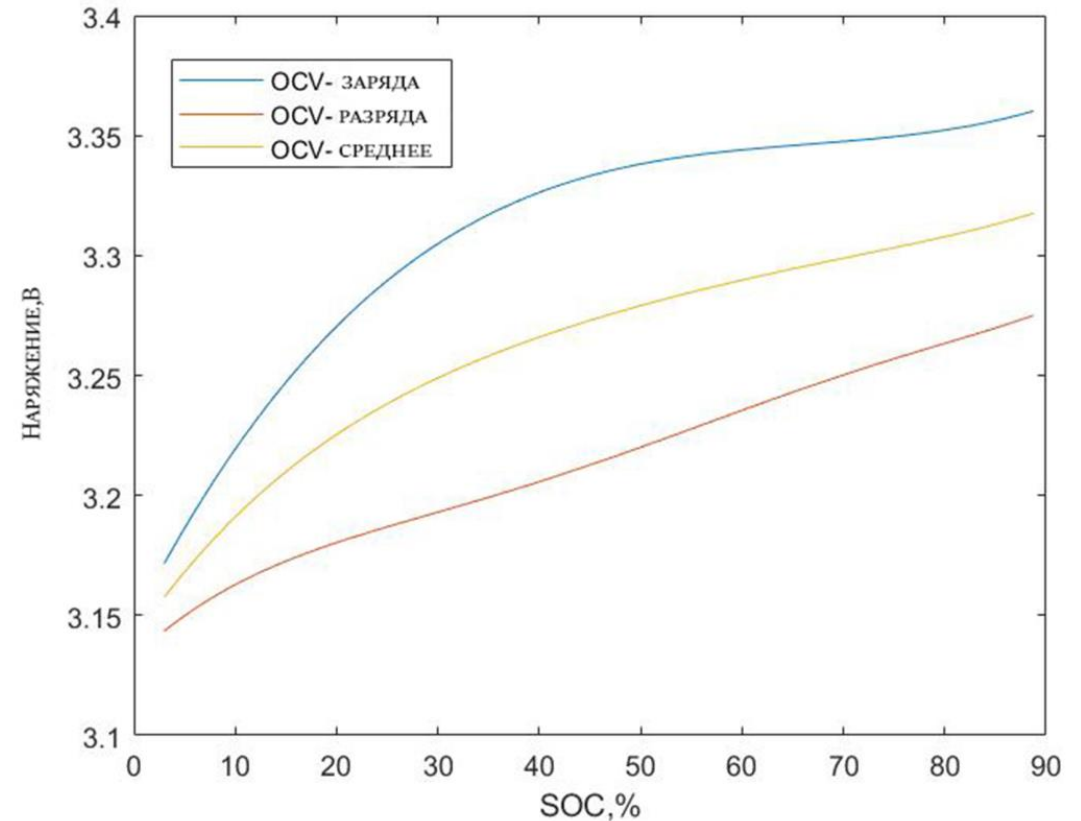


Отношение OCV-SOC



Кривая OCV-SOC может быть хорошо построена полиномом шестого порядка.

$$OCV(x) = p_6x^6 + p_5x^5 + p_4x^4 + p_3x^3 + p_2x^2 + p_1x + p_0$$



Отношение OCV-SOC



Внутренние сопротивление

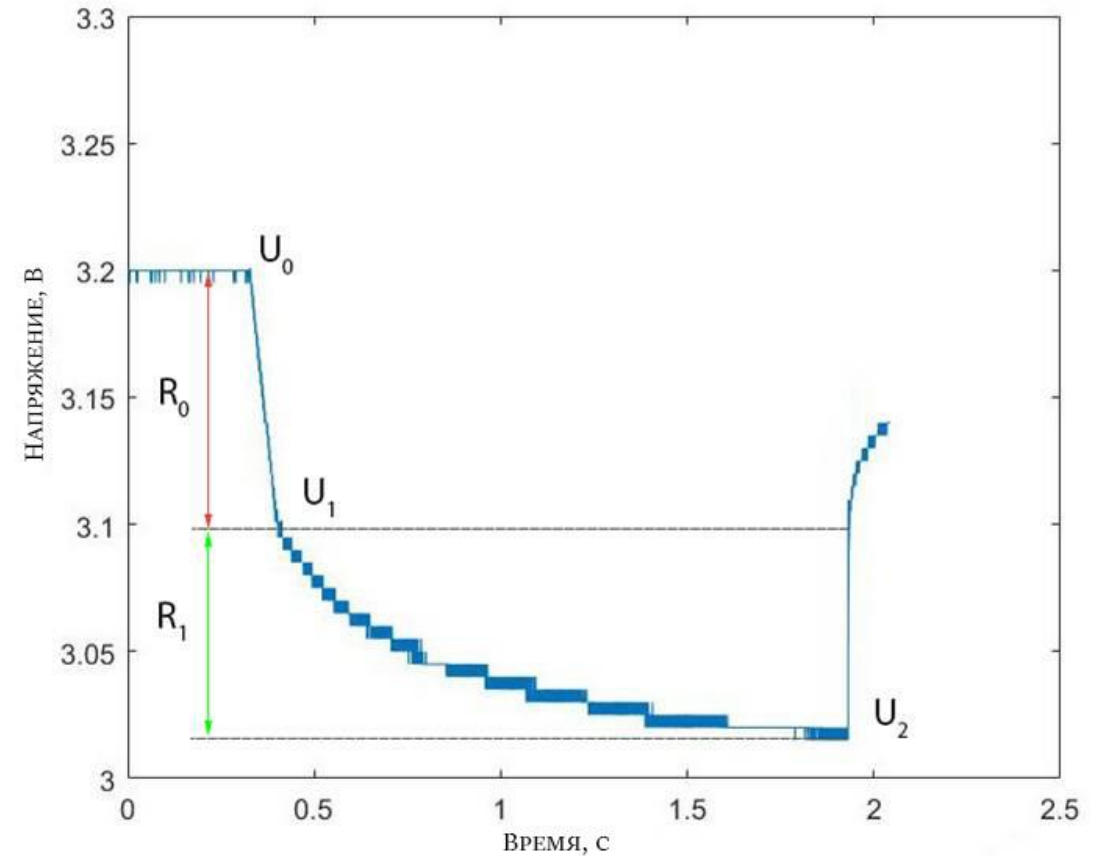


$$R_0 = \frac{U_0 - U_1}{I}$$

$$R_1 = \frac{U_1 - U_2}{I}$$

$$\tau = R_1 C_1$$

R0(Ом)	R1(Ом)	C1(Ф)	τ (с)
0,011	0,0007	2158	1,5111



Результат теста внутреннего сопротивления



Выводы

- Точность метода оценки **ампер-часов** зависит от правильно установленной величины остаточной емкости, с увеличением срока службы, она значительно уменьшается. Несвоевременная калибровка может привести к ошибке определения заряда и как следствие, к необратимому повреждению батареи.
- Для точной оценки методом **напряжения разомкнутой цепи** необходимо учитывать эффект гистерезиса. Для повышения точности требуется использование хороших датчиков измерения напряжения и длительное время релаксации.



Оценка состояния заряда литий-ионных аккумуляторов

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Докладчик: Шамарова Наталия Андреевна

Организация: Иркутский национальный
исследовательский технический университет

Контактная информация: email: k15@istu.edu

т. 8(908)-641-1356

Москва, 2020