



**БУСТЕР**

**СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ И ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА  
СОСТОЯНИЯ СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
РАЗРЯДНОГО ПРОЦЕССА**

(РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ)

2024 г.

## **БАТАРЕИ АВАРИЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ:**

- **Предотвращение отключения электротехнического оборудования (ЭТО) при обесточивании первичной системы электроснабжения.**
- **Обеспечение работоспособности оборудования до восстановления первичной системы электроснабжения.**

**Параметры режима разряда АКБ  
при обесточивании объекта задаются  
Разработчиком Объекта  
и отличаются от стандартных режимов  
разряда.**

## МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АКБ:

Системы мониторинга используют исключительно **экспериментально–аналитические методы неразрушающего контроля.**

**Различные системы в различной степени обеспечивают задачу безопасной эксплуатации АКБ без вывода батареи из эксплуатации.**

### Ключевые отличия Систем:

#### **Модель процесса:**

Т.е. представление объекта, процесса или явления в какой-либо форме (в математической, физической, символической, графической, дескриптивной и т.п.), предназначенное для рассмотрения определённых аспектов изучаемого объекта и позволяющее получить ответы на изучаемые вопросы.

#### **Интерпретатор измеренных параметров**

в терминах технического состояния для экспертной оценки и принятия решения о состоянии объекта и дальнейшем управлении, т.е. совокупность технических средств и программ обработки, которые выполняют интерпретацию результатов измерений в соответствии с принятой Моделью.

## ПРЕДИКТИВНЫЙ АНАЛИЗ АКБ

*(Совокупность методов анализа статистической базы данных с их интерпретацией для **определения и прогнозирования** работоспособности АКБ в режиме разряда при обесточивании оборудования Объекта)*

### Модель разрядной характеристики АКБ

построена на физико-математической зависимости числа активных атомов на поверхности электрода энергия которых равна или более энергии активации ( $Q[\text{Кл}] = f(j; \varphi; \eta)$ ) от:

- плотности тока обмена ( $j$ ,  $\text{A}/\text{cm}^2$ ) на поверхности электрода в равновесном состоянии электрохимической системы (покое или режиме постоянного заряда при постоянном напряжении);
- равновесного потенциала ( $\varphi$ , В) на поверхности раздела электрод – электролит;
- величины перенапряжения ( $\eta$ , В), отклика на выводах батареи на тестовый сигнал разряда постоянным током (уравнение Батлера-Фольмера).

### Интерпретатор

компьютерная программа «Система оперативной диагностики и мониторинга эксплуатационных параметров свинцовых АКБ».

## СИСТЕМА ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА НА БАЗЕ МЕТОДА ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИВАТЬ:

- а) **мониторинг** параметров АКБ с целью получения совокупности измеренных значений контролируемых параметров на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние АКБ существенно не изменяется.
- б) **оценку технического состояния** АКБ по критериям нахождения контролируемых параметров в заданных границах;
- в) **определение и прогнозирование** момента перехода аккумулятора или батареи в предкритическое и предельное (критическое) состояние.
- г) **информирование** оперативного персонала для экспертной оценки и принятия решения о состоянии батареи и возможности её дальнейшей эксплуатации.

## РАСЧЁТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ БАТАРЕИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

### **для номинального режима разряда –**

*из числа активных атомов на поверхности электрода численным методом путём моделирования разрядного процесса АКБ по параметрам,*

### **заданным изготовителем батарей;**

### **для аварийного режима разряда –**

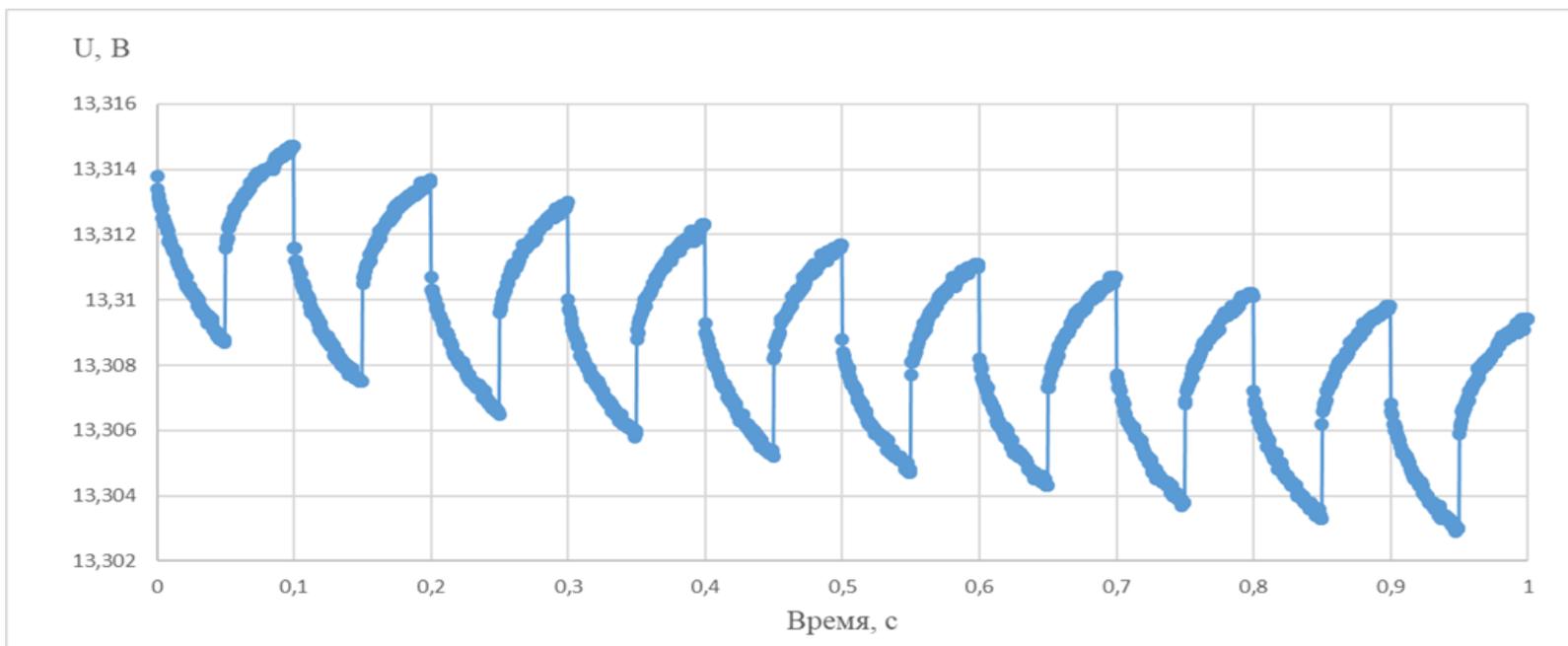
*из числа активных атомов на поверхности электрода численным методом путём моделирования аварийного разряда АКБ по параметрам,*

### **заданным разработчиком объекта.**

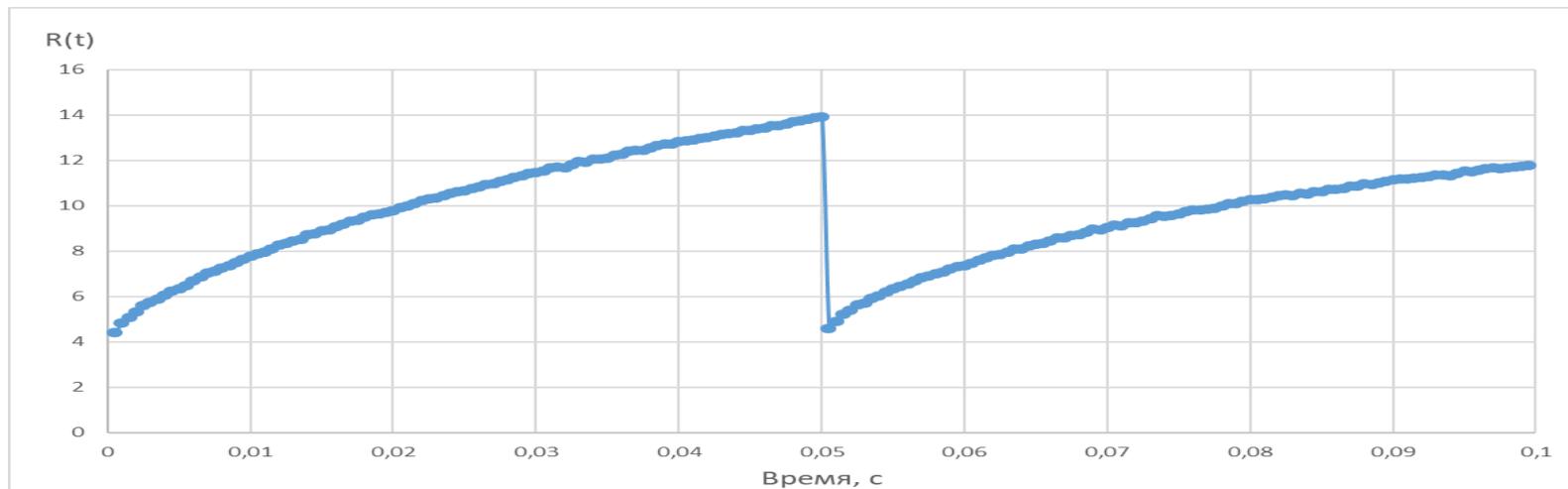
**Толчковый ток** – разряд фиксированной амплитудой постоянного тока в заданном интервале времени (1-3 с) и диапазона напряжения;

**Продолжительность разряда** – разряд от 30 мин до 3-х часов при заданной амплитуде постоянного тока разряда в заданном диапазоне напряжения.

**ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ АКБ ПРОВОДИТСЯ  
ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ.**



Изменение напряжения на выводах АКБ 6СТ55 на тестовый сигнал Системы

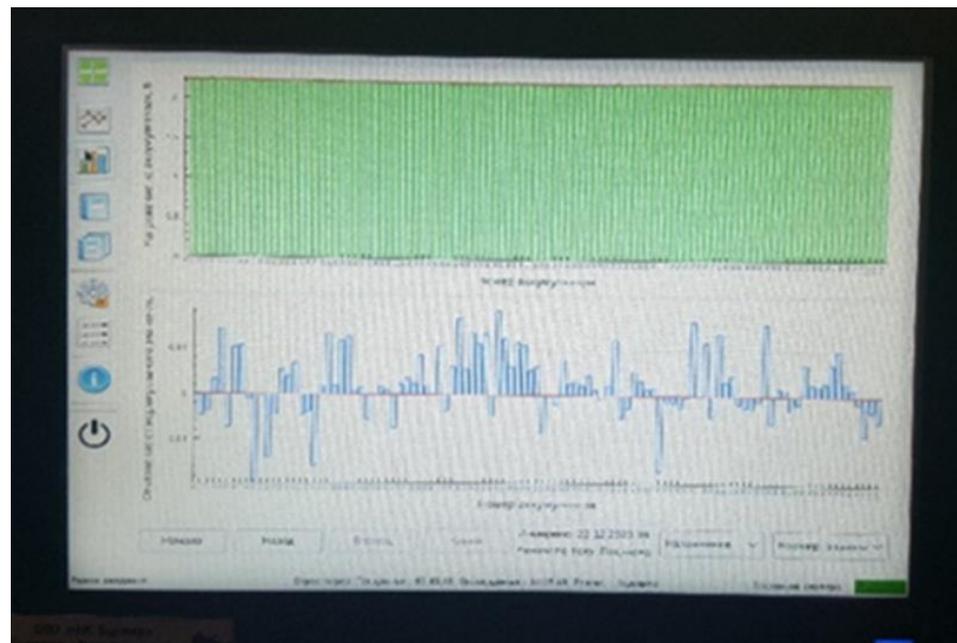


Изменение сопротивления аккумулятора на тестовый сигнал

Таблица 1. Результаты расчёта

R(t)				
Время	0,0005 с	0,05 с	0,0505 с	0,1 с
R <sub>изм</sub>	4,41 мОм	13,9 мОм	4,59 мОм	11,84 мОм

## СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



## ОСОБЕННОСТИ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ:

### - значение напряжения заряда

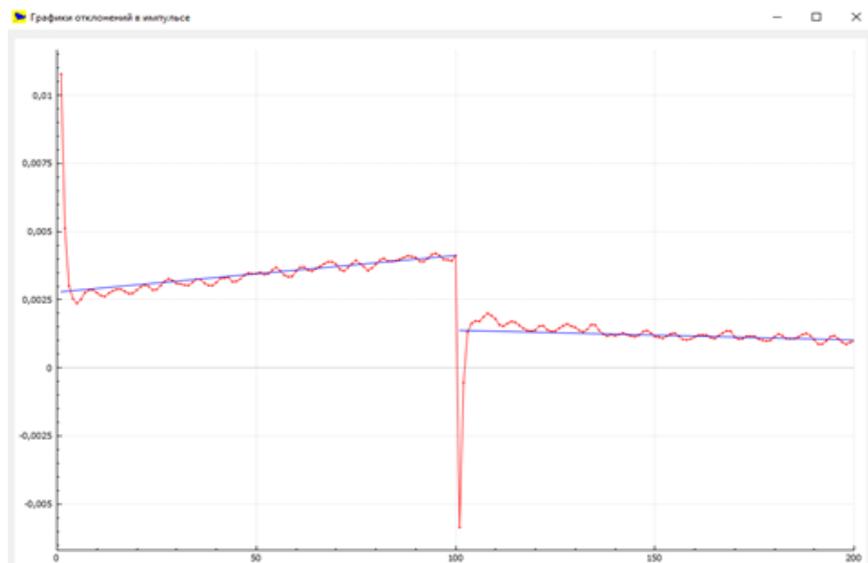
при постоянном напряжении ( $2,23 \pm 1 \%$ ) В или ( $2,25 \pm 1 \%$ ) В;

### - уровень нестабильности напряжения

в режиме непрерывного заряда при постоянном напряжении;

### - уровень электрических помех

зарядного Щита.



Изменение напряжения на выводах аккумулятора как функция отклика

<b>Параметры Модели</b> $Q_{\text{дос.}} = 9159559 \text{ Кл}$ $\eta_{\text{max}} = 0,0042 \text{ В}$ $I_0 = 13,3 \text{ А}$ $\Delta\varphi = (-) 0,396 \text{ В}$	<b>Номинальные</b> $T_{\text{изм}} = 24,625 \text{ }^\circ\text{C}$ $U_{\text{изм}} = 2,227 \text{ В}$ $C_{\text{раз}} = 1079,32 \text{ Ач}$ $R_{\text{изм}} = 0,2250 \text{ мОм}$
<b>Параметры аварийного режима разряда</b> $I_{\text{Тол.}}^{\text{AP}} = 1956 \text{ А}$ <b>Условия, <math>I_{\text{Тол.}} = 1000 \text{ А}</math>, при</b> $t_{\text{раз}} = 3 \text{ с}$ , $U_{\text{к}} = 1,70 \text{ В}$ $t_{\text{раз}}^{\text{AP}} = 42 \text{ мин}$ <b>Условия <math>t_{\text{раз}}^{\text{AP}} = 30 \text{ мин}</math> при:</b> $I_{\text{р}} = 578 \text{ А}$ , $U_{\text{к}} = 1,75 \text{ В}$	

25 марта 2024

Международная специализированная выставка «Автономные источники тока»

Программа калибровки v1.25.0 (EdaCore v1.13.0)

Файл ЭДА Расчет Протоколы Информация



- [ ] X

### Параметры АКБ

Назначение: Стационарный

$\rho$ , г/см<sup>3</sup>: 1.24 Н.у. применения

Тип АКБ: Vb2407 № АКБ: 12

U<sub>н</sub>, В: 2 C<sub>н</sub>, Ач: 700

D<sub>н</sub>, %: 100 R<sub>ен</sub> по ТУ, мОМ: 0.24

I<sub>p</sub>(ном.), А: 70 I<sub>p</sub>(AP), А: 577.57

U<sub>кон</sub>(AP), В: 1.75

### Обработка лога

Разброс: 100 Точка лога: 50

### Калибровка

Точка R разряд: 100 Точка R пауза: 3

Значение R: 0.287

### Расчетные коэффициенты

Зав номер: 300.004.1020.0001

$\alpha$ : 0.5  $\Delta R$  (провода), МОМ: 0

K<sub>v</sub>: 2.45 K<sub>R</sub> коррозии: 0

K<sub>p</sub> (НРЦ): 0.84  $\Delta R$  коррозии, мОМ: 0

K<sub>ду</sub>: 0.23 n<sub>R</sub>: 1.9

K<sub>p</sub> (плотн подзар): 0 a<sub>1</sub>: 0.179

K<sub>r2</sub>: 0.065 Толщина АМ: 0.16

### Конечное напряжение

U<sub>кз</sub>: 1.7 t: 5

U<sub>хп</sub>: 1.2 t: 30

### Зависящие от типа

	Стартер	AGM	GEL	Стац
k тип АКБ	0.07	0.021	0.053	0.34
k поляриз	0.88	0.222	0.83	0.58
kс ресурс	0.4	0.4	0.4	0.8
k <sub>г</sub> глуб.раз.	2.5	2.5	2.5	2.5
K <sub>п</sub> t	1	1	1	1
C <sub>н</sub> норм, Ач	70	70	70	70
K <sub>пред</sub>	1	1	1	1
K <sub>R</sub>	1	1	1	1
$\theta$	0.6	0.6	0.6	0.6
P <sub>о</sub>	0.5	0.5	0.5	0.5
a $\Delta U$	-0.28	-0.28	-0.28	-0.28
b $\Delta U$	2.4	2.4	2.4	2.4
K <sub>констр</sub>	0.00028	0.00028	0.00028	0.00028
K <sub>п</sub>	5	0.7	4.5	1
K <sub>элх</sub>	1	1	1	1
K <sub>диф</sub> C <sub>разр</sub>	1	1	1	1
K <sub>глар</sub>	0.85	0.85	0.85	0.85
K <sub>элх</sub>	1	1	1	1
K <sub>диф</sub> C <sub>ар</sub>	1	1	1	1
K <sub>глар</sub>	1	1	1	0.85
K <sub>элх</sub>	1	0.75	1	1
K <sub>диф</sub> ХП	1	1	1	1
K <sub>глар</sub>	0.7	1	0.7	1
K <sub>элх</sub>	1	1	1	1
K <sub>диф</sub> КЗ	1	1	1	1
K <sub>глар</sub>	1	1	1	1

### Параметры из лога теста

Параметры АКБ		Параметры теста	
U, В	2.22702	Частота имп, Гц	10
T <sub>акб</sub> , °C	24.625	Кол-во импульсов	10
T <sub>средн</sub> , °C	nan	Кол-во отсчётов	100
I ч/з АКБ, А	0.768873	I импульса, А	9.7773
		Валидные логи	10

### Результаты расчетов

НРЦ, В	2.227	SOC, %	100
при T <sub>изм</sub> , °C		при T <sub>прив</sub> , °C	
Q <sub>дост</sub> , Ач	983.80		957.24
C <sub>разр</sub> , Ач	981.05		954.56
C <sub>ар</sub> , Ач	404.62	Время разряда (мин)	42
C <sub>рез</sub> , Ач	---		3404
R <sub>омг</sub> , мОМ	0.225		1380.27
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1.237		0.217
I <sub>ср</sub> , А	1956	I <sub>пр</sub> , А	1.240
I <sub>кз</sub> пик, А	1956	I <sub>хп</sub> (EN), А	8372
T <sub>зан</sub> , °C	-40.9	I <sub>хп</sub> (SAE / CCA), А	4878
D <sub>н</sub> (C), %	100	D <sub>ндо</sub> (C), %	5213
D <sub>н</sub> (R), %	52	D <sub>ндо</sub> (R), %	100

### Промежуточные результаты расчетов

P<sub>max</sub>, В: 0.0042 I<sub>о</sub>, А: 13.3

$\Delta \phi$ , В: -0.396 Q<sub>акт.масс</sub>, Кл: 9159559

Ипред Q (1с): 49887.4 U<sub>компенс</sub>: 2.227

### Конечные значения при расчете в циклах

I <sub>о</sub> Q	5.62757	R Q	0.171311	Ипред Q	8755.61
I <sub>о</sub> Q AP	10.1643	R Q AP	0.107455	Ипред Q AP	28055.2
I <sub>о</sub> ХП	12.7963	R ХП	0.0629565	Ипред ХП	45564.3
I <sub>о</sub> КЗ	13.3252	R КЗ	0.060341	Ипред КЗ	49713.1

Основное окно программы

## ПАРАМЕТРЫ АКБ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СИСТЕМОЙ НА БАЗЕ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ

Наименование параметра, единицы измерения	Значение параметра	
	2 В	12 В
<b>Метрологические, измеряемые параметры свинцово кислотных аккумуляторных батарей</b>		
1 Диапазон измеряемого постоянного напряжения, В	1,5...3	1,0...15,5
2 Диапазон измерения тока подзаряда, А	0..3,0	0..3,0
3 Диапазон измерения внутреннего сопротивления, мОм	0.05...1	1...300
4 Диапазон измерения температуры электролита, °С	(-) 50...(+) 60	(-) 50...(+) 60
5 Абсолютная погрешность измерения температуры электролита, не более, °С	± 2,0	± 2,0
<b>Расчётные эксплуатационные параметры свинцово кислотных аккумуляторных батарей по результатам измерений для контроля технического состояния аккумуляторных батарей</b>		
6 Доступная ёмкость, А·ч	10...3500	5...300
7 Продолжительность разряда в аварийном режиме разряда, мин	1...180	1...180
8 Толчковый ток, ток КЗ,	1...50000	1...50000
9 Ток прокрутки, ток холодной прокрутки, А	-	1...3000
10 Плотности электролита, г/см <sup>3</sup>	1,1...1,40	1,1...1,40
11 Степени заряженности, %	1...100	1...100
<b>Прогнозируемы эксплуатационные параметры свинцово кислотных аккумуляторных батарей по результатам измерений для контроля продолжительности срока службы аккумуляторных батарей</b>		
12 Остаточный срок службы, %	1...100	1...100
13 Нарботка до отказа, %	1...100	1...100

25 марта 2024

Международная специализированная выставка «Автономные источники тока»

## ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕННЫХ РАСЧЁТНЫХ И ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ.

Наименование параметра, единицы измерения	Значение параметра	
	2 В	12 В
<b>Метрологические, измеряемые параметры</b>		
1 Относительная погрешность измерения напряжения, не более, %	± 0,5	± 0,5
2 Относительная погрешность измерения постоянного тока тестового сигнала, не более, %	± 10	-
3 Относительная погрешность измерения внутреннего сопротивления, не более, %	± 5,0	± 2,0
4 Абсолютная погрешность измерения температуры электролита, не более, °С	± 2,0	± 2,0
<b>Расчётные эксплуатационные параметры по результатам измерений для контроля технического состояния аккумуляторных батарей</b>		
5 Приведённая погрешность расчёта доступной ёмкости к номинальной, не более, %	± 10,0	± 10,0
6 Приведённая погрешность расчёта продолжительности разряда в аварийном режиме разряда, %	± 10,0	± 10,0
7 Относительная погрешность расчёта тока прокрутки, холодной прокрутки, не более, %	± 5,0	± 5,0
8 Относительная погрешность расчёта средней плотности электролита в АКБ, не более, %	± 1,0	± 1,0
9 Относительная погрешность расчёта степени заряженности АКБ, не более, %	± 5,0	± 5,0
<b>Прогнозируемые эксплуатационные параметры по результатам измерений для контроля продолжительности срока службы аккумуляторных батарей</b>		
10 Относительная погрешность прогноза остаточного срока службы АКБ, %	10	10
11 Относительная погрешность прогноза наработки до отказа АКБ, %	10	10

## АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ

№ п/п	<i>Полное наименование</i>	Обозначение ТУ	Идентификационный номер
1	<b>Система</b> оперативной диагностики и мониторинга эксплуатационных параметров свинцовых аккумуляторов, батарей КПИМ-Pb-2В	БНТЦ.411185.001ТУ	БНТЦ.411185.001-XX.YY
2	<b>Анализатор</b> оперативной диагностики эксплуатационных параметров свинцовых аккумуляторов, батарей КПП-Pb-12В	БНТЦ.411185.004ТУ	БНТЦ.411185.004
3	<b>Система</b> оперативной диагностики эксплуатационных параметров свинцовых аккумуляторов, батарей КПИ-Pb-12В	БНТЦ.411185.005ТУ	БНТЦ.411185.005
4	<b>Анализатор</b> оперативной диагностики эксплуатационных параметров свинцовых аккумуляторов, батарей КПП-Pb-2В	БНТЦ.411185.006ТУ	БНТЦ.411185.006
5	<b>Система</b> оперативной диагностики эксплуатационных параметров свинцовых аккумуляторов, батарей КПИ-Pb-24В	БНТЦ.411185.007ТУ	БНТЦ.411185.007
6	<b>Система</b> оперативной диагностики и мониторинга эксплуатационных параметров свинцовых аккумуляторов, батарей КПИМ.АБ.ИБП-Pb-12В	БНТЦ.411185.008ТУ	БНТЦ.411185.008
7	<b>Комплекс технических средств</b> КПИМ-АКБ-Pb-110В-450Ач	БНТЦ.411185.003 ТУ	БНТЦ.411185.003
8	<b>Анализатор</b> свинцово-кислотных аккумуляторных батарей «Мониторинг-АКОМ»	БНТЦ.411185.010ТУ	БНТЦ.411185.010

## ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

внесены в государственный Реестр программного обеспечения РФ.

*Управляющая программа опроса ГТС*

*Отображение результатов опроса ГТС*

*Управляющая программа ГТС*

*Программа калибровки методики расчёта параметров АКБ*

*Программа калибровки ГТС*



## **РАБОТЫ ПО ВНЕСЕНИЮ СИСТЕМЫ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Планируемые сроки проведения испытаний средств измерений в целях утверждения типа:**

- Анализаторы «ЭДА» типа: КПП-Rb-12В-300Ач, КПП-Rb-2В-1500Ач – II-IV квартал 2024 года;

- Система оперативной диагностики и мониторинга эксплуатационных параметров свинцовых аккумуляторов, батарей КПИМ-Rb-2В, Система «Мониторинг-1» – II-IV квартал 2025 года.

## КРАТКИЙ ОБЗОР ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ОСУЩЕСТВЛЁННОЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА И СИСТЕМЫ

**Участие в Международных и Российских конференциях в 2008 - 2021 годах:**

- «Фундаментальные проблемы электрохимической энергетики»;
- LAVAT, РУСБАТ, МНТК;
- День передовых технологий и инноваций в системе МЧС РОССИИ 2014 г.



**Публикации в журналах:** «Электрохимическая энергетика», «Пожарная безопасность», «Вестник Санкт-Петербургского Университета ГПС МЧС РОССИИ», «Руководящие материалы по проектированию и эксплуатации электрических сетей (РУМ)».

25 марта 2024

Международная специализированная выставка «Автономные источники тока»

## ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗКПИМ-РВ-2В-1500Ач НА СМОЛЕНСКОЙ, КУРСКОЙ, КОЛЬСКОЙ АЭС



### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЗКПИМ.ИБП-РВ-12В-300Ач.:

- АО «Концерн Росэнергоатом»
- Ростовская, Смоленская и Курская АЭС



**Цель испытаний** – оценка способности Системы выявить неисправные аккумуляторные батареи.

**ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ 104КПИМ-РЬ-2В-1500Ач  
в составе системы аварийного электропитания АБ-7 ПК ОРУ-330/500 (8)  
на Смоленской АЭС.**

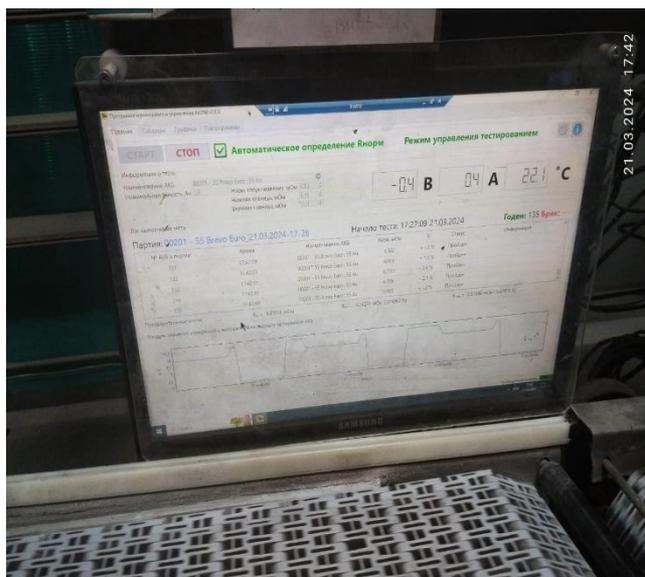


**Результаты опытно-промышленной эксплуатации – положительные.**

25 марта 2024

Международная специализированная выставка «Автономные источники тока»

## МОНТАЖ И ПУСКО-НАЛАДКА АНАЛИЗАТОРА «МОНИТОРИНГ-АКОМ» КПИМ-РВ-12В-300Ач В СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ НRD-ТЕСТЕРА



Финишная линия №1

## ПОСТАВКА ПЕРЕНОСНЫХ ПРИБОРОВ «АНАЛИЗАТОР «ЭДА», КПП -РВ-12В-300АЧ

- АО «Транснефть»;
- «Курский аккумуляторный завод»;
- «Великолукский аккумуляторный завод»;
- АКОМ им. Н.М. Игнатьева;
- Сеть телерадиовещания РТРС;
- «Тихвинский аккумуляторный завод»



## РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ В РАМКАХ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ

Обследование, оценка технического состояния, остаточного ресурса, обоснование возможности продления срока службы общеблочных АКБ системы безопасности 1-го и 2-го Энергоблока Смоленской АЭС;

Обследование, оценка технического состояния АКБ системы безопасности Ленинградской АЭС-2.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Мониторинг технического состояния батарей систем аварийного электроснабжения с использованием системы предиктивного анализа эксплуатационных параметров свинцовых АКБ **исключает отказ батареи при разряде в условиях обесточивания объекта**

**СИСТЕМА НЕОБХОДИМА ТАМ, ГДЕ ВНЕЗАПНОЕ НЕЗАПЛАНИРОВАННОЕ ОБЕСТОЧИВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ВЕДЁТ К НЕВОСПОЛНИМЫМ ПОТЕРЯМ:**

**зоны ограниченного доступа АЭС;  
серверы МО и государственных структур;  
операционные госпиталей и т.п.**

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

## **Контактная информация:**

**ООО «АК Бустер»**, г. Санкт-Петербург, ул. Даля 10:

- Телефон: +7 (812) 380-74-38, e-mail: [ak@buster-spb.ru](mailto:ak@buster-spb.ru)
- **Генеральный директор** – Бубнов Юрий Иванович
- **Заместитель Генерального директора по научной работе** – Алёшкин Андрей Александрович
- Телефон: +7 (911) 724-50-28, e-mail: [aleshkin@buster-spb.ru](mailto:aleshkin@buster-spb.ru)