

УДК 681.518.5:656.25

А. Б. Никитин, д-р техн. наук  
В. А. Шатохин, канд. техн. наук  
А. А. Порошин

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»  
Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I, Санкт-Петербург

## ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ В УСТРОЙСТВАХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Статья посвящена диагностике и мониторингу аккумуляторных батарей, применяемых в устройствах электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Проведен анализ существующих методик оценки остаточной емкости и времени резервирования от АКБ. Выявлены расхождения опытных результатов с результатами, прогнозируемыми по известным алгоритмам расчета. Объяснена причина погрешности вычисляемых параметров и предложена более точная методика оценки времени резервирования и остаточной емкости АКБ при интенсивном разряде. Предложены пути внедрения уточненной методики в системы технической диагностики и мониторинга ЖАТ, позволяющие уменьшить погрешность вычисления диагностируемых параметров. Для повышения надежности электропитания ЖАТ и улучшения показателей безопасности, бесперебойности и эффективности перевозочного процесса предложено решение проблемы оценки старения АКБ с целью осуществления их своевременной замены.

системы технической диагностики и мониторинга, системы бесперебойного питания, интенсивный разряд батареи, «эффект сжимающейся батареи», реальная емкость аккумуляторной батареи, метод определения времени резервирования.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-233-243

### Введение

В настоящее время на железных дорогах России осуществляется модернизация систем управления движением поездов. Устаревшее оборудование на электромагнитных реле поэтапно заменяется современным оборудованием на базе микроэлектроники и микропроцессорной техники, которая позволяет реализовать большее количество функций, в том числе функции систем технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) [1–6]. Вместе с тем микроэлектронная и микропроцессорная техника по сравнению с релейной оказалась более чувствительной к электромагнитным помехам и более требовательной к качеству электропитания. Для обеспечения электропитания требуемого качества широко применяются системы бесперебойного питания (СБП). Неотъемлемой частью СБП яв-

ляются аккумуляторные батареи (АКБ), которые выполняют функцию резервного источника электроэнергии при прерывании внешнего электропитания переменным током до его восстановления. При наличии резервной автономной электростанции АКБ, как правило, рассчитывается на время ее запуска и включения в работу, которое составляет несколько минут. В течение этого времени происходит интенсивный разряд АКБ. В связи с этим в процессе эксплуатации АКБ особую актуальность приобретают две задачи. Первая – обеспечение оперативной и достоверной оценки времени резервирования от АКБ при интенсивном разряде. Вторая – выявление предотказного состояния АКБ для своевременной замены. При применении в ЖАТ необходимо учитывать динамику изменения нагрузки, характеризующуюся бросками потребляемой мощности при кратковременных переводах стрелок стрелочными электроприводами, а также при занятии и освобождении участков пути подвижным составом.

## 1. Проблема определения реальной емкости и времени резервирования АКБ

Глубокая непрерывная диагностика на некотором продолжительном временном интервале эксплуатации позволяет отследить изменения параметров АКБ [7]. Однако существует ряд трудностей, связанных с «эффектом сжимающейся батареи», что особо заметно при высокой интенсивности разряда. Допустим, что АКБ емкостью 100 А·ч способна отдавать ток разряда 10 А в течение 10 часов. Логично предположить, что эта же АКБ способна выдавать ток разряда 50 А в течение 2 часов, однако на практике это время будет около 1,2 часа. Чем больше ток разряда, тем сильнее уменьшается это время от ожидаемого. Данное явление впервые было математически описано немецким ученым Вильгельмом Пейкертом [8]. Он эмпирически установил, что отношение между разрядным током  $I$  и временем разряда аккумулятора  $T$  представляет собой константное отношение и может быть описано формулой:

$$C_p = I^n \cdot T, \quad (1)$$

где  $C_p$  – емкость Пейкерта (константное отношение для данного аккумулятора);  $n$  – экспонента Пейкерта;  $I$  – ток разряда;  $T$  – время разряда, ч.

Экспонента Пейкерта всегда больше единицы. Чем больше  $n$ , тем меньше способность аккумулятора отдавать полную емкость при повышенной нагрузке. Она рассчитывается на основании измерения времени разряда ( $T_1$  и  $T_2$ ) для двух разных токов ( $I_1$  и  $I_2$ ) по формуле:

$$n = \frac{\lg\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\lg\left(\frac{I_1}{I_2}\right)}. \quad (2)$$

Зная значение  $C_p$  и  $n$ , мы можем по формуле (1) вычислить реальное время резервирования при определенном значении тока:

$$T = \frac{C_p}{I^n}. \quad (3)$$

Казалось бы, что проблема решена и теперь можно найти реальную емкость АКБ и время резервирования при любой интенсивности разряда. При использовании формулы (3) созданы удобные онлайн-калькуляторы расчета времени работы АКБ при разных токах разряда. Однако вычисленные с использованием формулы (3) значения времени резервирования при токах разряда, близких к предельным, имеют слишком большие расхождения с реальными значениями на практике (см. таблицу 1).

Таблица 1. Расчет параметров АКБ

$T(h) =$	$T(\text{min})$	$I(\text{A})$	$\lg(T_2/T_1)$	$\lg(I_1/I_2)$	$n$	$C_p$	$T_1(h) =$	$T_1(\text{min})$	$\sigma$	$n_1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,17	10,00	339,40	-0,78	-0,42			0,31	18,89	88,48	1,31
0,25	15,00	297,30	-0,60	-0,36			0,37	22,14	47,59	1,27
0,33	20,00	266,60	-0,48	-0,31			0,42	25,23	26,15	1,24
0,42	25,00	234,40	-0,38	-0,26			0,49	29,44	17,78	1,23
0,50	30,00	208,50	-0,30	-0,21			0,56	33,88	12,95	1,22
0,58	35,00	188,70	-0,23	-0,16			0,64	38,19	9,12	1,22
0,67	40,00	172,60	-0,18	-0,12			0,71	42,51	6,27	1,21
0,75	45,00	159,10	-0,12	-0,09			0,78	46,87	4,16	1,21
0,83	50,00	147,80	-0,08	-0,06			0,85	51,20	2,40	1,20
1,00	60,00	129,50	0,00	0,00			1,00	60,00	0,00	1,20
1,50	90,00	95,60	0,18	0,13			1,44	86,36	4,05	1,19
2,00	120,00	76,00	0,30	0,23			1,90	113,72	5,23	1,19
2,50	150,00	63,30	0,40	0,31			2,36	141,61	5,59	1,19
3,00	180,00	54,30	0,48	0,38			2,84	170,22	5,43	1,19
4,00	240,00	42,50	0,60	0,48			3,81	228,39	4,84	1,19
5,00	300,00	35,00	0,70	0,57			4,80	288,30	3,90	1,19
6,00	360,00	29,80	0,78	0,64			5,83	349,66	2,87	1,19
7,00	420,00	26,10	0,85	0,70			6,83	409,94	2,39	1,19
8,00	480,00	23,20	0,90	0,75			7,87	472,16	1,63	1,19
9,00	540,00	20,80	0,95	0,79			8,97	538,26	0,32	1,20
10,00	600,00	19,00	1,00	0,83	<b>1,20</b>	<b>342,11</b>	10,00	600,00	0,00	1,20
12,00	720,00	16,20	1,08	0,90			12,11	726,47	0,90	1,20
24,00	1440,00	8,80	1,38	1,17			25,18	1510,74	4,91	1,22

Проведем вычислительный эксперимент. В качестве опытных данных используем таблицы разряда АКБ [9], предоставленные производителями, и занесем данные в таблицу 1 (столбцы 1–3). Для аккумулятора 12V 190 А·ч средствами Microsoft Excel определим значение экспоненты Пейкерта при разных интенсивностях разряда: при полном разряде постоянным током до 1,8 В/элемент, совершаемом за 10, 20, ... 720, 1440 минут.

В таблице 1 приведены опытные данные по току и времени разряда АКБ, взятые с официального сайта производителя аккумуляторов [9]. Исследуемая АКБ имеет показатель времени  $R = 10$  (установлен заводом-изготовителем). По формуле (2) вычислим значение  $n$  (столбец 6), затем  $C_p$  (из формулы (3)).

Мы получили значение экспоненты Пейкерта  $n = 1,2$ , при этом  $C_p = 342,11$  А·ч. Зная эти параметры, можно найти реальное время работы АКБ при различных нагрузках по формуле (6) – столбец 8. Таким образом, мы можем говорить о некотором несоответствии значений времени в действительности – столбец 2 – и значений времени, рассчитанных по формуле (6) – столбец 9. С одной стороны, можно сказать, что при малых значениях тока разряда погрешность невелика, однако при быстром разряде она достигает 88 %! Попробуем разобраться в причине этого явления. Рассчитанная емкость Пейкерта была вычислена для  $t = 10$  часов, поскольку  $R = 10$  ч.

## 2. Совершенствование метода определения реальной емкости и времени резервирования АКБ

Выше был описан эффект «сжимающейся батареи», из-за которого и вводится формула (1) с поправочным степенным коэффициентом в виде экспоненты Пейкерта  $n$ , однако погрешность времени, как мы увидели, значима. Причина такого несоответствия объясняется тем, что значение  $n$  и емкости Пейкерта принимается нами как константа и рассчитывается только для времени  $R = 10$  ч. Из таблицы можно заметить, что емкость Пейкерта с увеличением скорости разряда также уменьшится. Это связано с изменением значений экспоненты Пейкерта при различных токах разряда (столбец 11). Именно поэтому большинство страниц в Интернете по расчету реальной емкости АКБ и времени работы при той или иной нагрузке не дают точных результатов.

С этой проблемой авторы не раз сталкивались на практике, особенно при больших токах разряда. Для ЖАТ, отвечающих за безопасность движения поездов, жизнь и здоровье людей, равно как и для другого подобного применения, например для аппаратуры реанимации пациентов в медицинских учреждениях, оборудования управления технологическими процессами на атомных электростанциях и т. п., где при перерыве внешнего

электроснабжения электропитание резервируется от АКБ, показанные выше погрешности недопустимы! Кроме того, в большинство известных авторам приборов по измерению емкости АКБ заложены формулы (1)–(7), где экспонента  $n$  принимается как константа, что приводит к показанной выше погрешности. Чтобы снизить погрешность при вычислении реального времени работы от АКБ при больших токах разряда, определим регрессионное уравнение зависимости экспоненты Пейкертта от тока разряда. На рисунке 1 показана кривая изменения значений экспоненты Пейкертта за 3 часа разряда. Можно предположить, что это некоторая степенная функция. Методом наименьших квадратов, который имеет строгое математическое обоснование, найдем степенную регрессионную зависимость экспоненты Пейкертта при разной интенсивности разряда.

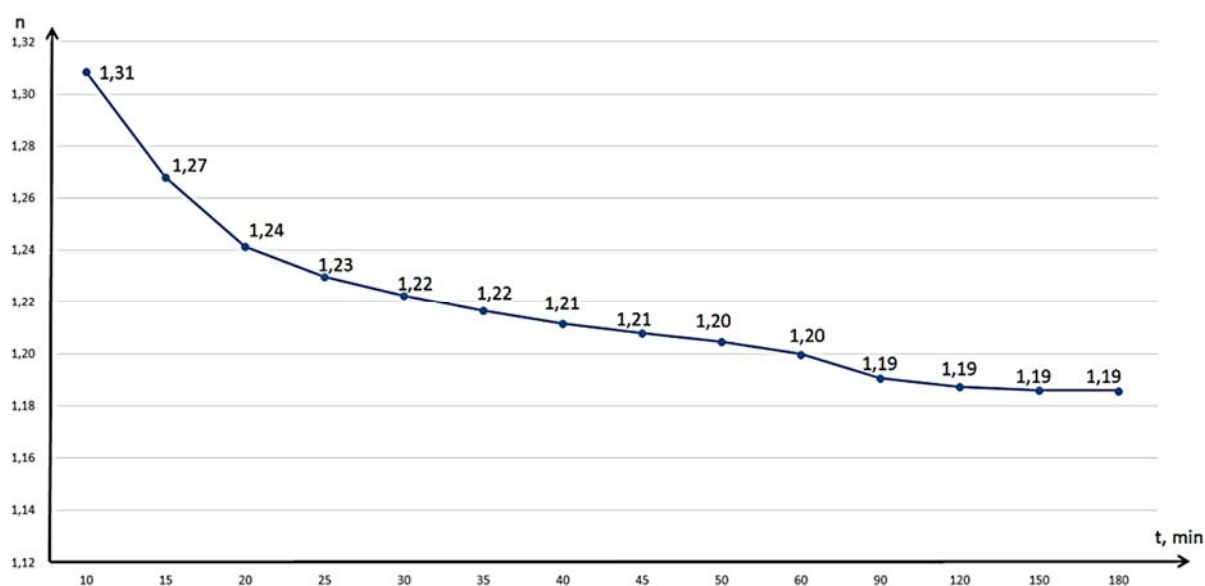


Рис. 1. Значения экспоненты Пейкертта при разной интенсивности разряда

Примем  $n = \hat{y}$ . Тогда степенная регрессия примет вид  $\hat{y} = b_0 I^{b_1}$ .

Приведем уравнение к линейному виду и введем новые переменные

$$Y = \ln \hat{y}, X = \ln I, B_0 = \ln b_0.$$

Тогда уравнение регрессии примет вид  $Y = B_0 + b_1 X$ . Параметры  $B_0, b_1$  уравнения определим по формулам (необходимые расчеты приведены в таблице 2):

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2} = \frac{14,04 - \frac{1}{14} \cdot 70,26 \cdot 2,76}{356,9 - \frac{1}{14} \cdot 4936,21} = 0,042;$$

$$B_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} = 0,20 - 0,042 \cdot 5,02 = -0,014.$$

Обратный переход к параметру  $b_0$  осуществим по формуле:  $b_0 = e^{B_0} = e^{-0,014} = 0,99$ .

Уравнение степенной регрессии имеет вид:  $n = \hat{y} = b_0 I^{b_1} = 0,99 I^{0,042}$ .

Таблица 2. Расчетные данные для оценки степенной регрессии

№ п/п	$x_i (I)$	$y_i (n)$	$X_i = \ln x_i$	$Y_i = \ln y_i$	$X_i Y_i$	$X_i^2$	$\hat{y}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	339,40	1,31	5,83	0,27	1,57	33,96	1,26
2	297,30	1,27	5,69	0,24	1,35	32,43	1,25
3	266,60	1,24	5,59	0,22	1,21	31,20	1,25
4	234,40	1,23	5,46	0,21	1,13	29,78	1,24
5	208,50	1,22	5,34	0,20	1,07	28,51	1,23
6	188,70	1,22	5,24	0,20	1,03	27,46	1,23
7	172,60	1,21	5,15	0,19	0,99	26,53	1,22
8	159,10	1,21	5,07	0,19	0,96	25,70	1,22
9	147,80	1,20	5,00	0,19	0,93	24,96	1,22
10	129,50	1,20	4,86	0,18	0,89	23,66	1,21
11	95,60	1,19	4,56	0,17	0,80	20,80	1,19
12	76,00	1,19	4,33	0,17	0,74	18,76	1,18
13	63,30	1,19	4,15	0,17	0,71	17,20	1,17
14	54,30	1,19	3,99	0,17	0,68	15,96	1,17
Sum	2433,10	17,06	70,26	2,76	14,04	356,90	–
Mean	173,79	1,22	5,02	0,20	–	–	–

Подставляя в полученное уравнение регрессии значения, можно определить теоретические значения и построить линию регрессии на корреляционном поле (рис. 2).

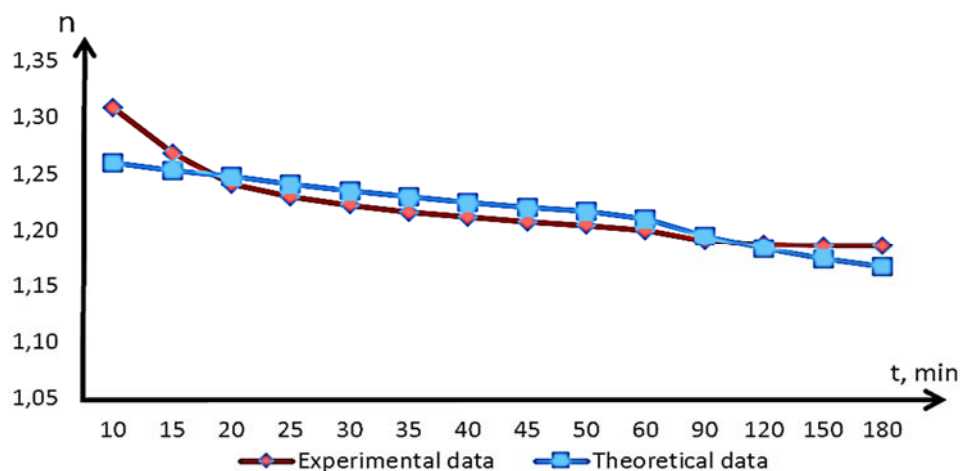


Рис. 2. Реальные и спрогнозированные значения экспоненты Пейкерта  $n$

При подстановке в уравнение (1) вместо константного значения  $n = 1,2$  полученное уравнение регрессии  $n = 0,99I^{0,042}$ , видим положительную тенденцию по снижению погрешности измерения спрогнозированного времени резервирования по отношению к реальным опытным данным. Основываясь на знании закона изменения значений  $n$  и  $C_p$ , можно достаточно точно рассчитывать реальное время работы АКБ при определенной нагрузке.

Как показывает практика, значения экспоненты Пейкертта  $n$  сильно различаются у разных производителей и у разных типов АКБ (от 1,3 при глубоком разряде свинцово-кислотных АКБ до 1,1 для AGM<sup>1</sup>), поэтому только «калибровка» значений  $n$  по описанному выше алгоритму может повысить точность значений.

**Таблица 3.** Оценка погрешности измерений, полученных по уточненной формуле

$T_p(h)$	$T_p(\text{min})$	$T_{p1}(h)$	$T_{p1}(\text{min})$	$\sigma$	$n1$	$T_{p2}$	$T_{p2}(\text{min})$	$\sigma1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,17	10,02	0,31	18,89	88,48	1,31	0,22	13,28	32,50
0,25	15,00	0,37	22,14	47,59	1,27	0,27	16,33	8,84
0,33	20,00	0,42	25,23	26,15	1,24	0,32	19,32	3,38
0,42	25,00	0,49	29,44	17,78	1,23	0,39	23,54	5,85
0,50	30,00	0,56	33,88	12,95	1,22	0,47	28,12	6,27
0,58	35,00	0,64	38,19	9,12	1,22	0,54	32,68	6,64
0,67	40,00	0,71	42,51	6,27	1,21	0,62	37,34	6,65
0,75	45,00	0,78	46,87	4,16	1,21	0,70	42,14	6,35
0,83	50,00	0,85	51,20	2,40	1,20	0,78	46,98	6,03
1,00	60,00	1,00	60,00	0,00	1,20	0,95	57,02	4,96
1,50	90,00	1,44	86,36	4,05	1,19	1,47	88,30	1,89
2,00	120,00	1,90	113,72	5,23	1,19	2,03	122,06	1,72
2,50	150,00	2,36	141,61	5,59	1,19	2,62	157,35	4,90
3,00	180,00	2,84	170,22	5,43	1,19	3,24	194,16	7,87

При расчете необходимой емкости  $C$  для резервирования электропитания инженер-проектировщик пользуется простыми расчетами:

$$C = \frac{S}{U} \cdot t, \quad (4)$$

где  $S$  – сумма мощностей бесперебойных нагрузок, ВА;  $t$  – время резервирования от АКБ, ч;  $U$  – напряжение батареи, В.

<sup>1</sup> Absorbent Glass Mat – технология изготовления свинцово-кислотных аккумуляторов, созданная инженерами американской компании Gates Rubber Company в начале 1970-х годов. Отличие батарей AGM от классических в том, что в них содержится не жидкий, а абсорбированный электролит, что дает ряд изменений в свойствах аккумулятора.

## Заключение

Интеграция описанных уравнений и методов расчета в СТДМ, а также в калькуляторы расчета характеристик АКБ позволит получить максимально точные данные о реальном времени работы АКБ при том или ином значении тока разряда. Знание закономерности зависимости емкости аккумулятора от тока разряда позволит точнее планировать необходимую емкость и тип аккумуляторов в СБП. С использованием описанного выше алгоритма по нахождению регрессионной функции экспоненты Пейкерта можно значительно повысить достоверность прогнозируемых СТДМ данных, касающихся АКБ. Оценивая по формуле (1) реальную емкость Пейкерта на работающих АКБ, можно сравнивать ее значение с номинальной емкостью Пейкерта для новых АКБ, тем самым отслеживать процесс старения АКБ, спрогнозировать время их замены.

Особенно важны точные результаты для новых высокотехнологичных систем ERTMS [10–15], в которых поезда следуют без линейной путевой сигнализации с отслеживанием их местоположения из радиоблокцентров. Прерывание электроснабжения при ложном прогнозировании аккумуляторного резерва вызовет потерю кодов GPS-позиции, что может привести к опасным последствиям. Для подобных высокотехнологичных систем предъявляются особенно строгие требования к качеству и бесперебойности электропитания аппаратуры ЖАТ. Это связано с тем, что нарушение электроснабжения подобных систем может повлечь за собой сбой передачи ответственной информации о скорости и положении поезда на участке, что может критически отразиться на безопасности движения поездов. Предложенная в данной статье методика повышения точности диагностической информации позволит повысить надежность электроснабжения потребителей с ответственными технологическими процессами. Расширение возможностей для решения задач диагностирования позволит обнаруживать предотказные состояния объектов и своевременно осуществлять восстановление работоспособного состояния, исключая переход в состояние отказа.

## Библиографический список

1. Efanov D. V. New Architecture of Monitoring Systems of Train Traffic Control Devices at Wayside Stations // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018. – Pp. 276–280. – DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524788.
2. Осадчий Г. В. Определение метода реализации технической диагностики контроллеров в системе АПК-ДК // Транспорт Урала. – 2007. – № 2. – С. 78–82.
3. Лыков А. А., Ефанов Д. В., Власенко С. В. Техническое диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 5. – С. 67–72.



4. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.
5. Ефанов Д. В. Особенности функционирования систем технического диагностирования и мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Автоматика на транспорте. – 2018. – Том 4. – № 3. – С. 333–354.
6. Сапожников Вл. В. Эффективность систем технической диагностики и мониторинга состояния устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Вл. В. Сапожников, А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 4 (29). – С. 47–49.
7. Nikitin A., Shatokhin V., Poroshin A., Kotenko A. Diagnostics and Monitoring of Railway Automation and Remote Control Power Supply Devices // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017). – 2017. – Pp. 592–597.
8. Шатохин В. А., Порошин А. А. Комплексный подход к контролю устройств электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики // Автоматика на транспорте. – 2017. – № 2. – С. 192–198.
9. Разрядные таблицы PowerSafeV. – URL : <http://hawker.ru/product/statsionarnye-akkumulyatory/powersafe-v>.
10. Nikitin A., Popov P. Determining the positions of trains using audio-frequency track circuits // SIGNAL+DRAHT. – 2016. – No 14. – Pp. 29–34.
11. Barrow K. British ERTMS testing in full swing // International Railway Journal. – 2014. – No 8. – Pp. 61–66.
12. Domingues J. L. M. Diagnostic levels in railway applications / J. L. M. Domingues // Signal + Draht. – 2004. – No 1/2. – Pp. 31–34.
13. Иванов А. А., Легоньков А. К., Молодцов В. П. Передача данных с устройств оборудования переезда аппаратурой АПК-ДК при отсутствии физической линии и круглосуточного дежурства // Автоматика на транспорте. – 2016. – Том 2. – № 1. – С. 65–80.
14. Yilboga J., Guclu A., Eker Ö. F., Camci F. Failure Prediction on Railway Turnouts Using Time Delay Neural Networks // 2010 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, 6–8 September 2010, Taranto, Italy. – Pp. 134–137. – DOI: 10.1109/CIMSA.2010.5611756.
15. Barrow K. «British ERTMS testing in full swing». International Railway Journal. – 2014. – No 8. – Pp. 61–66.

*Alexander B. Nikitin*

*Vitaly A. Shatokhin*

*Aleksey A. Poroshin*

«Automation and Remote Control on Railways» department  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

### **Diagnosics and monitoring of the battery in the power supply devices of railway automation and remote control**

This article is devoted to the study of discharge characteristics at different discharge intensities of batteries, which are used in power supply devices for railway automation and remote control. The authors analyzed the existing methods for estimating the residual capacity and backup time from the battery. The discrepancies between the experimental results and the results calculated by the known calculation algorithms in which the Peukert exponent is taken as a constant. The reason for the error of the calculated parameters was explained and a more accurate method was developed for estimating the backup time and residual capacity of the

battery during an intense discharge. The authors have proposed ways of introducing the updated methodology into the technical diagnostic and monitoring systems of the railway automation and remote control (RARC), which can reduce the calculation error of the diagnosed parameters. The article describes the ways to improve the reliability of power supply of RARC and improve safety performance, continuity and efficiency of the transportation process. The article also proposes a solution to the problem of assessing the aging of batteries with the aim of implementing their timely replacement.

systems of technical diagnostics and monitoring, uninterruptible power supply systems, intensive discharge of the battery, «compressible battery effect», actual battery capacity, method for determining the backup time.

## References

1. Efanov D. V. (2018) New Architecture of Monitoring Systems of Train Traffic Control Devices at Wayside Stations, Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018. – Pp. 276–280. – DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524788.
2. Osadchij G. V. (2007) Determination of the method for implementing the technical diagnostics of controllers in the APK-DK system [Opredelenie metoda realizatsii tekhnicheskoy diagnostiki kontrollerov v sisteme APK-DK], Transport of the Urals [Transport Urala]. – No 2. – Pp. 78–82.
3. Lykov A. A., Efanov D. V., Vlasenko S. V. (2012) Technical diagnosis and monitoring of the state of RARC devices [Tekhnicheskoe diagnostirovanie i monitoring sostoyaniya ustrojstv ZHAT], Transport of the Russian Federation [Transport Rossijskoj Federatsii]. – No 5. – Pp. 67–72.
4. Efanov D. V. (2016) Functional control and monitoring of railway automation and telemechanics devices: monograph [Funktsionalnyj kontrol i monitoring ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki monografiya]. St. Petersburg, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. – 171 p.
5. Efanov D. V. (2018) Features of the functioning of systems for technical diagnostics and monitoring of railway infrastructure facilities [Osobennosti funkcionirovaniya sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa obektov zheleznodorozhnoj infrastruktury], Automation in Transport [Avtomatika na transporte]. – Vol. 4. – No 3. – Pp. 333–354.
6. Sapozhnikov Vl. V., A. A. Lykov, D. V. Efanov, N. A. Bogdanov (2010) Efficiency of systems of technical diagnostics and monitoring of the state of railway automation and telemechanics devices [Ehffektivnost sistem tekhnicheskoy diagnostiki i monitoringa sostoyaniya ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki], Transport of the Russian Federation [Transport Rossijskoj Federatsii]. – No 4 (29). – Pp. 47–49.
7. Nikitin A., Shatokhin V., Poroshin A., Kotenko A. Diagnostics and Monitoring of Railway Automation and Remote Control Power Supply Devices, Proceedings of IEEE EastWest Design & Test Symposium (EWDTS'2017). – 2017. – Pp. 592–597.
8. Shatohin V. A., Poroshin A. A. (2017) An integrated approach to the control of power supply devices of railway automation and telemechanics [Kompleksnyj podhod k kontrolyu ustrojstv ehlektropitaniya zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki], Automation on Transport [Avtomatika na Transporte]. – No 2. – Pp. 192–198.

9. Battery discharge tables PowerSafeV [Razryadnye tablitsy PowerSafeV]. – URL : <http://hawker.ru/product/statsionaryeakkumulyatory/powersafe-v>.
10. Nikitin A., Popov P. (2016) Determining the positions of trains using audio-frequency track circuits, SIGNAL+DRAHT. – 2016. – Pp. 29–34.
11. Barrow K. (2014) British ERTMS testing in full swing, International Railway Journal. – 2014. – № 8. – Pp. 61–66.
12. Domingues J. L. M. (2004) Diagnostic levels in railway applications, J. L. M. Domingues, Signal + Draht. – 2004. – No 1/2. – Pp. 31–34.
13. Ivanov A. A., Legonkov A. K., Molodtsov V. P. (2016) Data transfer from devices of equipment for moving with APK-DK equipment in the absence of a physical line and round-the-clock duty [Peredacha dannyh s ustrojstv oborudovaniya perezda apparaturoj APK-DK pri otsutstvii fizicheskoj linii i kruglosutochnogo dezhurstva], Automation in Transport [Avtomatika na transporte]. – Vol. 2. – No 1. – Pp. 65–80.
14. Yilboga J., Guclu A., Eker Ö. F., Camci F. (2010) Failure Prediction on Railway Turnouts Using Time Delay Neural Networks, 2010 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, 6–8 September 2010, Taranto, Italy. – Pp. 134–137. – DOI: 10.1109/CIMSA.2010.5611756.
15. Barrow K. (2014) British ERTMS testing in full swing. International Railway Journal. – 2014. – № 8. – Pp. 61–66.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Д. В. Ефановым  
Поступила в редакцию 16.01.2019, принята к публикации 15.02.2019*

*НИКИТИН Александр Борисович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;

e-mail: [nikitin@crtc.spb.ru](mailto:nikitin@crtc.spb.ru)

*ШАТОХИН Виталий Анатольевич* – кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;

e-mail: [vital@crtc.spb.ru](mailto:vital@crtc.spb.ru)

*ПОРОШИН Алексей Александрович* – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;

e-mail: [poroshinSCB@yandex.ru](mailto:poroshinSCB@yandex.ru)

© Никитин А. Б., Шатохин В. А., Порошин А. А., 2019