

УДК 629.31

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТАРТЕРНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Смирнов Дмитрий Андреевич, студент, специальность 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: smir.novda99@gmail.com

Научный руководитель: **Пузаков Андрей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: and-rew78@yandex.ru

Аннотация. Актуальность проблемы объясняется увеличением числа и мощности потребителей электроэнергии автомобилей и последствиями внезапного выхода из строя стартерной аккумуляторной батареи (АКБ). Целью статьи является анализ существующих методов оценки технического состояния стартерных аккумуляторных батарей. Предложена формула расчета степени работоспособности по напряжению, применимая при эксплуатации АКБ на борту автомобиля. Описан специально разработанный нагрузочный цикл. Приведены результаты испытания стартерных АКБ под нагрузкой при вариации наработки, заряженности и технического состояния. Обработка результатов показала, что степень работоспособности находится в степенной зависимости от напряжения АКБ под нагрузкой. Дальнейшие исследования будут посвящены уточнению численных значений предложенной формулы на основе обследования на автомобилях в широком диапазоне температуры окружающего воздуха.

Ключевые слова: стартерная аккумуляторная батарея, техническое состояние, степень заряженности, степень работоспособности.

Для цитирования: Смирнов Д. А. Оценка технического состояния стартерной аккумуляторной батареи // Шаг в науку. – 2021. – № 4. – С. 68–73.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE STARTER BATTERY

Smirnov Dmitry Andreevich, student, specialty 23.05.01 Ground transport and technological means, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: smir.novda99@gmail.com

Research advisor: **Puzakov Andrey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Operation and Repair of Cars, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: and-rew78@yandex.ru

Abstract. The urgency of the problem is explained by the increase in the number and power of electric power consumers of cars and the consequences of a sudden failure of the starter battery. The purpose of the article is to analyze the existing methods for assessing the technical condition of starter batteries. A formula for calculating the state of health by voltage is proposed, which is applicable when operating a battery on board a car. A specially designed load cycle is described. The results of testing starter batteries under load with variations in operating time, charge and technical condition are presented. The processing of the results showed that the state of health is in power-law dependence on the voltage of the battery under load. Further research will be devoted to the refinement of the numerical values of the proposed formula based on a survey on cars in a wide range of ambient temperatures.

Key words: starter battery, technical condition, state of charge, state of health.

Cite as: Smirnov, D. A. (2021) [Assessment of the technical condition of the starter battery]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 68–73.

Ухудшение технического состояния стартерной АКБ в процессе эксплуатации оценивается количественным изменением ее параметров.

Параметры стартерных АКБ можно разделить на структурные, непосредственно изменяющиеся

в процессе эксплуатации (степень изношенности поверхности пластин, целостность межэлементных соединений и др.), выходные, определяемые в процессе испытаний, и расчетные.

К расчетным параметрам стартерных АКБ

можно отнести *степень заряженности (State-of-Charge, SOC)* и *степень работоспособности (State-of-Health, SOH)* [3, 6].

Целью этой статьи является анализ существующих методов оценки технического состояния стартерной аккумуляторной батареи, а также выведение собственных зависимостей на основе экспериментальных данных.

Измерение степени заряженности АКБ по напряжению – сравнительно простой метод, не лишенный ряда недостатков. Во-первых, напряжение

АКБ (как и плотность электролита) изменяется под воздействием температуры окружающей среды. Во-вторых, и это самое важное, в процессе проведения измерения цепь АКБ должна быть разомкнута (не подключена к источникам или потребителям). Для получения точных показаний цепь АКБ должна быть разомкнутой более двух часов, так как из-за эффекта восстановления, напряжение АКБ может не соответствовать ее степени заряженности.

При расчете степени заряженности общепринятым является следующее выражение

$$SOC = \frac{(U_i - U_{min})}{(U_{max} - U_{min})} \quad (1)$$

где

U_i – текущее значение напряжения на выводах АКБ, В;

U_{max} – максимальное значение напряжения, соответствующее полностью заряженной АКБ, В (12,61 В);

U_{min} – минимально допустимое напряжение, В (12 В).

Степень работоспособности АКБ равняется отношению текущего состояния батареи к состоя-

нию, заявленному производителем. Степень работоспособности АКБ в первую очередь отражает ее способность обеспечить запуск двигателя, а также работу других мощных потребителей.

В общем случае значение SOH равно отношению текущего параметра АКБ к некоторой заданной величине. В качестве такого параметра может выступать внутреннее сопротивление АКБ [2], ёмкость, ток холодного пуска и напряжение под нагрузкой.

$$SOH = \left(1 - \frac{R - R_{new}}{R}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

где

R – текущее значение внутреннего сопротивления АКБ, Ом;

R_{new} – внутреннее сопротивление новой АКБ, Ом.

$$SOH = \frac{C_{20}}{C_{20}^{ном}} \cdot 100\% \quad (3)$$

где

C_{20} – текущее значение ёмкости АКБ, А·ч;

$C_{20}^{ном}$ – номинальная ёмкость АКБ, А·ч.

Но поскольку измерение сопротивления и емкости на автомобиле затруднено, то предпочтительным вариантом является измерение напряжения (4). Оно же положено в основу наших исследований

$$SOH = \frac{(U_{min} - U_1)}{(U_{new} - U_1)} \quad (4)$$

где

U_{min} – текущее значение напряжения АКБ под нагрузкой, В;

U_{new} – максимальное значение напряжения под нагрузкой новой АКБ, В;

U_1 – минимально допустимое напряжение под нагрузкой, В.

По результатам тестирования АКБ было установлено, что для расчета SOH в тестере используется квадрат отношения текущего тока к току холодного пуска. Но для измерения тока на автомобиле требуется установка дополнительных датчиков.

$$SOH = \left(\frac{I_i}{I_{CCA}}\right)^2 \quad (5)$$

где

I_i – текущее значение силы тока на выводах АКБ, А;

I_{CCA} – номинальное значение силы тока холодного пуска, А.

Для проведения экспериментов был специально разработан испытательный цикл, имитирующий работу АКБ на борту автомобиля [5]. Каждый режим заканчивается десятиминутным отрезком времени, отведенным для восстановления.

1. Режим прогрева ДВС. Такой режим на автомобиле сопровождается работой большого числа нагревательных устройств (стекло, зеркала, сидений, руля и т.п.). Моделируется работой стартерного электродвигателя в режиме холостого хода. Длительность режима: 15 секунд. В этом режиме задействован электродвигатель М1, измерительные устройства А1, А2, РА1, А5.

2. Режим запуска ДВС. Режим моделируется подключением к САКБ нагрузочной вилки (малого электрического сопротивления). Длительность этого режима нагружения составляет 10 секунд. В этом режиме задействована нагрузочная вилка А3, токовые клещи Т1 с мультиметром А2, приборы А1, А5 (рисунок 1).

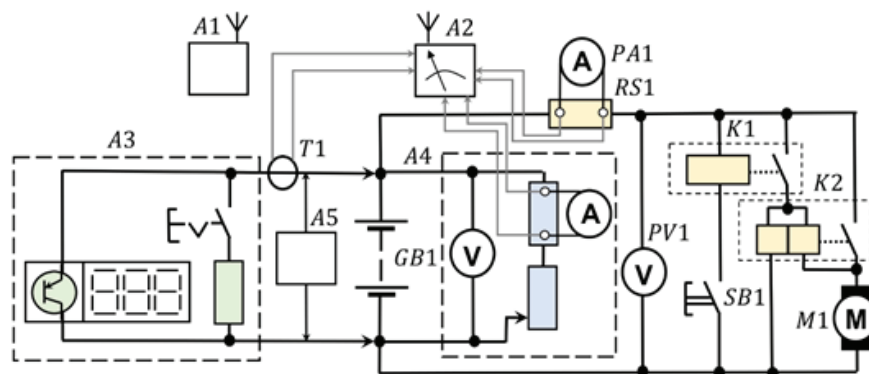
3. Максимальная нагрузка. Этот режим моделирует электроснабжение стартерного электродвигателя в первые доли секунды, когда ток в цепи достигает максимальных значений. Обеспечивает-

ся заклиниванием шестерни стартера на специализированном стенде. Длительность данного нагрузочного режима не должна превышать 5 секунд. В этом режиме задействован электродвигатель М1, измерительные устройства А1, А2, РА1, А5.

4. Режим аварийной работы. В этом режиме проверяется способность стартерной АКБ снабжать потребители электроэнергией на автомобиле при отказе автомобильного генератора. Нормированное значение силы тока этого режима составляет 25 А, длительность при оценке технического состояния не менее 180 секунд. В этом режиме задействован переносной вольтамперметр КИ-1093 (А4), измерительные устройства А1, А2, А5.

Наиболее информативным является режим полного торможения, в дальнейшем приведены расчеты степени работоспособности на основании результатов именно этого теста.

Общая схема цикла представлена на рисунке 1.



А1 – смартфон; А2 – мультиметр OWON B41t+; А3 – нагрузочная вилка Н-2005; А4 – переносной вольтамперметр КИ-1093; А5 – регистратор аналоговых данных НОВО UX120-006М; Т1 – токовые клещи Nantek CC-650; GB1 – стартерная аккумуляторная батарея 6СТ-60L; К1 – дистанционный выключатель массы; К2 – тяговое реле стартера; М1 – стартерный электродвигатель 2120-3708010; РА1 – амперметр; PV1 – вольтметр; RS1 – токовый шунт 100 А; SB1 – пусковая кнопка

Рисунок 1. Схема испытательного цикла

На рисунке 2 представлены результаты тестирования нескольких АКБ с разной наработкой [4]. По результатам тестов все батареи имеют различия в характеристиках, пропорциональные их степеням работоспособности. Наиболее показательными являются результаты тестирования батареи с уровнем работоспособности 25%.

Помимо батарей с разной наработкой было проведено исследование влияния неисправности на параметры АКБ, [1, 7]. На данный момент были исследованы снижение степени заряженности и окисление полюсных выводов.

На рисунке 3 представлены результаты тестирования АКБ, разряженных 50 и 25%. Разряд исправной батареи на 50% привел к снижению на-

пряжения всего на 15%.

Подключение последовательно с аккумуляторной батареей резистора (моделирование окисления полюсных выводов) не изменяет параметры ненагруженной батареи. В режиме нагружения в этом случае уменьшается разрядный ток и напряжение на выводах аккумуляторной батареи вследствие падения напряжения на резисторе.

Были проведены тестирования для значений сопротивления 11,5, 20 и 40 мОм (рисунок 4). Увеличение сопротивления до 40 мОм привело к снижению напряжения, следовательно, и пусковых способностей в 3 раза. При такой неисправности запуск двигателя может быть невозможен.

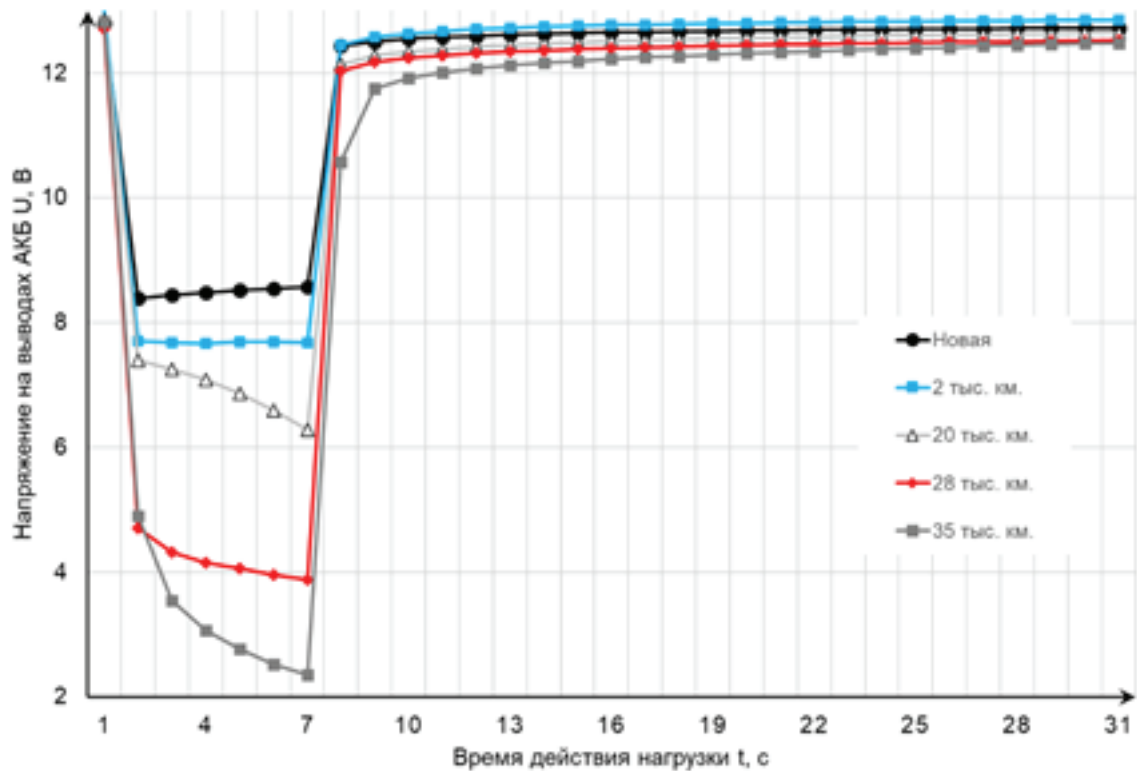


Рисунок 2. Результаты тестирования батарей с различной наработкой

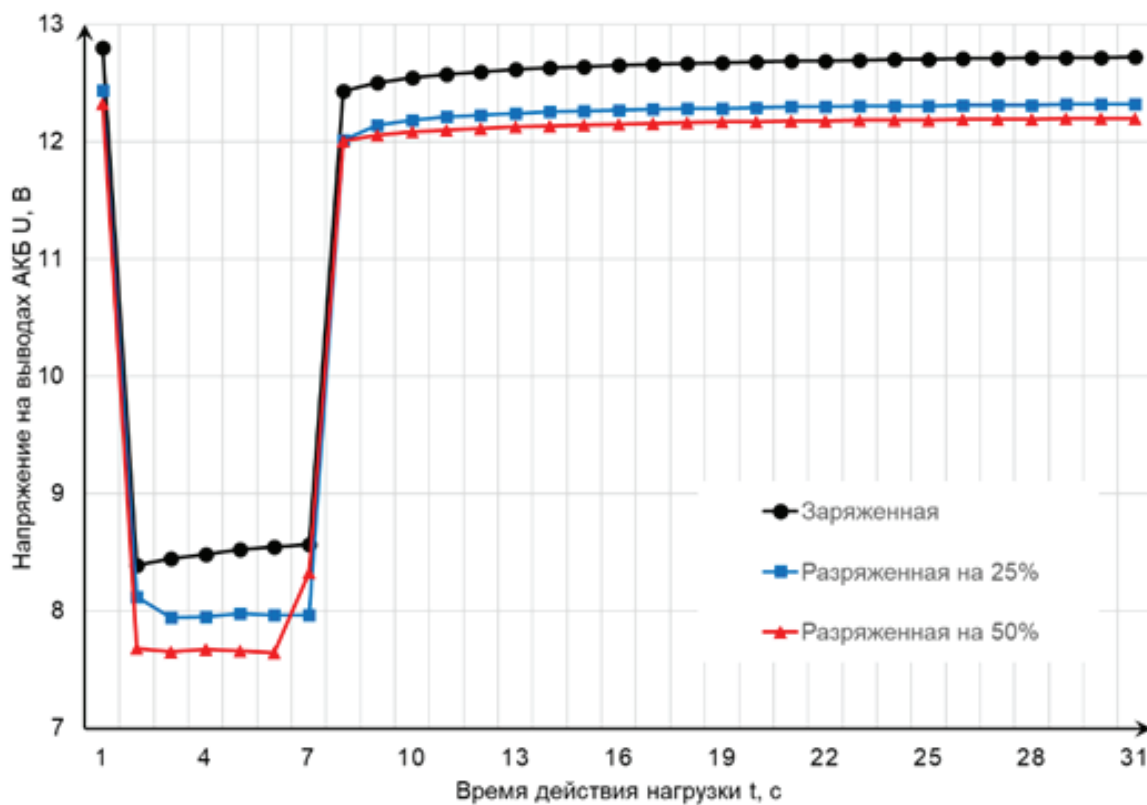


Рисунок 3. Результаты тестирования батарей с разной степенью заряженности

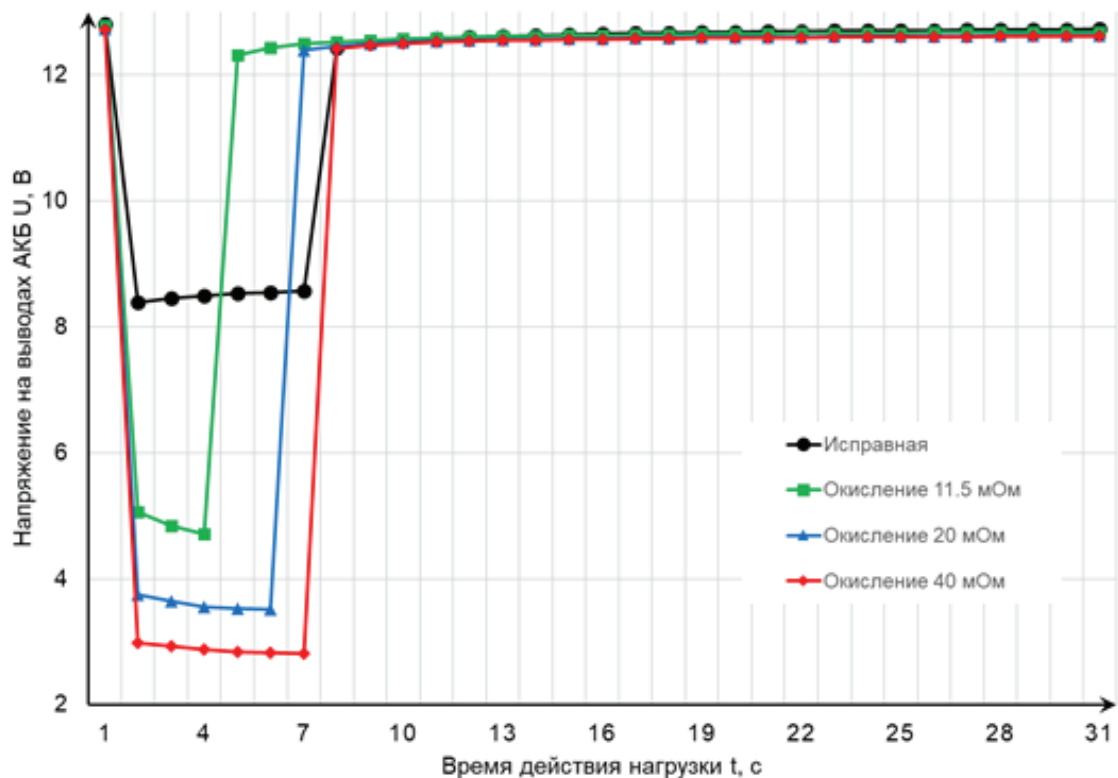


Рисунок 4. Результаты тестирования батарей с окислением полюсных выводов

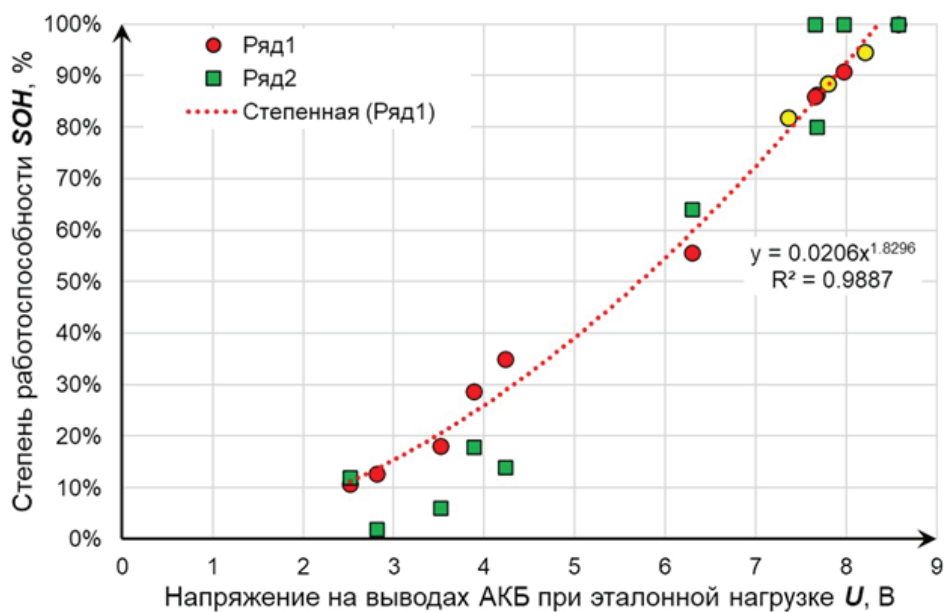


Рисунок 5. Результаты расчета SOH по напряжению

Результаты расчета SOH по напряжению представлены красными и желтыми точками, здесь же для сравнения приведены значения, полученные при помощи тестера АКБ (зеленые маркеры). Подобранный уравнение регрессии представляет собой

степенную функцию, причем почти квадратичную. Следовательно, расчет SOH по величине напряжения становится возможным при эксплуатации АКБ на борту автомобиля и позволяет оперативно оценивать ее техническое состояние.

Литература

1. Волков С. С. [и др.] Моделирование процессов изменения электрических характеристик свинцово-кислотного аккумулятора // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2020. – № 71. – С. 196–208.
2. Постников А. А. Экспериментальное исследование изменения внутреннего сопротивления свинцово-кислотного аккумулятора // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – Вып. 5. – С. 415–422.
3. Пузаков А. В., Калимуллин Р. Ф., Смирнов Д. А. Моделирование параметров технического состояния стартерных аккумуляторных батарей // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2021. – № 1. – С. 9–13.
4. Пузаков А. В., Смирнов Д. А. Исследование влияния наработки на выходные параметры стартерных аккумуляторных батарей // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции. – Оренбург: ОГУ, 2020. – С. 516–524.
5. Пузаков А. В., Смирнов Д. А. Разработка нагрузочного режима стартерной аккумуляторной батареи // Грузовик. – 2020. – № 11. – С. 30–34.
6. Kataoka T., et al. Battery State Estimation System for Automobiles // Sei Technical Review. – 2019. – № 88. – pp. 55–58.
7. Puzakov A., Smirnov D. Physical simulation of the faults of starter batteries // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2020. – 971. – 052066.

Статья поступила в редакцию: 12.05.2021; принята в печать: 08.11.2021.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.