

УДК 629.31

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОНТРОЛЯ 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

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 исследования заключается в решении задачи поддержания работоспособности стартерной аккумуляторной батареи для бесперебойного электроснабжения систем автомобилей и минимизации негативных последствий в эксплуатации из-за её отказа. Целью исследования является разработка алгоритма контроля технического состояния стартерной аккумуляторной батареи. Обоснованы режимы работы стартерной аккумуляторной батареи для оперативного контроля её технического состояния на борту автомобиля. Определение степени заряженности стартерной аккумуляторной батареи позволяет установить эффективность работы системы электроснабжения. Вычисление степени работоспособности позволяет прогнозировать выход стартерной аккумуляторной батареи из строя. Разработанный алгоритм в режиме реального времени отслеживает изменение технического состояния стартерной аккумуляторной батареи, что позволяет эффективно использовать её ресурс на основе поддержания степени заряженности, предотвращения отказов запуска автомобильных двигателей и внезапного выхода из строя.

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

Для цитирования: Смирнов Д. А., Пузаков А. В. Разработка алгоритма контроля технического состояния стартерной аккумуляторной батареи // Шаг в науку. – 2022. – № 3. – С. 39–43.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF A STARTER BATTERY

Smirnov Dmitry Andreevich, student, specialty 23.05.01 Ground transport and technological means, Orenburg State University, Orenburg

Puzakov Andrey Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Operation and Repair of Automobiles, Orenburg State University, Orenburg

Abstract. The relevance of the research is to solve the problem of maintaining the starter battery performance for uninterrupted power supply of vehicle systems and minimize the negative consequences in operation due to its failure. The aim of the research is to develop an algorithm for monitoring the technical condition of the starter battery. The modes of operation of the starter battery for the operational control of its technical condition on board the vehicle is justified. Determining the state of charge of the starter battery makes it possible to establish the efficiency of the power supply system. Calculation of the state of health makes it possible to predict the failure of the starter battery. The developed algorithm monitors the changes in the technical condition of the starter battery in real time, which allows you to effectively use its resource by maintaining the state of charge, preventing failures of starting automobile engines and sudden failure.

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

Cite as: Smirnov, D. A., Puzakov, A. V. (2022) [Development of an algorithm for monitoring the technical condition of a starter battery]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 3, pp. 39–43.

Важнейшим элементом бортовой сети автомобиля является стартерная аккумуляторная батарея (АКБ). В процессе эксплуатации нередко возника-

ют ситуации внезапного отказа АКБ. Это может быть связано как со снижением степени заряженности, так и с потерей функциональности в резуль-

тате неисправностей или старения АКБ.

Для предотвращения подобных ситуаций необходимо контролировать изменение технического состояния АКБ либо периодически путём плановой диагностики внешними средствами диагностирования, например, в условиях сервисного или автотранспортного предприятия, либо оперативно на основе бортового мониторинга. У обоих вариантов есть свои преимущества и недостатки, однако в ряде случаев (например, при эксплуатации автомобилей оперативных служб, при междугородной перевозке скоропортящихся товаров и т. п.) целесообразным является непрерывный мониторинг не только уровня напряжения бортовой сети, но и технического состояния автомобильного генератора и АКБ [2].

Наиболее просто оперативному контролю на борту автомобиля поддаётся напряжение АКБ, поэтому в основу алгоритма должно быть положено его изменение в процессе работы. Вместе с тем, текущее значение напряжения является малоинформативным параметром, так как характеризует работу АКБ либо в зарядном, либо в разрядном режимах. В первом случае напряжение бортовой сети полностью определяется работой автомобильного генератора и существенно превышает напряжение полностью заряженной АКБ. Во втором случае напряжение зависит от тока нагрузки, учёт которого

на автомобиле штатными средствами невозможен.

Следовательно, необходимо выделить в работе АКБ режимы, подходящие для оценки её технического состояния [4]. После выключения ДВС и основных потребителей напряжение АКБ снижается. Резкое падение напряжения в первоначальный момент времени (обусловленное эффектом поляризации) сменяется плавным снижением вплоть до величины, соответствующей напряжению разомкнутой цепи U_1 (*OCV, open-circuit voltage*). Спустя 2–3 часа становится возможным определение степени заряженности АКБ (*SOC, State-of-Charge*) даже без её полного отключения [5, 6].

Степень заряженности АКБ является важным параметром, позволяющим установить эффективность работы системы электроснабжения. Его изменение в процессе эксплуатации может быть вызвано отрицательным зарядным балансом (когда ток потребителей превышает ток автомобильного генератора), либо наличием тока утечки. Кроме того, в целях предупреждения внезапного выхода АКБ из строя степень заряженности должна превышать минимально необходимую (критическую) величину $SOC_{кр}$, определяемую периодом эксплуатации: в летний период эксплуатации $SOC_{кр} = 50\%$, в зимний период – $SOC_{кр} = 75\%$.

При расчёте степени заряженности АКБ общепринятым является следующее выражение

$$SOC = \frac{U_1 - U_{min}}{U_{max} - U_{min}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где

U_1 – текущее значение напряжения на выводах АКБ, В;

U_{max} – максимальное значение напряжения, соответствующее полностью заряженной АКБ. $U_{max} = 12.61$ В;

U_{min} – минимальное значение напряжения, соответствующее разряженной АКБ.

$U_{min} = 12.00$ В.

Учитывая вышесказанное, **первой опорной точкой** контроля технического состояния АКБ является значение напряжения на её выводах после включения зажигания до момента запуска двигателя. С момента остановки двигателя и выключения потребителей должно пройти не менее 3 часов для окончания протекания процесса восстановления АКБ.

Однако достаточная степень заряженности АКБ не гарантирует успешный запуск автомобильного двигателя, так как даже после её глубокого разряда она имеет тенденцию к восстановлению напряжения после нагрузки.

Для оценки пригодности АКБ к запуску автомобильного двигателя используется ещё один расчётный параметр – степень работоспособности (*SOH, State-of-Health*).

Общепринятого выражения для вычисления степени работоспособности не существует, од-

нако анализ публикаций [9, 10] позволил установить, что в общем случае значение *SOH* равно отношению текущего значения некоторого параметра АКБ к его номинальной величине. В качестве такого параметра может выступать внутреннее сопротивление, разрядная ёмкость, а также сила тока и напряжение на выводах АКБ при заданной нагрузке.

Поскольку измерение внутреннего сопротивления требует отключения АКБ, а вычисление разрядной ёмкости – весьма трудоёмкий процесс, остановимся на последних двух способах определения степени работоспособности.

По результатам тестирования АКБ с помощью тестера ICartool IC-110 было установлено, что в нём для расчёта степени работоспособности *SOH* используется квадрат отношения текущего тока к току холодного пуска [3].

$$SOH = \left(\frac{I_i}{I_{CCA}} \right)^2 \cdot 100\% \quad (2)$$

где

I_i – текущее значение тока АКБ, А;
 I_{CCA} – номинальное значение тока холодного пуска, А.

Однако для корректного вычисления степени работоспособности тестер требует отключения АКБ от потребителей, что невозможно при реализации

непрерывного мониторинга на борту автомобиля. Тогда для определения степени работоспособности АКБ воспользуемся выражением (3)

$$SOH = \frac{U_2 - U_0}{U_{new} - U_0} \cdot 100\% \quad (3)$$

где

U_2 – текущее значение напряжения АКБ под нагрузкой, В;
 U_{new} – максимальное значение напряжения под нагрузкой новой АКБ, В;
 U_0 – минимально допустимое напряжение АКБ под нагрузкой, В.

Для определения степени работоспособности по величине напряжения на выводах АКБ необходима фиксированная нагрузка, причём как можно большая с целью повышения информативности данного диагностического параметра. В работах [7, 8] в качестве такой нагрузки выступает стартерный режим разряда АКБ.

На рисунке 1 приведена диаграмма изменения напряжения АКБ в процессе пуска бензинового

двигателя легкового автомобиля, из которой следует, что в первоначальный момент времени напряжение резко падает до минимального значения U_2 , а затем постепенно увеличивается с периодическими снижениями, соответствующими тактам сжатия. Это минимальное напряжение U_2 достаточно информативный параметр, поскольку отражает величину внутреннего сопротивления АКБ (основного структурного параметра) [1].

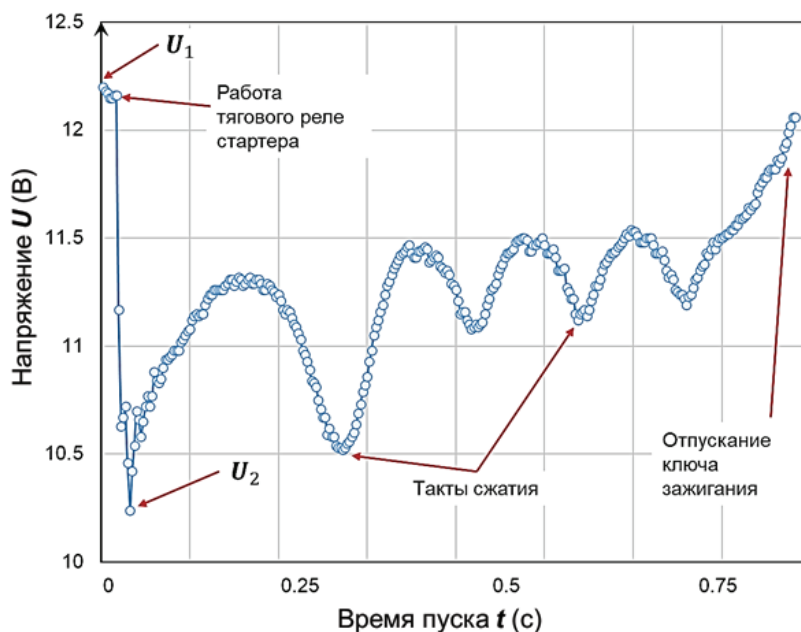


Рисунок 1. Диаграмма изменения напряжения АКБ в процессе пуска бензинового двигателя легкового автомобиля

Источник: получено и обработано авторами

Однако с этой целью пригоден только пуск двигателя, остывшего до температуры окружающе-

го воздуха (то есть холодного двигателя согласно ГОСТ Р 54120-2010 «Двигатели автомобильные».

Пусковые качества. Технические требования»). Последующие пуски оказывают существенно меньшую нагрузку на АКБ.

Значение степени работоспособности, вычисленное по формуле (3), должно превышать некоторое значение, при котором запуск двигателя будет затруднён. Согласно собственным исследованиям установлено, что если $SOH \geq 35\%$, запуск двигателя гарантирован при температурах до минус $30\text{ }^\circ\text{C}$ при соблюдении требований к степени заряженности АКБ. В то же время в ГОСТ Р 53165-2008. «Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные для автотракторной техники. Общие технические условия» в качестве критерия списания АКБ выступает снижение остаточной ёмкости до величины 40% от номинальной. Исходя из перечисленного, прием за критическое значение

степень работоспособности $SOH_{кр} = 40\%$.

Таким образом, *второй опорной точкой* для контроля технического состояния АКБ является минимальное значение напряжения на её выводах в процессе запуска двигателя. С момента остановки двигателя должно пройти 5–8 часов, необходимых для его остывания.

Разработанный алгоритм контроля технического состояния АКБ представлен на рисунке 2. Часть информации (напряжения U_1 и U_2) собирается с транспортного средства, оборудованного электронным блоком с GSM-трансмиситтером для передачи данных на автотранспортное предприятие. Основные вычисления производятся в специализированном программном обеспечении на автоматизированном рабочем месте (АРМ) диспетчера.

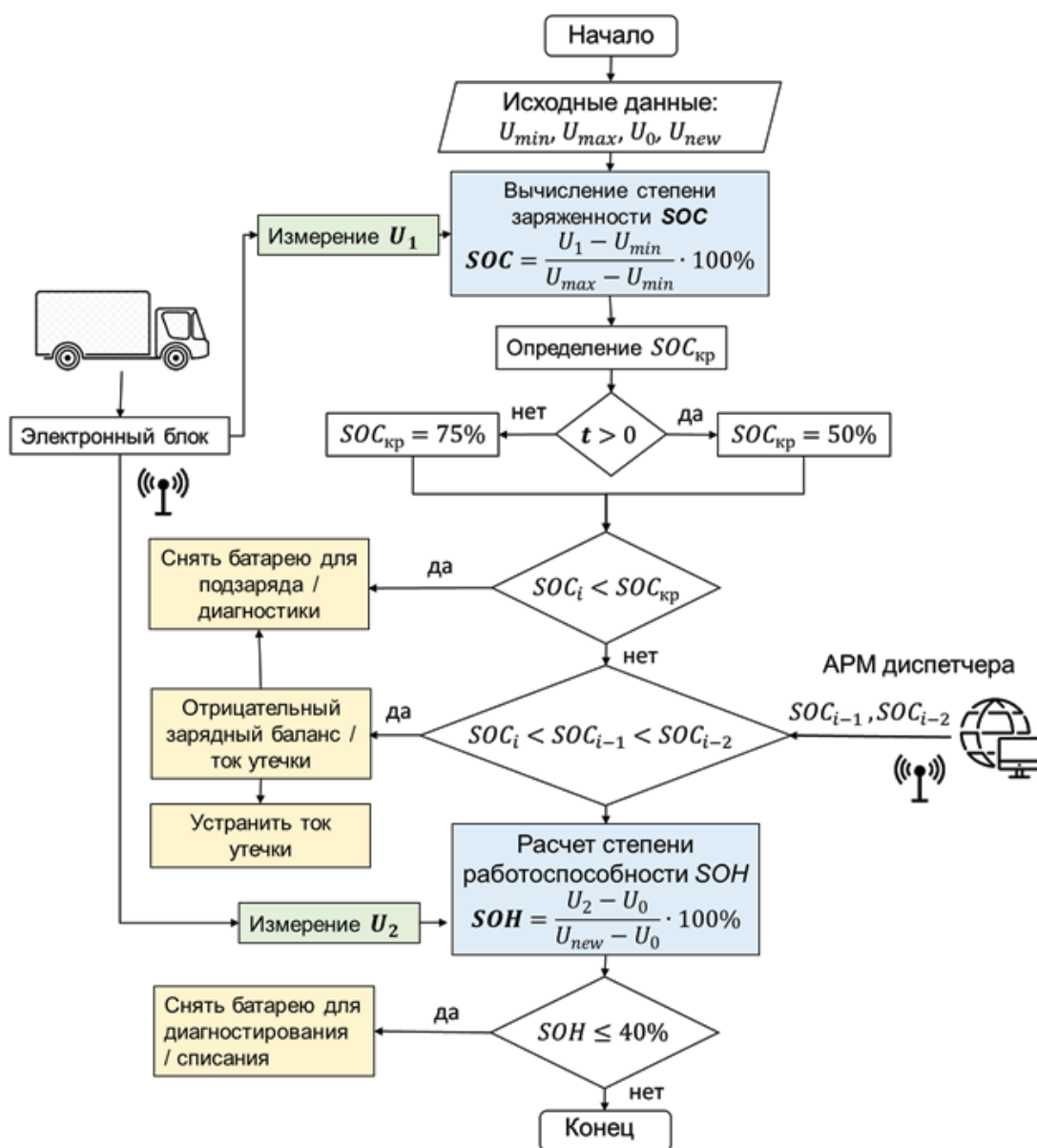


Рисунок 2. Алгоритм мониторинга технического состояния АКБ

Источник: разработано авторами

При работе системы мониторинга ежедневно вычисляется степень заряженности и степень работоспособности с выводом рекомендаций по дальнейшей эксплуатации АКБ.

Анализ значения степени заряженности даёт следующую информацию:

- снижение $SOC \leq 70\%$ говорит о необходимости заряда АКБ в ближайшее время (при проведении технического обслуживания автомобиля);
- уменьшение $SOC < SOC_{кр}$ требует немедленного заряда АКБ (эксплуатация запрещена);
- прогрессирующее снижение степени заря-

женности по результатам трёх и более дней говорит об отрицательном балансе электроэнергии на автомобиле или наличии значительно тока утечки, который необходимо устранить.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет отслеживать в режиме реального времени изменение технического состояния АКБ, что способствует эффективно использовать его ресурс, прогнозировать выход из строя, управлять запасами на предприятии, а также предотвращать отказы запуска двигателя.

Литература

1. Постников А. А. Экспериментальное исследование изменения внутреннего сопротивления свинцово-кислотного аккумулятора // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – Вып. 5. – С. 415–422.
2. Пузаков А. В. Бортовое диагностирование системы электроснабжения автомобилей // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Евразийское сотрудничество: сборник материалов XV международной научно-практической конференции. – Оренбург: ОГУ, 2020. – С. 497–504.
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. Разработка нагрузочного режима стартерной аккумуляторной батареи // Грузовик. – 2020. – № 11. – С. 30–34.
5. Chiasson J., Vairamohan B. Estimating the state of charge of a battery. IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 13, no. 3, pp. 465–470, 2005. <https://doi.org/10.1109/TCST.2004.839571>.
6. Danko M. et al. Overview of batteries State of Charge estimation methods. Transportation Research Procedia. 40, pp. 186–192. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.029>.
7. Grube R. J. Automotive Battery State-of-Health Monitoring Methods, 2008. Theses Dissertations
8. Kerley R., Hyun J. H., Ha D. S. Automotive lead-acid battery state-of-health monitoring system, 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2015, pp. 003934–003938, <https://doi.org/10.1109/IECON.2015.7392714>.
9. Khare N., Chandra S., Govil R. Statistical modeling of SoH of an automotive battery for online indication. IEEE 30th International Telecommunications Energy Conference. Pp. 1–7, 2008. <https://doi.org/10.1109/INTLEC.2008.4664086>.
10. Ramadan M. N. et al. Comparative Study Between Internal Ohmic Resistance and Capacity for Battery State of Health Estimation. Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology, vol. 6, no. 2, pp. 113–122, 2015.

Статья поступила в редакцию: 12.05.2022; принята в печать: 25.08.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.