

УДК 629.3

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БОРТУ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Копылов Кирилл Евгеньевич**, студент, специальность 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: bullka.gum@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 проблемы вызвана негативным влиянием неисправностей системы электроснабжения на работу потребителей. Целью статьи является установление характера изменения диагностических параметров системы электроснабжения в процессе возникновения неисправностей. Для решения поставленной задачи был использован метод физического моделирования неисправностей, заключающийся в демонтаже диода для создания обрыва цепи, физическом отключении фазы обмотки статора и шунтировании элементов для имитации короткого замыкания, позволяющий значительно ускорить получение результатов. Установлен характер изменения напряжения и токов системы электроснабжения при моделировании неисправностей батареи и генератора для выделения зон, отражающих степень тяжести различных неисправностей. Практическую значимость представляет алгоритм определения технического состояния системы электроснабжения на борту транспортных средств. Дальнейшие исследования будут посвящены разработке технических средств для реализации предложенного алгоритма.

**Ключевые слова:** система электроснабжения автомобиля, автомобильный генератор, аккумуляторная батарея, моделирование неисправностей, алгоритм.

**Для цитирования:** Копылов К. Е., Пузаков А. В. Диагностирование технического состояния системы электроснабжения на борту транспортных средств // Шаг в науку. – 2024. – № 3. – С. 29–35.

## DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE POWER SUPPLY SYSTEM ON BOARD VEHICLES

**Kopylov Kirill Evgenevich**, student, specialty 23.05.01 Ground transport and technological systems, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: bullka.gum@gmail.com

**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  
e-mail: and-rew78@yandex.ru

**Abstract.** The relevance of the problem is caused by the negative impact of power supply system faults on the work of consumers. The purpose of the article is to establish the nature of changes in the diagnostic parameters of the power supply system in the process of faults occurrence. In order to solve the set task the method of physical modelling of faults was used, which consists in dismantling the diode to create an open circuit, physical disconnection of the stator winding phase and shunt elements to simulate a short circuit. The nature of the changes in the voltage and currents of the power system during simulation of battery and alternator faults is established to highlight zones reflecting the severity of the various faults. The algorithm for determining the technical condition of the power supply system on board vehicles is of practical significance. Further research will be devoted to the development of technical means for the implementation of the proposed algorithm.

**Key words:** vehicle power supply system, vehicle alternator, battery, fault modelling, algorithm

**Cite as:** Kopylov, K. E., Puzakov, A. V. (2024) [Diagnostics of the technical condition of the power supply system on board vehicles]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 3, pp. 29–35.

Целью статьи является установление характера изменения диагностических параметров системы электроснабжения в процессе физического моделирования типичных неисправностей для разработки алгоритма их выявления на борту транспортных средств.

Неисправности в работе системы электроснабжения способны вызвать изменение уровня напряжения

бортовой сети, возникновение пульсаций напряжения, перебои в работе потребителей [5; 6]. Неисправности системы электроснабжения можно сгруппировать по частоте возникновения (выделены черным цветом), а также с учетом тяжести последствий возникновения (выделены белым цветом) (рисунок 1).

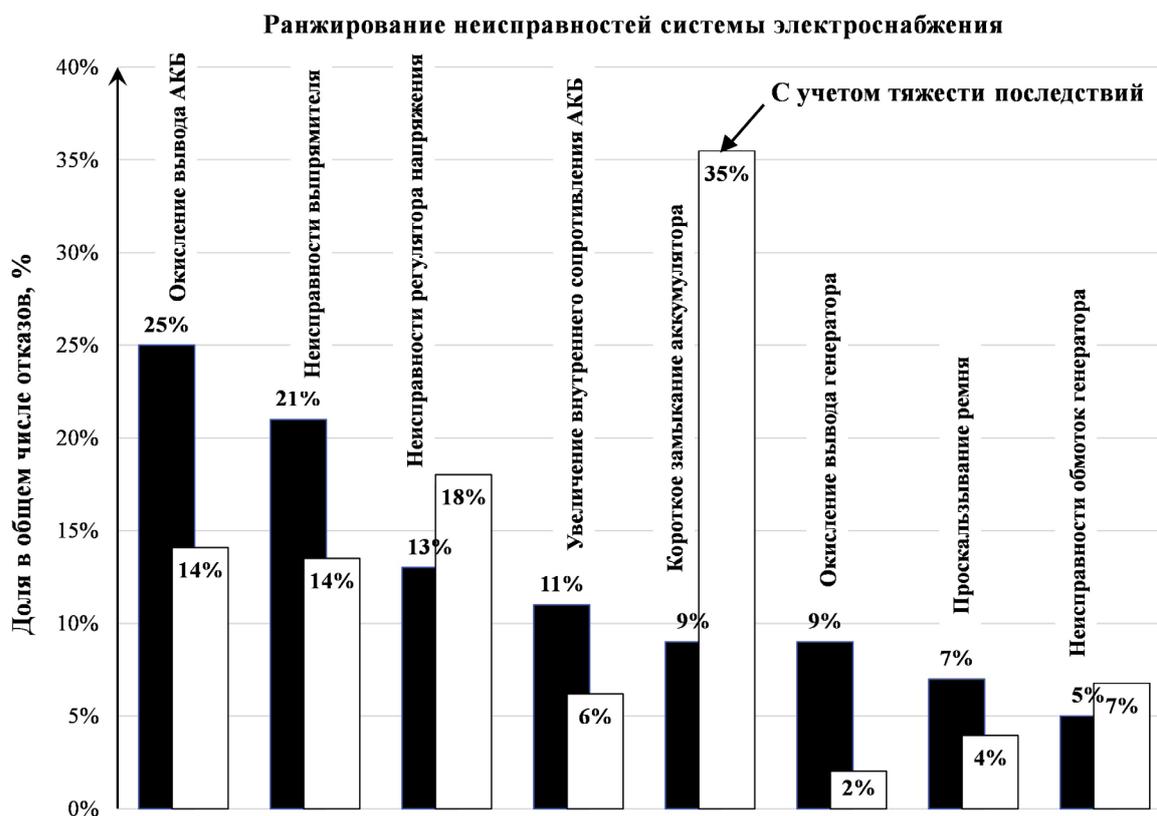


Рисунок 1. Неисправности системы электроснабжения

Источник: разработано авторами

Для определения тяжести последствий возникновения той или иной неисправности воспользуемся величиной отклонения напряжения бортовой сети от номинального (14 В) (рисунок 2).

С учетом вышеизложенного, некоторые часто встречающиеся неисправности, не оказывающие серьезного влияния на работу потребителей, расположились ниже исходного распределения (окисление выводов генератора и батареи). Другие же, несмотря на редкость возникновения, расположились выше из-за большего вреда для потребителей (короткое замыкание аккумуляторной батареи).

Работу системы электроснабжения автомобилей можно охарактеризовать следующими диагностическими параметрами [1; 3; 7]: сила тока генератора  $I_T$ ,

сила тока аккумуляторной батареи  $I_B$ , напряжение аккумуляторной батареи (бортовой сети)  $U_B$ , напряжение генератора  $U_T$ .

Изменение текущих значений самих параметров, а также количественных отношений между ними, может быть положено в основу определения технического состояния системы электроснабжения на борту транспортного средства.

Нами предложена оценка работы системы электроснабжения с помощью внешних (вольтамперных) характеристик автомобильного генератора и аккумуляторной батареи.

Результаты эксперимента в виде внешних характеристик (зависимость напряжения от тока) представлены на рисунке 3.

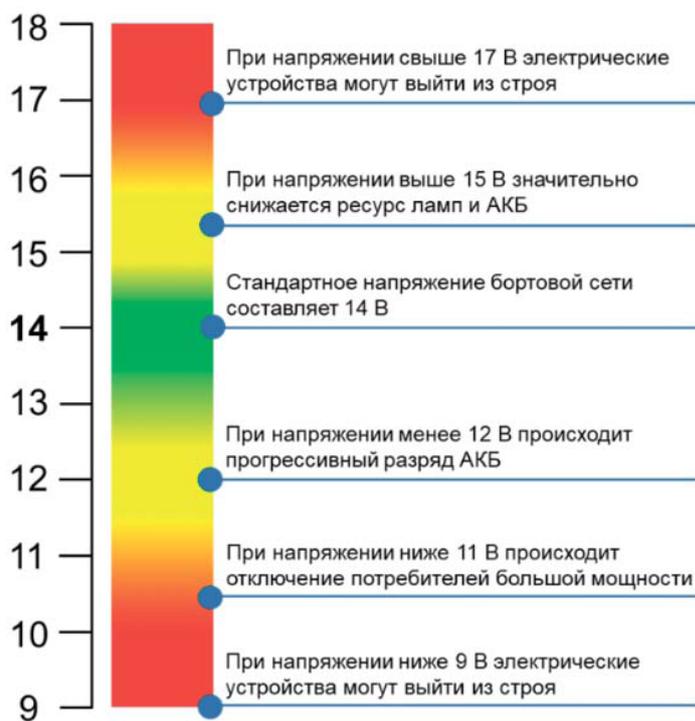


Рисунок 2. Влияние уровня напряжения на работу потребителей

Источник: разработано авторами

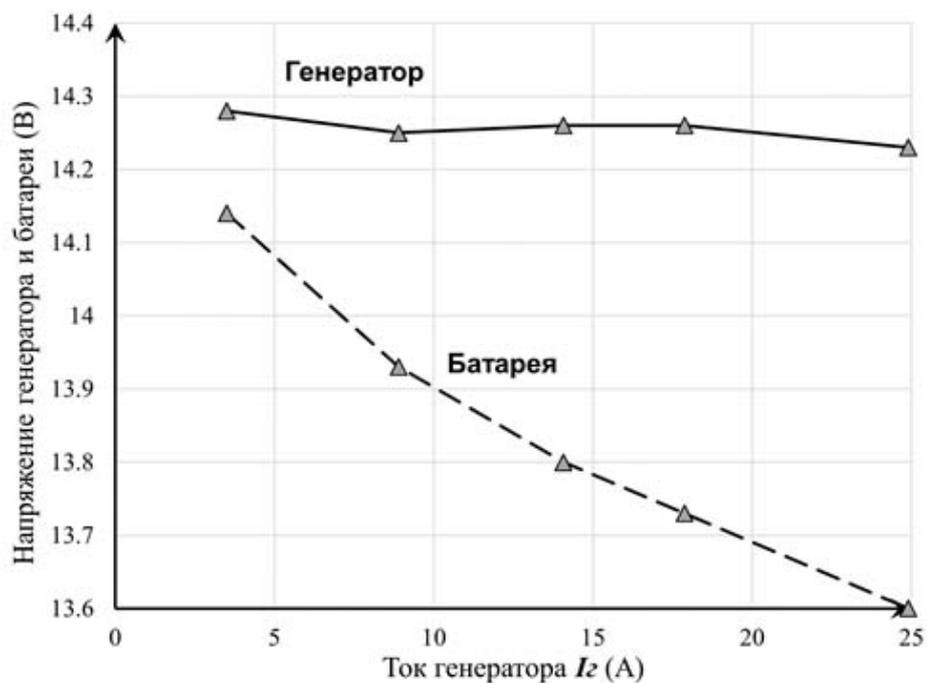


Рисунок 3. Внешние характеристики исправных генератора и аккумуляторной батареи

Источник: разработано авторами

Минимальное значение потребляемого тока современного автомобиля составляет примерно 10 А. Напряжение генератора с увеличением нагрузки практически не изменяется и находится в диапазоне  $14.25 \pm 0.2$  В. Напряжение батареи с ростом нагрузки снижается по причине падения напряжения в соеди-

нительных проводах.

Для ускорения экспериментов вышеуказанные неисправности были смоделированы в лабораторных условиях [4]. Схема физического моделирования неисправностей системы электроснабжения представлена на рисунке 4.

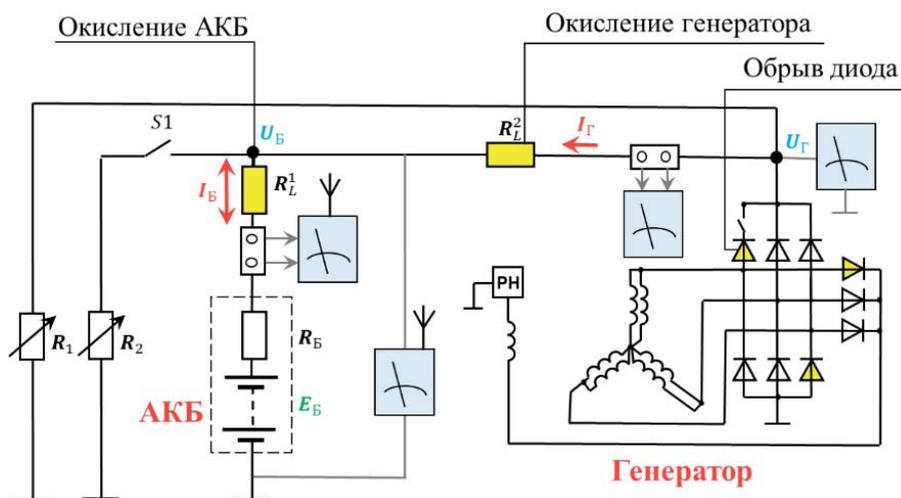


Рисунок 4. Схема физического моделирования неисправностей системы электроснабжения  
 Источник: разработано авторами

Результаты экспериментов по физическому моделированию неисправностей, представленные в виде внешних характеристик генератора [2], приведены на рисунке 5.

Из рисунка 5 следует, что выходное напряжение исправного генератора незначительно снижается с ростом тока нагрузки, что обусловлено падением напряжения на выпрямителе и обмотке статора генератора.

Выходное напряжение генератора при окислении силового вывода практически не изменяется, так как основным источником тока на автомобиле становится аккумуляторная батарея.

Так как в конструкции выпрямителя можно выделить три группы диодов, в работе проанализировано влияние единичных отказов диодов этих групп. Неисправность диода положительной группы приводит к снижению напряжения относительно исправного генератора. Следовательно, эту неисправность можно отнести к отказам средней тяжести. Также в эту категорию можно отнести отказ диода отрицательной группы, который сопровождается повышением напряжения.

Самой опасной неисправностью следует признать отказ одного из дополнительных диодов, так как в этом случае напряжение генератора значительно превышает номинальные значения. Следовательно, такой вариант

отказа необходимо классифицировать как неисправность высокой степени тяжести. К этой же категории, по своему влиянию на выходное напряжение генератора, относится обрыв одной из фаз обмотки статора.

Короткое замыкание генератора сопровождается значительным снижением уровня напряжения, избыточным выделением тепла, а также повышенным уровнем шума. В следствие этого, данную неисправность следует отнести к вышеописанной категории.

Неисправности регулятора напряжения, по своему происхождению, могут вызывать как повышение, так и понижение уровня напряжения генератора. Из-за широкого диапазона влияния на выходное напряжение, данную неисправность можно соотнести как с категорией средней, так и с высокой степенью тяжести.

Результаты экспериментов, представленные в виде внешних характеристик аккумуляторной батареи, приведены на рисунке 6.

На рисунке 6 можно выделить зарядный (справа) и разрядный (слева) режимы аккумуляторной батареи. Внешняя характеристика исправной батареи описывается линейной зависимостью с изломом, соответствующей смене режимов. Внешняя характеристика батареи со значительной наработкой располагается ниже, что обусловлено ростом внутреннего сопротивления.

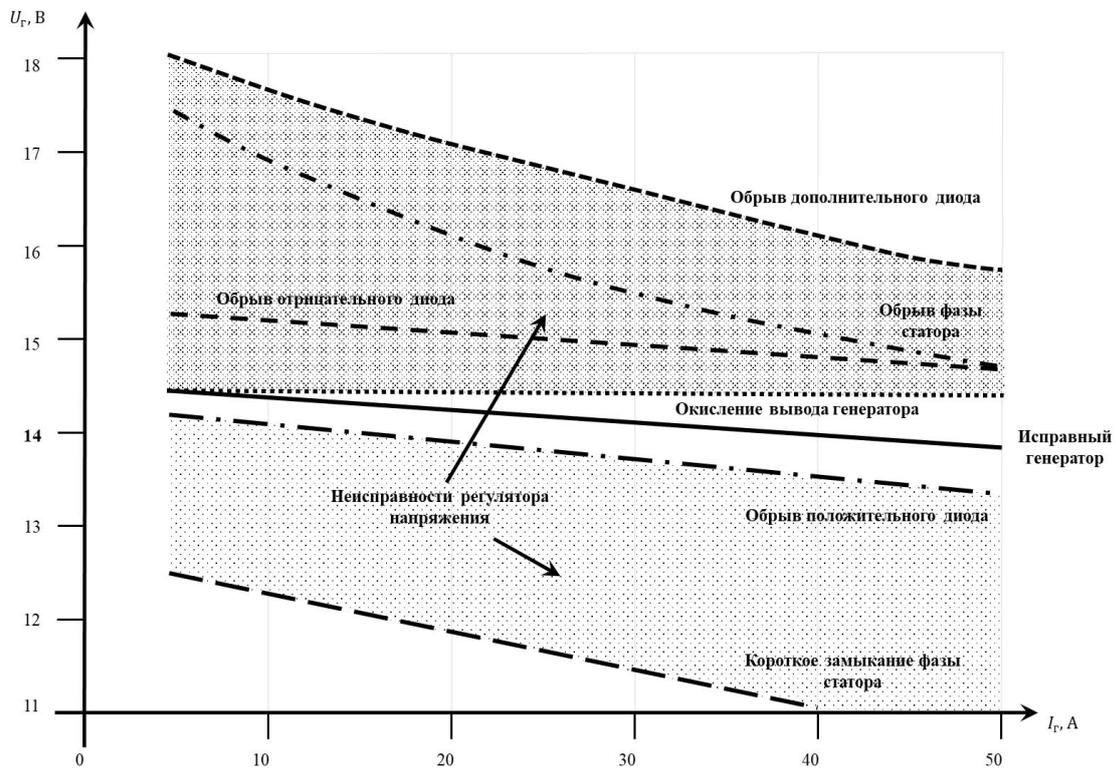


Рисунок 5. Схема физического моделирования неисправностей системы электроснабжения  
Источник: разработано авторами

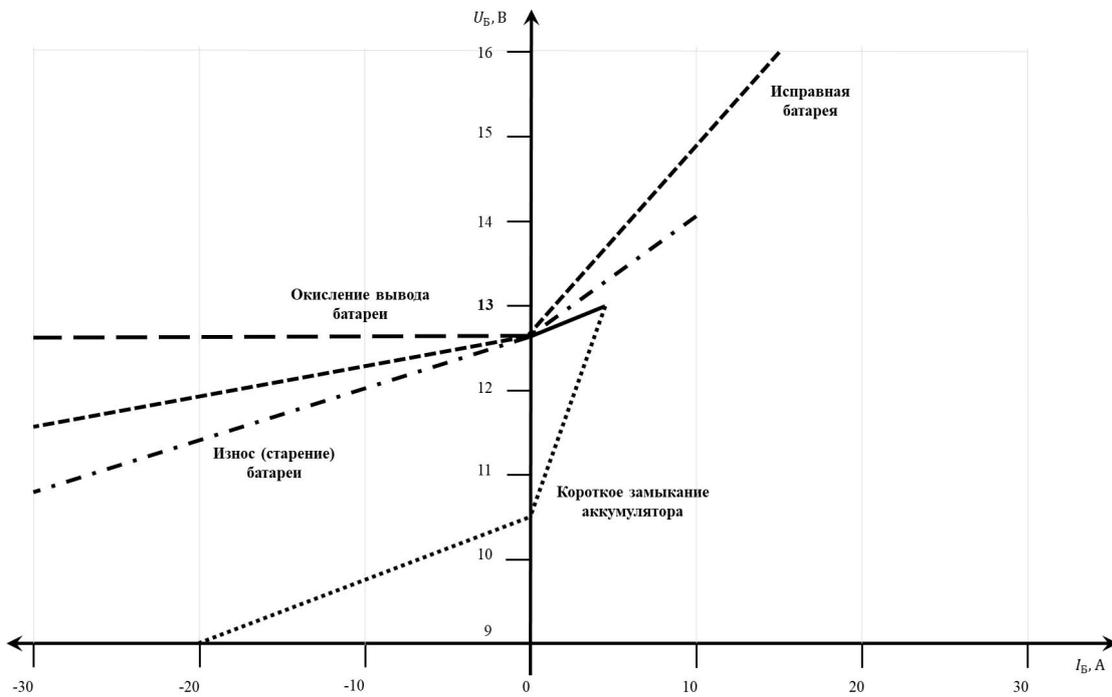


Рисунок 6. Зонирование неисправностей аккумуляторной батареи по внешней характеристике  
Источник: разработано авторами

Окисление вывода батареи приводит к тому, что она не участвует в электроснабжении потребителей, но продолжает принимать небольшой зарядный ток. Короткое замыкание одного из аккумуляторов батареи приводит к снижению напряжения разомкнутой цепи примерно на 2 В. Это приводит к увеличению разности напряжений генератора и батареи, что провоцирует чрезмерный рост зарядного тока (до 40 А).

Таким образом, установлено, что возникновение неисправностей системы электроснабжения может

быть идентифицировано с помощью внешних характеристик.

Для практического использования полученных результатов исследования необходимо разработать алгоритм определения технического состояния системы электроснабжения на борту транспортных средств.

В основу алгоритма (рисунок 7) положены данные, известные изначально (номинальное напряжение генератора  $U_{Г}^{ном}$ ) и диагностическая информация (текущее напряжение генератора  $U_{Г}$ , текущее значение тока батареи  $I_{Б}$ ).

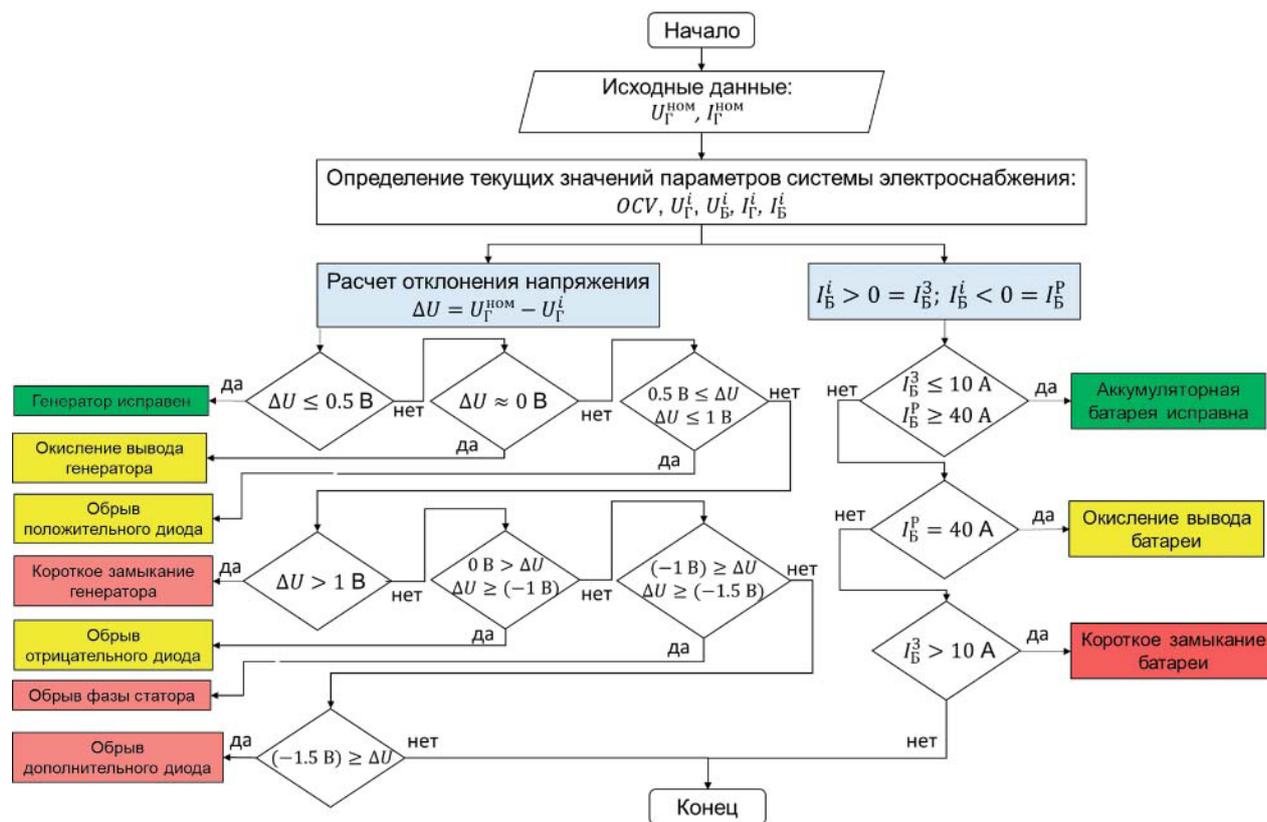


Рисунок 7. Алгоритм определения технического состояния системы электроснабжения на борту транспортных средств

Источник: разработано авторами

На первом этапе рассчитывается отклонение напряжения генератора от номинального значения. С помощью полученной величины можно определить техническое состояние автомобильного генератора. При отклонении напряжения на величину не более 0,5 В генератор считается исправным. Если отклонение близко к 0, то это говорит об окислении вывода генератора. Абсолютная разность напряжений в диапазоне от 0,5 В до 1 В позволяет говорить об обрыве силовых диодов. Когда отрицательная величина отклоне-

ния превышает 1 В, это свидетельствует о коротком замыкании фазы статора или диода выпрямителя. Значительное положительное отклонение указывает на обрыв дополнительного диода.

На втором этапе оценивается техническое состояние аккумуляторной батареи, для чего вычисляются величины зарядного и разрядного токов. Отсутствие разрядного тока свидетельствует об окислении вывода батареи. Чрезмерно высокая величина зарядного тока говорит о коротком замыкании одного из аккумуля-

муляторов батареи. В иных случаях батарея считается исправной.

Так как неисправности системы электроснабжения негативно влияют на работу потребителей, то актуальной задачей является их своевременное выявление на борту транспортных средств. Для решения поставленной задачи был использован метод физиче-

ского моделирования неисправностей, позволяющий управлять процессом изменения технического состояния агрегатов системы электроснабжения. Установлен характер изменения напряжения и токов системы электроснабжения при моделировании неисправностей батареи и генератора, позволяющий определить степень тяжести различных неисправностей.

### Литература

1. Копылов К. Е. Оперативный контроль параметров системы электроснабжения автомобиля // Международная научно-техническая конференция. В 2-х томах, Тюмень, 21 апреля 2022 года. Том I. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 190–194.
2. Копылов К. Е., Телегин А. В. Определение состояния системы электроснабжения автомобиля на основе мониторинга выходного напряжения // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень, 07–09 декабря 2021 года / Отв. редактор П. В. Евгин. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 151–154.
3. Пузаков А. В., Копылов К. Е. Исследование напряжения автомобильного генератора при работе в составе системы электроснабжения // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Омск, 25–26 ноября 2021 г. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – С. 119–124.
4. Пузаков А. В., Копылов К. Е. Результаты моделирования неисправностей системы электроснабжения на борту автомобиля // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Омск, 23–24 ноября 2023 г. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2023. – С. 258–263.
5. Чернов А. Е., Акимов А. В. Повышение энергетической эффективности системы электрооборудования автотранспортных средств // Известия МГТУ МАМИ. – 2019. – № 1 (39). – С. 67–76. – <https://doi.org/10.31992/2074-0530-2019-39-1-67-76>.
6. Nagashima N. et al. (2007) Construction of Highly-Accurate Simulation Model in Automobile's Power System. *7th WSEAS International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines*. Venice, Italy, November 21-23, pp. 67–73.
7. Wang S. et al. (2008) Monitoring System for Vehicle Power Supply Based on CAN Bus. *2008 Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*. pp. 323–326. – <https://doi.org/10.1109/ISDA.2008.32>.

Статья поступила в редакцию: 23.04.2024; принята в печать: 03.09.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.