

Голованов В.С., Хасанов Р.Х.  
Оренбургский государственный университет  
E-mail: golovanov-vs@mail.ru

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

**В работе дана оценка роли влияния технического состояния электрооборудования на безопасность эксплуатации автомобиля. Проанализированы современные методы диагностирования технического состояния электрооборудования автомобиля. Предложена гипотеза о зависимости значений нагрева элементов от неисправности систем электрооборудования и обоснован характеризующий его диагностический параметр.**

**Ключевые слова:** автотранспортное средство, электрооборудование, диагностический параметр, безопасность.

Среди основных факторов, определяющих эффективность эксплуатации автомобилей, ведущее место принадлежит системе технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р), её научной обоснованности и совершенствованию. Большое значение в развитии системы ТО и Р имеет техническая диагностика. По мере дальнейшего увеличения парка автотранспортными средствами (АТС) и численности водителей, усложнения конструкции АТС и ужесточения требований к их безопасности и надежности роль технической диагностики возрастает. Развитие высокотехнологичных электронных систем современных АТС задают новые требования к выполнению фундаментальных задач технической диагностики: контроля технического состояния, определения места и причины отказа, прогнозирования технического состояния элементов автомобиля [1], [2].

Проблемам диагностики технического состояния автомобилей различных систем и узлов автомобиля посвящены научные труды И.Н. Аринина, В.В. Болотина, М.Д. Генкина, В.С. Малкина, Н.В. Морозова, Г.В. Крамаренко, В.Е. Ютта и других ученых и специалистов. Тенденции совершенствования контроля технического состояния определяют развитие методов диагностирования, которые безошибочно определяют техническое состояние АТС и являются информативными, надежными и менее трудоемкими.

Анализ научных исследований показал прогресс за последние годы в создании и совершенствовании методов и способов оценки технического состояния двигателя, трансмиссии, кузова, тормозной системы, подвески, рулевого управления. Однако недостаточное внимание в

плане диагностирования уделяется электрооборудованию автомобиля, обеспечивающему не только надежное функционирование, автоматизацию рабочих процессов, комфортные условия для водителя и пассажиров, но и безопасность дорожного движения [1], [3].

Важным аспектом рассматриваемого вопроса, является прямая взаимосвязь исправного технического состояния электрооборудования с уровнем активной, пассивной, экологической, послеаварийной и противопожарной безопасности автомобиля. Так, например, безотказное состояние электронного блока управления двигателя, двигателя электроусилителя рулевого управления позволяет снизить риск возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и последствий после них. Анализ причин ДТП на территории Российской Федерации показывает, что на долю технической неисправности АТС приходится более 15% аварий от общих количества [2]. В это число входят также неисправности электрооборудования. Согласно данным, предоставленной организацией, оказывающей услуги по проведению технического осмотра на территории г. Оренбурга и Оренбургской области, более 75% АТС при первом обращении имеют несоответствия эксплуатационных показателей от установленных норм по которым эксплуатация запрещена. Кроме того, по результатам эксплуатационных наблюдений за автомобилями в 2013г. городской станцией скорой медицинской помощи г. Оренбурга, установлено, что неисправность элементов электрооборудования явилась в 32% случаях поводом для постановки АТС на текущий ремонт. При обработке статистических данных МЧС РФ определено, что 16% возгораний АТС

возникают вследствие неисправностей элементов электрооборудования [3].

В настоящее время в автообслуживающих предприятиях при диагностировании элементов электрооборудования применяют различные методы, которые определяют величину обратного тока и напряжения у реле обратного тока; регулируемое напряжение и ток у ограничителя тока; генератор диагностируют по характеру работы в режиме электродвигателя, а так же по оборотам начала и максимальной отдаче; стартер проверяют в режиме полного торможения; визуально проверяют состояние датчиков и измерителей приборов и т. п. Кроме того, проверяют целостность изоляции и сопротивление в электрических цепях [4]. Вышеописанные методы диагностирования позволяют выявить неисправности основных элементов электрооборудования автомобиля и определить направление углубленного анализа при структурном исследовании технического состояния. Однако они имеют следующие недостатки:

- большую трудоемкость диагностирования электрооборудования;
- отсутствие комплексного подхода;
- некорректные методы определения технического состояния электрооборудования;
- несоответствие критериям информативности, однозначности, стабильности и чувствительности.

С учётом сформулированных недостатков существующих методов диагностирования необходимо создать комплексную систему с наименьшими затратами труда и использованием современных технологических устройств.

В предлагаемую методику диагностирования положена следующая теоретическая основа. При эксплуатации электрооборудования автомобиля, часть передаваемой по проводникам электрической энергии преобразуется в тепловую. Увеличение температуры проводника при работе сопровождается ростом активного сопротивления, следовательно, и количеством выделяющегося тепла. При разнице показателей температуры электрической цепи и окружающей среды ( $\theta_{\text{эв}} - \theta_{\text{нв}}$ ) возникает установившееся значение превышения нагрева ( $\theta_{\text{уст.н}}$ ) проводника, что приводит к аварийному режиму работы электрооборудования [6]. Рассмотрим описываемый процесс аналитически.

Количество выделяемого тепла пропорционально квадрату тока  $I$  и активному сопротивлению проводника  $r$ . Зная установившуюся величину превышения нагрева  $\theta_{\text{уст.н1}}$  при какой-либо длительной нагрузке  $I_1$ , можно рассчитать  $\theta_{\text{уст.н2}}$  для любой другой длительной нагрузке  $I_2$ :

$$\theta_{\text{уст.н2}} = \theta_{\text{уст.н1}} \left( \frac{I_2}{I_1} \right)^2. \quad (1)$$

Допустимые температуры нагрева проводников ( $\theta_{\text{дон.пр.}}$ ) при длительно допустимой токовой нагрузке  $I_{\text{дон.}}$  являются табличными значениями. На основе этих данных можно определить величину установившегося превышения нагрева при допустимой токовой нагрузке:

$$\theta_{\text{уст.н } I_{\text{дон}}} = \theta_{\text{дон.пр.}} - \theta_{\text{сп.}} \quad (2)$$

Процесс нагрева проводника током  $I$  описывается дифференциальным уравнением теплового баланса:

$$I^2 r dt = C d\theta + A \theta dt, \quad (3)$$

где  $r$  – погонное сопротивление жилы проводника, Ом/км;

$C$  – теплоемкость 1 км проводника, Вт·с/(град·км);

$\theta$  – величина превышения нагрева проводника относительно окружающей среды, °C;

$A$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(град·км);

$t$  – время, с.

Уравнение (3) можно преобразовать к более удобному для решения виду:

$$\tau \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_m, \quad (4)$$

где  $\tau = C / A$  – постоянная времени нагрева проводника, с;

$\theta_m = \frac{I^2 r}{A}$  – максимальная значение величины превышения нагрева проводника при токе  $I$ .

Решением уравнения (4) является:

$$\theta(t) = \theta_m (1 - \exp(-\frac{t}{\tau})) + \theta_0 \exp(-\frac{t}{\tau}), \quad (5)$$

где  $\theta_0$  – начальное значение величины превышения нагрева проводника, °C.

В большинстве легковых автомобилей применяются предохранители с номинальными показателями защищаемой цепи 10, 15, 20, 25, 40, 60 А.

Согласно данным нормативно-технической документации работа элементов электрической цепи электрооборудования должна прерываться за счет использования предохранителей при превышении значения номинального тока в 2 раза не более, чем за 5 секунд, а при превышении этого значения в 3 раза не более, чем за 2 секунды [5].

Определим в установленный период времени температуру нагрева электрической цепи при эксплуатации электрооборудования в аварийном режиме, а полученные результаты экспериментальных исследований и расчетов по ранее приведенным формулам представлены в таблице 1.

Качественный анализ изменений параметров и показателей технического состояния элементов электрооборудования автомобиля в процессе эксплуатации показал наличие связи. Поэтому в качестве гипотезы решено использовать предположение о том, что диагностическим параметром может выступить значением нагрева проводника (электрической цепи) при неисправности элементов электрооборудования. Для чего необходимо проверить соответствие выбранного диагностического параметра требованиям однозначности, стабильности и информативности [6], [7].

Требование **однозначности** предусматривает соблюдение условия, когда каждому значению структурного или функционального параметра соответствует единственное значение диагностического параметра. Для обоснования критерия одно-

значности проведены экспериментальные исследования электрической цепи с номинальным значением силы тока 7,5 А. Результаты исследования представлены на рисунке.

Согласно полученным данным, каждому значению времени нагрева элементов неисправной цепи соответствует определенный показатель температуры. Следовательно, анализируемый объект исследования соответствует требованию однозначности и является предпочтительным для диагностирования. Результаты исследования представлены на рисунке 1.

На рисунке  $f^1(\theta_{7,5A})$  и  $f^2(\theta_{7,5A})$  – плотности распределения диагностического параметра при неисправном и исправном техническом состоянии электрооборудования соответственно,  $f^{1*}(\theta_{7,5A})$  и  $f^{2*}(\theta_{7,5A})$  – верхняя граница значений диагностического параметра при неисправном и исправном техническом состоянии электрооборудования соответственно.

**Информативность** диагностического параметра характеризует достоверность диагноза по

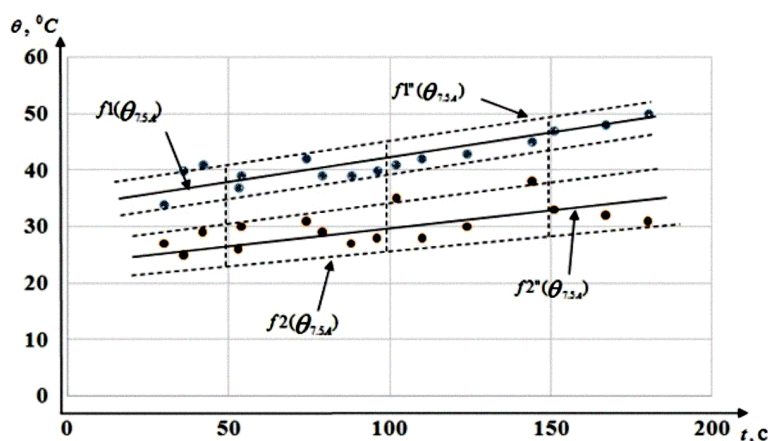


Рисунок 1. Результаты экспериментальных исследований электрической цепи с номинальным значением силы тока 7,5 А

Таблица 1. Результаты расчетных и экспериментальных исследований электрической цепи электрооборудования

Температура окружающей среды, °C	25						
Установившиеся значение нагрева проводника, °C	150						
Увеличение значения силы тока в проводнике	2						
Установившиеся значение нагрева проводника при двукратном увеличении силы тока, °C	500						
Номинальное значение силы тока цепи, А	7,5	10	15	20	25	30	60
Постоянная времени нагрева проводника, с	18	16,8	15	12	9	6	3
Время, с	5						
Значение нагрева проводника при двукратном увеличении силы тока за 5 секунд, °C	117	124	137	165	207	275	399

результатам контроля этого параметра. Определим информативность, анализируя плотности распределения  $f^1(\theta_{7,5,4})$  и  $f^2(\theta_{7,5,4})$  диагностического параметра  $\theta_{7,5,4}$ , соответствующие исправному и неисправному техническому состоянию электрооборудования. Представленные на рисунке зависимости не отражают степень перекрытия плотностей, следовательно, вероятность возникновения возможных ошибок при использовании данного параметра для постановки диагноза исключена.

**Чувствительность.** При исследовании диагностического параметра электрооборудования АТС наблюдается приращение его значения при изменении времени процесса диагностирования. Соблюдение данного условия позволяет сделать вывод о соответствии данного параметра критерию чувствительности.

**Стабильность** диагностического параметра определяется вариацией его значений при многократных измерениях на объектах с одним и тем же состоянием. Разброс значений параметра выражен средним квадратичным отклонением, которое следует рассчитать для заведомо исправного и неисправного технического состояния электрооборудования. Для оценки стабильности диагностического параметра нагрева электрической цепи используем критерий:

$$J(\theta_x) = \frac{|\bar{\theta}_{x1} - \bar{\theta}_{x2}|}{\sigma_{x1} + \sigma_{x2}}, \quad (6)$$

где  $\bar{\theta}_{x1}$  и  $\bar{\theta}_{x2}$  – средние значения нагрева элементов электрической цепи (номиналом 7,5, 10, 15, 20, 25, 30 и 60 А) соответственно для заведомо исправного и неисправного состояния электрооборудования (определенные экспериментальным путем);  $\sigma_{x1}$  и  $\sigma_{x2}$  – средние квадратические

отклонения параметров соответственно для заведомо исправного и неисправного состояния электрооборудования:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(\sum \theta_x - \bar{\theta}_x)^2}{n}}, \quad (7)$$

где  $(\sum \theta_x - \bar{\theta}_x)^2$  – сумма разности квадратов между каждым показателем значения нагрева элементов электрической цепи и суммы квадратов отклонений,  $n$  – объем выборки.

По результатам многократных измерений объектов с одним и тем же состоянием, разброс значений равен:

$$J(\theta_{10,4}) - 0,06; J(\theta_{15,4}) - 0,09; J(\theta_{20,4}) - 0,07;$$

$$J(\theta_{25,4}) - 0,06; J(\theta_{30,4}) - 0,08; J(\theta_{60,4}) - 0,04.$$

Определенный разброс показаний относительно небольшой, следовательно, такой диагностический параметр можно считать стабильным.

По результатам исследования процесса нагрева электрических цепей электрооборудования на предмет соответствия требованиям однозначности, стабильности и информативности можно сделать вывод о возможности использования данного диагностического параметра для оценки технического состояния. Ценность параметра заключается в возможности создания такой диагностической системы, которая обладает следующими преимуществами перед аналогами: отсутствие необходимости применения сложных диагностических приборов, простота выполнения работ, небольшое время диагностирования системы электрооборудования автомобиля. Данный метод позволит предупредить отказы элементов электрооборудования обеспечивающих безопасность движения, следовательно, сократить количество ДТП и пожаров на автомобильном транспорте.

14.06.2014

#### Список литературы:

1. Тарасов, А.И. Оценка технического состояния двигателей в процессе эксплуатации и ремонта автомобилей автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.И. Тарасов. – Орел, 2013. – 16 с.
2. Оценка эксплуатационных факторов, определяющих техническое состояние элементов электрооборудования автомобилей / Е.В. Бондаренко, Р.Х. Хасанов, Е.С. Сидорин, В.С. Голованов // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XI всероссийской науч.-практ. конф. с межд. участием / Пермский нац. исслед. политех. ун-т. – 2014. – С. 61–70.
3. О взаимосвязи противопожарной безопасности и параметров автомобилей технического состояния автомобилей / Е.В. Бондаренко, Р.Х. Хасанов, Е.С. Сидорин, В.С. Голованов // Мир транспорта и технологических машин, 2011. – №4 (35). – С. 73–80.
4. Обеспечение безопасности автотранспортных средств с учетом технического состояния элементов электрооборудования / Е. В. Бондаренко, Р. Х. Хасанов, Е. С. Сидорин, В. С. Голованов // Мир транспорта и технологических машин, 2012. – №2 (37) – С. 96–100.
5. ГОСТ Р50339.0-2003. Предохранители плавкие низковольтные. – Введ. 2005-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.
6. Хасанов, Р.Х. Диагностирование электрооборудования, как элемент обеспечения безопасности автотранспортных средств / Р.Х. Хасанов, Е.С. Сидорин, В.С. Голованов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы всероссийской науч.-метод. конф. с междунар. участием / Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург, 2013. С. 648–651.

7. Хасанов, Р.Х. Повышение безопасности автомобиля на основе совершенствования процесса диагностирования / Р.Х. Хасанов, Е.С. Сидорин, В.С. Голованов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе, 2013. – Т. 2. – С. 410–413.

Сведения об авторах:

**Голованов Виталий Сергеевич**, аспирант кафедры автомобилей и безопасности движения транспортного факультета Оренбургского государственного университета,  
e-mail: mixadance1989@mail.ru

**Хасанов Рустем Халилович**, доцент кафедры автомобилей и безопасности движения транспортного факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: hasanov\_r@mail.ru

460000, г. Оренбург, пр-т Победы, ауд. 10202, тел. (3532) 912228