

## Разработка и обоснование метода диагностирования автотракторных стартеров

*М.И. Филатов, д.т.н., профессор, А.В. Пузаков, к.т.н.,  
А.Д. Киданов, соискатель, ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ*

Автомобиль и трактор, как сложная система взаимодействующих элементов, агрегатов и механизмов, обеспечивают своё функционирование благодаря заложенной надёжности, с одной стороны, и совершенствованию методов технического воздействия на автотракторные средства для обеспечения работоспособности, с другой стороны.

Несмотря на высокую надёжность, техническое состояние агрегатов, систем, узлов и деталей автотракторных средств в условиях эксплуатации изменяется и периодически наступают отказы.

Существенная доля отказов электрооборудования объясняется постоянно расширяющейся номенклатурой изделий, повышением их технической сложности и согласуется с данными других исследователей [1 – 3]. На автотракторное электрооборудование приходится от 25 до 34% всех

отказов, причём на их устранение приходится до 30% затрат времени.

**Материал и методы исследования.** Среди изделий автотракторного электрооборудования можно выделить электрический стартер. Автотракторный стартер, служащий для сообщения двигателю внутреннего сгорания начальной частоты вращения, является довольно надёжным устройством, срок службы которого сопоставим со сроком службы автомобиля и трактора. Однако в процессе эксплуатации в работе стартеров рано или поздно возникают неисправности, нередко приводящие к их отказам. Отказ автотракторных стартеров автоматически приводит к невозможности тронуться с места, что при неблагоприятном стечении обстоятельств (например, неожиданной остановке автомобиля или трактора на оживлённом перекрёстке или железнодорожном переезде) может создать риск возникновения ДТП. Следовательно, возникает необходимость своевременного определения технического состояния автотракторных стартеров без снятия с транспортного средства.

Анализ диссертационных исследований, в которых затрагивается проблема запуска автотракторных ДВС (табл. 1), показал, что в своём большинстве они направлены на повышение эффективности запуска двигателей в условиях низких температур, а проблеме диагностирования технического состояния автотракторных стартеров уделено недостаточное внимание. Отсюда следует, что разработка современного и достаточно объективного метода диагностирования автотракторных стартеров является актуальной.

Причинами неисправностей автотракторных стартеров являются окисление выводов и наконечников проводов, разряжённость АКБ, повреждение зубьев маховика, ослабление и неправильная установка стартера, неисправность выключателя зажигания (приборов и стартера), а также низкое качество комплектующих, нарушение правил эксплуатации, попадание воды, грязи и т.д.

Последствиями этих причин являются обрывы и замыкания обмоток, пробуксовка обгонной муфты, закоксовывание механизма привода стартера, износ втулок подшипников и щёток, поломка буферной пружины и встроенного редуктора, повреждение зубьев шестерни, неисправности тягового реле и другие (рис. 1).

**Результаты исследования.** Работоспособность автотракторного стартера можно характеризовать пятью основными диагностическими параметрами: уровнем шума, температурой деталей, сопротивлением обмоток, а также силой потребляемого тока и напряжением (табл. 2).

Температура обмоток как диагностический параметр не обладает достаточной чувствительностью и информативностью. Уровень шума позволяет оценить общее состояние механической части, но не даёт информации о том, какой конкретно

1. Характеристика исследований по теме

Автор исследования	Тема исследования	Город, год
Северин Александр Александрович	Повышение надёжности электромагнитной системы автомобильных стартеров	Тольятти, 2004 [4]
Толяков Николай Алексеевич	Система электростартерного пуска транспортных средств с применением комбинированного источника электрической энергии	Москва, 2005 [5]
Алиев Али Ямудинович	Исследование метода и совершенствование пусковых характеристик автомобильных двигателей в условиях низких температур	Махачкала, 2007 [6]
Гнутов Сергей Константинович	Разработка и исследование стартерных электродвигателей с повышенными пусковыми свойствами при низких температурных условиях	Самара, 2008 [7]
Лазарев Александр Александрович	Совершенствование электростартерной системы пуска ДВС	Иваново, 2009 [8]



Рис. 1 – Неисправности автотракторных стартеров

узел не исправен. Сопротивление обмоток сложно измерить непосредственно на автомобиле в связи с труднодоступностью стартера.

Поэтому в качестве основных диагностических параметров были приняты сила потребляемого тока и напряжения стартера, получаемые с помощью осциллографа.

Напряжение стартерного электродвигателя, согласно теории электрических машин, определяется следующим выражением

$$U_{ст} = U_б - I_a \cdot R_a - \Delta U_{щ} \quad (1)$$

где:  $U_б$  – напряжение батареи, В;  
 $U_{ст}$  – напряжение стартера, В;  
 $\Delta U_{щ}$  – падение напряжения на щётках, В;

2. Характеристика диагностических параметров

Диагностические параметры	Диагностические средства	Достоинства	Недостатки
Виброускорение	датчики ускорения (акселерометры)	–	сложность интерпретации результатов диагностирования
Температура поверхности стартера, температура нагрева/охлаждения	тепловизор, термоиндикаторы	–	недостаточная информативность
Сила тока и напряжение	специализированные стенды	простота	невозможность определения конкретных неисправностей
Сопротивление обмоток	амперметр, вольтметр	простота	затруднённый доступ к стартеру, необходимость отключения от бортовой сети автомобиля, низкая оперативность

$I_{я}$  – ток якоря, А;  
 $R_{я}$  – сопротивление обмотки якоря, Ом.

$$I_{я} = \frac{U_{б} - E}{R_{я}}, \quad (2)$$

где:  $E$  – противо-ЭДС, В.

$$E = c_e \cdot n \cdot \Phi = c_e \cdot n \cdot k_{\phi} \cdot I_{я}, \quad (3)$$

где:  $n$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>;

$c_e$  – постоянная, определяемая конструктивными параметрами машины;

$\Phi$  – магнитный поток, Вб;

$k_{\phi}$  – коэффициент пропорциональности.

После преобразований получим выражение:

$$U_{cm} = U_{б} \cdot \left(1 - \frac{R_{я}}{R_{я} + c_e \cdot n \cdot k_{\phi}}\right) - \Delta U_{щ}. \quad (4)$$

Таким образом, напряжение стартера, являющееся диагностическим параметром, определяется величиной сопротивления обмотки якоря  $R_{я}$ , т.е. структурным параметром.

При возникновении электрических неисправностей, связанных с обмоткой якоря, её сопротивление изменится, что отразится на напряжении стартера.

Следовательно, можно представить напряжение стартера в виде следующей математической модели:

$$U_{cm} = a_0 \cdot U_{б} \cdot \left(1 - \frac{R_{я}}{R_{я} + b_0}\right), \quad (5)$$

где  $a_0, b_0$  – коэффициенты, определяющие взаимосвязь между структурным и диагностическим параметрами

Для разработки метода диагностирования необходимо количественно обосновать диапазоны электрических сопротивлений, соответствующие работоспособному состоянию и характерным неисправностям элементов стартера. Существуют два способа решения этой задачи.

В первом случае необходимо провести обследование большого парка автомобилей и тракторов одного модельного ряда и возраста эксплуатации с целью сбора статистической информации об изменении электрических сопротивлений элементов стартера в процессе эксплуатации. Существенным недостатком данного способа является длительность эксперимента, а также необходимость съёма стартера с транспортного средства.

Второй путь заключается в имитации неисправностей автотракторных стартеров в лабораторных условиях на специально разработанном стенде. Преимуществами данного способа можно считать значительное ускорение эксперимента, возможность моделирования совокупности ряда неисправностей, а также установление чёткой границы между работоспособным и неработоспособным состоянием стартера.

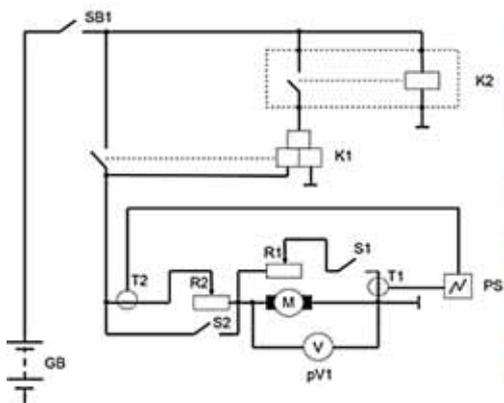


Рис. 2 – Схема экспериментального стенда:

PS1 – осциллограф; T1, T2 – токовые клещи; R1, R2 – реостаты; SB1 – кнопка; S1, S2 – тумблеры; pV1 – вольтметр; K1 – тяговое реле; K2 – дополнительное реле; GB – аккумуляторная батарея

Для реализации вышеуказанных положений разработан специальный стенд [9–11], который позволяет путём включения соответствующих тумблеров и регулировочных реостатов имитировать одну или ряд неисправностей автотракторных стартеров (рис. 2).

Для увеличения сопротивления обмотки якоря необходимо последовательно с ней включить реостат R1, регулируя сопротивление которого можно имитировать окисление поверхности коллектора и ослабление щёточных пружин (при промежуточном положении) или обрыв обмотки якоря – в крайнем положении реостата.

На рисунке 3 показано изменение напряжения на выводах стартера при различных положениях реостата. С увеличением сопротивления реостата напряжение стартера падает, и при достижении критического значения  $R_k=0,319$  Ом стартер перестаёт вращаться, что означает обрыв обмотки якоря.

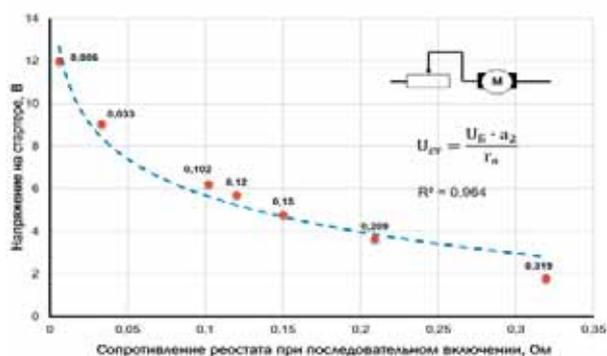


Рис. 3 – Результаты имитирования обрыва обмотки якоря

Для имитации короткого замыкания обмотки якоря реостат необходимо подключить параллельно, при этом происходит уменьшение силы тока, протекающего по обмотке якоря, а следовательно, и магнитного поля, создаваемого ей.

С уменьшением сопротивления реостата напряжение стартера падает и при достижении критического значения  $R=0,0085$  Ом обмотка якоря полностью шунтируется и ток протекает через реостат (рис. 4).

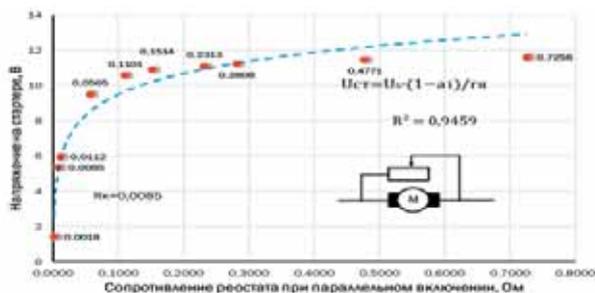


Рис. 4 – Результаты имитирования замыкания обмотки якоря

**Выводы.** 1. Существующие методы диагностирования автотракторных стартеров, как правило, предполагают снятие их с двигателей, а следовательно, обладают высокой трудоёмкостью. Снижение трудоёмкости и повышение информативности диагностирования стартеров возможно на основе оценки параметров потребляемого тока и напряжения, однако подобные методы являются недостаточно проработанными

2. Для сбора информации о взаимосвязи между структурными и диагностическими параметрами стартеров разработана методика имитирования неисправностей, позволяющая определить границы возникновения и развития характерных электрических неисправностей стартеров.

3. Результаты имитирования неисправностей на примере обрыва и короткого замыкания обмотки якоря позволили установить критические значения сопротивления, а также характер изменения диагностических параметров в процессе развития данной неисправности.

4. Результаты имитирования остальных электрических неисправностей позволят сформировать практические рекомендации по оценке технического состояния автотракторных стартеров на основе разработанного метода диагностирования.

### Литература

1. Денисов Ил. В., Смирнов А.А. Надёжность автомобилей в гарантийный период их эксплуатации // Автомобильная промышленность, 2015. № 11. С. 1–4.
2. Заятров А.В. Комплексная оценка качества и надёжности электрооборудования легкового автомобиля: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Самара, 2013. 16 с.
3. Сидорин Е.С. Совершенствование организации технического обслуживания элементов системы электрооборудования легковых автомобилей: дисс. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2015. 148 с.
4. Северин А.А. Повышение надёжности электромагнитной системы автомобильных стартеров: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Тольятти, 2004. 20 с.
5. Толяков Н.А. Система электростартерного пуска транспортных средств с применением комбинированного источника электрической энергии: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2005. – 23 с.
6. Алиев А.Я. Исследование метода и совершенствование пусковых характеристик автомобильных двигателей в условиях низких температур: дисс. ... канд. техн. наук. Махачкала, 2007. 165 с.
7. Гнутов С.К. Разработка и исследование стартерных электродвигателей с повышенными пусковыми свойствами при низких температурных условиях: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Самара, 2008. 20 с.
8. Лазарев А.А. Совершенствование электростартерной системы пуска ДВС: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Иваново, 2009. 20 с.
9. Пузаков А.В., Киданов А.Д. Модернизация стенда для изучения характеристик автомобильных стартеров // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: матер. Междунар. науч.-практич. конф., 7–9 декабря 2016 г. Омск: СибАДИ, 2016. С. 586–590.
10. Пузаков А.В., Киданов А.Д. Разработка метода диагностирования автомобильных стартеров // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: сб. стат. Вып. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 99–105.
11. Пузаков А.В., Киданов А.Д. Разработка метода диагностирования автомобильных стартеров // Перспективные направления автотранспортного комплекса: сб. стат. IX Междунар. науч.-производств. конф. /МНИЦ ПГСХА. Пенза: РИО ПГСХА, 2016. С. 44–49.