

ОБОСНОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

В статье приводится обоснование диагностических параметров, характеризующих работоспособность автомобильной генераторной установки. Рассмотрено взаимодействие структурных и диагностических параметров и установлен диапазон значений структурных параметров, превышение которого ведет к изменению диагностического параметра. Предложено оценивать состояние генераторной установки по величине размаха выходного напряжения.

Ключевые слова: автомобильная генераторная установка, структурный параметр, диагностический параметр.

Электрооборудование современного автомобиля представляет собой разветвленную сеть последовательно или параллельно включенных источников и потребителей электрической энергии [1]. Несмотря на то, что источниками энергии являются и генераторная установка, и аккумуляторная батарея, за основной источник энергии принимают автомобильный генератор. Современная генераторная установка, объединяющая в своем составе генератор и регулятор напряжения, это достаточно надежное устройство, почти не требующее технического обслуживания в процессе эксплуатации (за исключением замены щеток). Внезапный отказ генераторной установки не оказывает негативного влияния на безопасность движения и работу других агрегатов автомобиля, поскольку питание продолжает обеспечивать аккумуляторная батарея. Однако, агрегаты современного автомобиля обладают большим электропотреблением, и отказ генератора приводит к прекращению транспортного процесса, поскольку аккумуляторная батарея не способна обеспечивать питанием бортовую сеть больше 30–40 минут. Кроме того, такой режим работы неблагоприятно сказывается на самой батарее.

Следовательно, возникает необходимость в контроле состояния генераторной установки. В руководствах по эксплуатации транспортных средств оценку состояния генераторной установки предлагается проводить с помощью средств приборной панели автомобиля (амперметра, вольтметра – в устаревших моделях, или контрольной лампы). Контрольная лампа позволяет выявить лишь одну из неисправностей генераторной установки – обрыв обмотки ротора, то есть несет сообщение «Генератор неисправен». Более информативными являются

амперметр и вольтметр, но тот факт, что генератор работает параллельно с аккумуляторной батареей, существенно снижает возможность своевременного определения симптомов нештатной работы генератора.

Таким образом, актуальной является задача прогнозирования работоспособности генераторной установки автомобиля, решаемая с помощью специальных способов и средств диагностирования.

Цель данной статьи является выбор и обоснование диагностического параметра, характеризующего работоспособное состояние генераторной установки.

На сегодняшний день сложилась определенная система выбора диагностического параметра изделий и систем электрооборудования, выполняемая в следующем порядке [2]:

- выявляют наиболее часто повторяющиеся отказы и повреждения по результатам эксплуатации;
- анализируют причинно-следственные связи неработоспособных или исправных элементов изделия и его выходных параметров;
- составляют блок-схему причинно-следственных связей по цепи: агрегат или сборочная единица – сопряжение или элемент – структурный параметр – характер неисправности – симптом – диагностический параметр.

Из рисунка 1 следует, что наибольшая часть отказов приходится на регулятор напряжения (29%), который в современных генераторных установках конструктивно объединяет щеткодержатель и собственно регулятор напряжения, и выпрямительный блок (21%). Остальные неисправности сводятся к обмоткам ротора и статора (суммарно 41%) и механическим частям генератора.

Причинами возникновения вышеуказанных неисправностей являются:

- износ и коррозия (износ щеток и подшипников) от 18 до 25%;
- низкое качество изготовления комплектующих, от 10 до 20% в зависимости от модели;
- нарушение правил эксплуатации или работа вне установленных нормативами режимов, от 20 до 35%;
- внешние факторы (вода и другие жидкости, высокая температура, грязь, песок, дорожная «химия») от 25 до 40%.

Уровни поиска неисправностей определяем по следующей схеме:

1) детали и сборочные единицы, из которых состоит автомобильная генераторная установка;

2) сопряжение или элемент генераторной установки или её сборочных единиц, подвергаемых в процессе эксплуатации воздействию дестабилизирующих факторов (например, температура, влажность и вибрация);

3) структурные параметры, характеризующие исправность или работоспособность элементов или сопряжений генераторной установки;

4) возможные состояния неисправности и неработоспособности;

5) симптомы состояний неисправности и неработоспособности;

6) возможные диагностические параметры, чувствительные к изменению структурных параметров.

Рассмотрим блок-схему уровней поиска неисправностей и причинно-следственных связей на примере автомобильной генераторной установки (рисунок 2).

1-й уровень:

1-1 – подшипники генератора; 1-2 – ротор генератора в сборе; 1-3 – щеткодержатель со встроенным регулятором напряжения; 1-4 – выпрямительный блок; 1-5 – статор генератора в сборе.

2-й уровень:

2-1 – сопряжение вал ротора – подшипники; 2-2 – сопряжение обмотка ротора – контактные кольца; 2-3 – сопряжение вал ротора – контактные кольца; 2-4 – сопряжение обмотка ротора – корпус ротора; 2-5 – сопряжение щётки – контактные кольца; 2-6 – сопряжение щётки – регулятор напряжения; 2-7 – сопряжение конденсатор – регулятор напряжения; 2-8 – сопряжение выпрямительный блок – регулятор напряжения; 2-9 – сопряжение обмотка статора – выпрямительный блок; 2-10 – сопряжение обмотка статора – статор.

3-й уровень:

3-1 – посадка подшипников; 3-2 – сопротивление обмотки ротора; 3-3 – сопротивление изо-

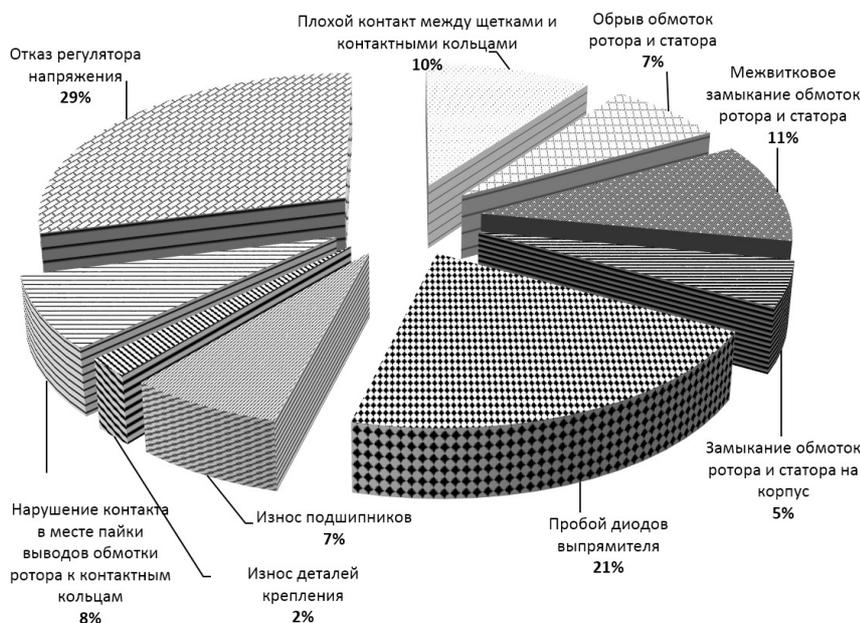


Рисунок 1. Распределение неисправностей автомобильных генераторных установок по данным эксплуатации

ляции контактных колец; 3-4 – сопротивление изоляции обмотки ротора; 3-5 – сопротивление между щётками и контактными кольцами; 3-6 – целостность соединений внутри щёткодержателя/регулятора напряжения; 3-7 – сопротивление провода конденсатор – регулятор напряжения; 3-8 – ёмкость конденсатора; 3-9 – сопротивление между выпрямителем и щёткодержателем; 3-10 – сопротивление диодов выпрямительного блока; 3-11 – сопротивление между обмотками статора и выпрямительным блоком; 3-12 – сопротивление фаз обмотки статора; 3-13 – сопротивление изоляции обмоток статора; 3-14 – зазор между ротором и статором.

4-й уровень:

4-1 – износ подшипников генератора; 4-2 – межвитковые замыкания обмотки ротора; 4-3 – нарушение контакта в месте пайки выводов обмотки ротора к контактными кольцам; 4-4 – обрыв обмотки ротора; 4-5 – замыкание обмотки ротора на корпус; 4-6 – ослабление пружин щёткодержателя; 4-7 – окисление поверхности контактных колец; 4-8 – замасливание поверхности контактных колец; 4-9 – зависание щеток; 4-10 – износ щеток; 4-11 – обрыв щеточных поводков; 4-12 – отказ регулятора напряжения; 4-13 – обрыв провода кон-

денсатора; 4-14 – пробой конденсатора; 4-15 – нарушение пайки; 4-16 – пробой диодов выпрямителя; 4-7 – обрыв внутренней цепи диодов выпрямителя; 4-18 – нарушение пайки; 4-19 – обрыв фазных обмоток статора; 4-20 – межвитковые замыкания в обмотках статора; 4-21 – замыкание обмоток статора на корпус; 4-22 – задевание ротора за статор.

5-й уровень:

5-1 – снижение величины выходного напряжения; 5-2 – повышение температуры обмоток; 5-3 – отсутствие выходного напряжения; 5-4 – повышение величины выходного напряжения; 5-5 – повышенный шум при работе; 5-6 – отклонение формы выходного напряжения.

6-й уровень:

6-1 – температура обмоток генератора; 6-2 – величина и форма выходного напряжения; 6-3 – уровень шума при работе.

Параметры шестого уровня определяют непосредственно на автомобиле без разборки и снятия генераторной установки с двигателя.

Таким образом, получены три диагностических параметра, характеризующие работоспособность генераторной установки, однако уровень шума позволяет оценить лишь состояние механической части генератора, а температура обмо-

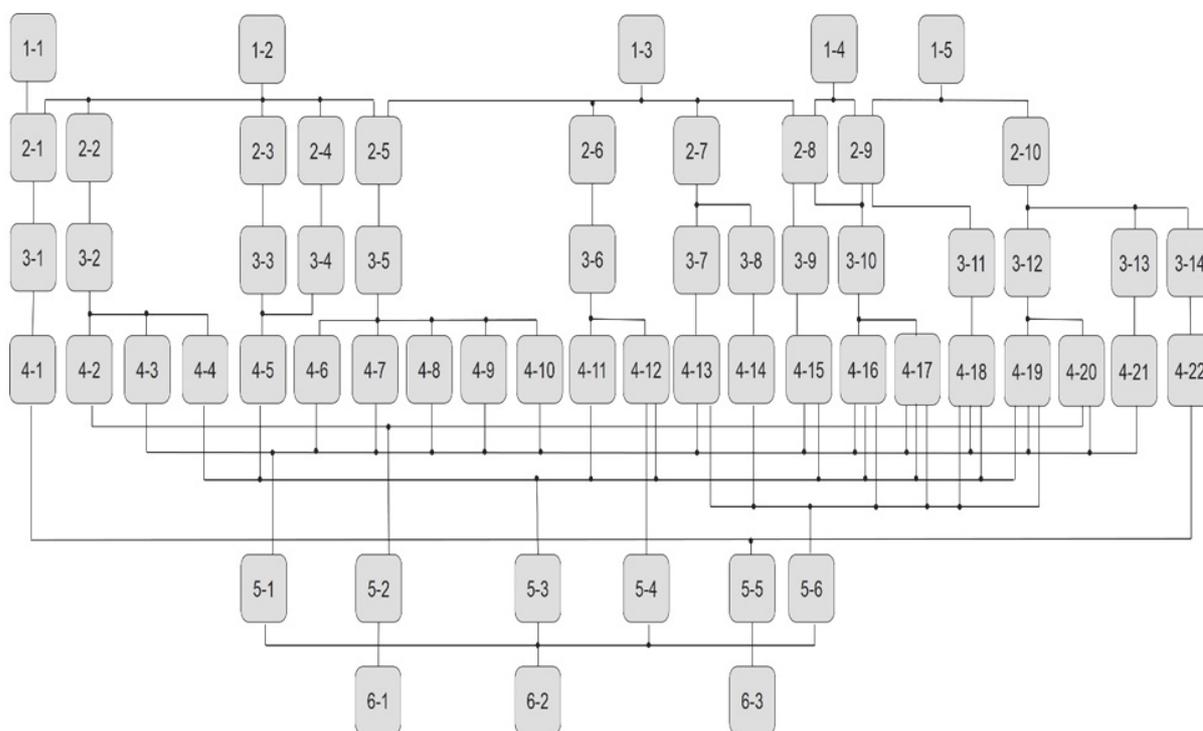


Рисунок 2. Блок-схема причинно-следственных связей и уровни поиска неисправностей автомобильной генераторной установки

ток не обладает достаточной чувствительностью, поскольку при нормальной работе обмотки нагреваются до 70°C и более и перегрев на уровне 5°C сложно диагностировать. Поэтому в качестве основного диагностического параметра принимаем величину и форму выходного напряжения генераторной установки.

Установлена качественная взаимосвязь структурных и диагностических параметров генераторной установки, однако для определения влияния того или иного структурного параметра на величину и форму выходного напряжения необходимо установить количественные характеристики их взаимодействия.

В процессе экспериментальных исследований на базе лаборатории «Электрооборудование автомобилей» транспортного факультета Оренбургского государственного университета, были определены диапазоны значений структурных параметров, в которых наблюдается или не наблюдается изменение величины и формы выходного напряжения генераторной установки. Результаты были сведены в таблицу 1.

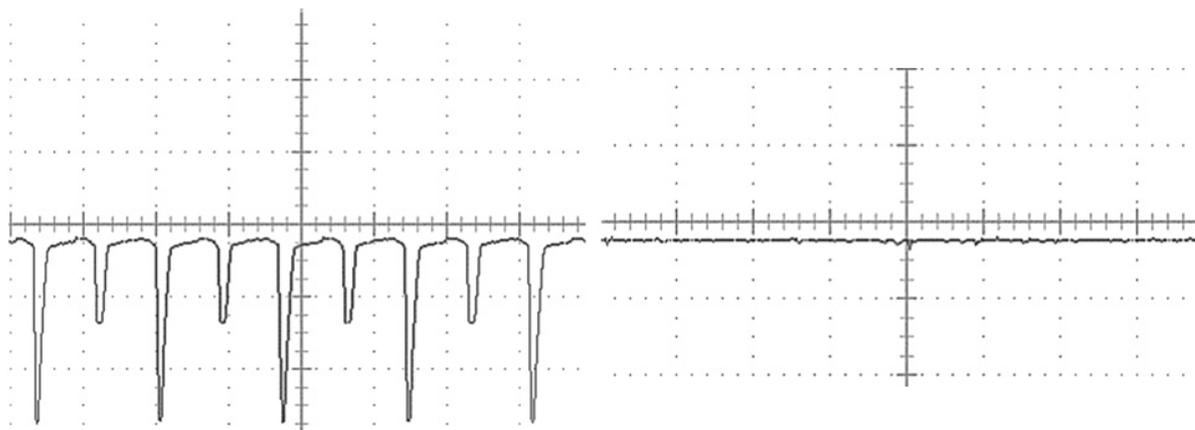
Исходя из данных таблицы 1, условие работоспособности генераторной установки можно представить в виде:

$$U_{вых} = f \left\{ \begin{array}{l} R_p \geq 0,85 \cdot R_{рн} \\ R_{икк} \geq 10 \text{ кОм} \\ R_{иор} \geq 10 \text{ кОм} \\ R_{щк} \geq 0,1 \text{ кОм} \\ R_{щ} \leq 10 \text{ кОм} \\ R_{вщ} \leq 0,1 \text{ кОм} \\ 10 \text{ кОм} \geq R_d \geq 0,1 \text{ Ом} \\ R_{св} \leq 0,1 \text{ кОм} \\ R_c \geq 0,85 \cdot R_{сн} \\ R_{иос} \geq 10 \text{ кОм} \end{array} \right\} \rightarrow (14,2 - 14,8) \text{ В} \quad (1)$$

Несоблюдение условий в скобках приводит к отклонению диагностического параметра $U_{вых}$ за пределы допустимых значений. Гораздо сложнее оценить отклонение формы выходного напряжения. Для этой цели принято использовать осциллографы, как переносные, так и стационарные, причем только первые могут использоваться для диагностирования генераторной установки непосредственно на автомобиле. Многочисленные источники [3], [4] описывают осциллограммы исправных генерато-

Таблица 1. Диапазон значений структурных параметров

Наименование структурного параметра	Диапазон значений	Причина изменения	Влияние на диагностический параметр
1. Сопротивление обмотки ротора	$R_p \leq 0,85 \cdot R_{рн}$	Межвитковые замыкания	$U_{вых} \downarrow$
2. Сопротивление изоляции контактных колец	$R_{икк} \leq 10 \text{ кОм}$	Пробой изоляции	$U_{вых}=0$
3. Сопротивление изоляции обмотки ротора	$R_{иор} \leq 10 \text{ кОм}$	Пробой изоляции	$U_{вых}=0$
4. Сопротивление между щётками и контактными кольцами	$R_{щк} \geq 0,1 \text{ Ом}$	Нарушение контакта	$U_{вых} \downarrow$, изменение формы
5. Целостность соединений внутри щёткодержателя/регулятора напряжения	$R_{щ} \geq 10 \text{ кОм}$	Отказ щёткодержателя/регулятора напряжения	$U_{вых}=0$ $U_{вых} \downarrow \uparrow$
6. Сопротивление провода конденсатор – регулятор напряжения, ёмкость конденсатора	$R_{пк} \geq 10 \text{ кОм}$, $C \leq 0,85 \cdot C_n$	Обрыв провода, пробой конденсатора	Изменение формы
7. Сопротивление между выпрямителем и щёткодержателем	$R_{вщ} \geq 0,1 \text{ Ом}$	Нарушение контакта	$U_{вых} \downarrow$ $U_{вых}=0$
8. Сопротивление диодов выпрямительного блока	$10 \text{ кОм} \leq R_d \leq 0,1 \text{ Ом}$	Пробой диода, обрыв цепи диода	Изменение формы, $U_{вых} \downarrow$ $U_{вых}=0$
9. Сопротивление между обмотками статора и выпрямительным блоком	$R_{св} \geq 0,1 \text{ Ом}$	Нарушение контакта	$U_{вых} \downarrow$ $U_{вых}=0$
10. Сопротивление фаз обмотки статора	$R_c \leq 0,85 \cdot R_{сн}$	Межвитковые замыкания	$U_{вых} \downarrow$
11. Сопротивление изоляции обмоток статора	$R_{иос} \leq 10 \text{ кОм}$	Пробой изоляции	$U_{вых}=0$



а) неисправная генераторная установка

б) исправная генераторная установка

Рисунок 3. Осциллограммы выходного напряжения генераторной установки

ров, и с возникшими неисправностями, однако их многообразие затрудняет формализацию и математическое описание.

Большинство осциллограмм имеет форму, показанную на рисунке 3, разница заключается в количестве и размерах характерных «пиков» и «провалов», в тоже время при отсутствии неисправностей выходное напряжение представляет практически прямую линию.

Таким образом, сравнивая осциллограммы, и привлекая термины метрологии и теории измерений [7] можно сделать вывод, что основным отличием формы выходного напряжения исправной генераторной установки является малая величина *размаха* (см. рисунок 4).

Размах сигнала (X_p) – разность между максимальным и минимальным значениями сигнала на протяжении заданного интервала времени:

$$X_p = X_{\max} - X_{\min} = X_{\text{в.в.}} + X_{\text{в.н.}} \quad (2)$$

Ряд проведенных экспериментов показал, что размах выходного напряжения исправной генераторной установки не превышает 0,2 В, а возникновение неисправностей приводит к зна-



Рисунок 4. Параметры измеряемых сигналов

чительному увеличению размаха (до 8,2 В), причем амплитуда напряжения может практически не измениться.

Тогда условие работоспособности (1) следует расширить:

$$U = f \left\{ \begin{array}{l} R_{\text{шк}} \leq 0,1 \text{ Ом} \\ R_{\text{пк}} \geq 10 \text{ кОм} \\ C \geq 0,85 \cdot C_n \\ 10 \text{ кОм} \geq R_d \geq 0,1 \text{ Ом} \end{array} \right\} \rightarrow X_p \leq 0,2 \text{ В} \quad (3)$$

Выводы:

1. Для сокращения простоев автомобилей и предотвращения внезапных отказов необходимо осуществлять контроль текущего состояния генераторных установок.

2. Анализ взаимосвязей структурных и диагностических параметров генераторной установки позволил выделить в качестве наиболее информативных параметров амплитуду и форму выходного напряжения.

3. Проведенные исследования позволили установить диапазон влияния структурных параметров на диагностические параметры.

4. Сравнение формы осциллограмм выходного напряжения генераторных установок показало, что выводы об их исправности/неисправности можно сделать на основе измерения размаха сигнала.

5. В дальнейшем, на основе обработки полученной информации предполагается прогнозирование текущей работоспособности и остаточного ресурса автомобильных генераторных установок.

6.06.2014

Список литературы:

1. Сергеев, А.Г. Диагностирование электрооборудования автомобилей / А.Г. Сергеев, В.Е. Ют. – М.: Транспорт, 1987. – 159 с.
2. Набоких, В.А. Диагностика электрооборудования автомобилей и тракторов: Учебное пособие / В.А. Набоких. – М.: Форум: НИЦ Инфра-М, 2013. – 288 с.
3. Постоловский, В.Д. Диагностика автомобильных генераторов / В.Д. Постоловский // Автомастер – 2009. – №5. – С. 15–18.
4. Передерий, А.Н. Генератор без загадок / А.Н. Передерий // Автомастер – 2010. – №2. – С. 15–17.
5. Пузаков, А.В. Метод диагностики генераторных установок / А.В. Пузаков // Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе современных методов диагностирования: материалы междунар. научн.-практ. конф. – Иркутск: ИрГТУ, 2007. – С. 197–199
6. Пузаков, А.В. Совершенствование диагностики генераторных установок автомобилей / А.В. Пузаков, Е.В. Бондаренко, А.М. Федотов // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы X междунар. научн.-практ. конф. – Оренбург: ОГУ, 2011. – С. 246–249
7. Козлов, М.Г. Метрология и стандартизация: Учебник / М.Г. Козлов – СПб.: Изд-во «Петербургский ин-т печати», 2001. – 372 с.
8. Зарандия, Ж.А. Диагностирование генераторных установок автомобилей / Ж.А. Зарандия, В.Д. Рогачев, В.В. Нечаев // Вестник ТГТУ – 2004. – Том 10. – С. 1109–1112

Сведения об авторе:

Пузаков Андрей Владимирович, старший преподаватель кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей транспортного факультета Оренбургского государственного университета

460000, г. Оренбург, пр-т Победы, 149, ауд. 10302, тел. (3532) 912224,
e-mail: And-rew78@yandex.ru