

Определение оптимальной периодичности диагностирования автотракторных генераторов

М.И. Филатов, д.т.н., профессор, А.В. Пузаков, ст. преподаватель, В.И. Миркианов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ; А.С. Путрин, д.т.н., профессор, А.А. Аверкиев, д.с.-х.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

За последние 10 лет мощность элементов электрооборудования автомобилей возросла более чем в 2 раза, и отказ генератора (около 7% всех отказов) приводит к прекращению движения, поскольку аккумуляторная батарея не способна обеспечивать питанием бортовую сеть больше 30–40 мин. В условиях насыщенности автомобилей и тракторов электрическими и электронными системами, в том числе отвечающими за безопасность, повышается вероятность возникновения аварийных ситуаций. В связи с этим возникает необходимость в получении оперативной и достоверной информации о текущем состоянии автотракторных генераторов.

Материал и методы исследования. Повышение надёжности работы автомобильных генераторов на этапе эксплуатации может быть обеспечено прогнозированием их отказов на основании результатов диагностирования. Существующие методы диагностирования [1] имеют высокую трудоёмкость (свыше 1,1 чел.-ч.) и не позволяют

определять неисправности на ранней степени развития, вследствие чего выход генераторов из строя, как правило, оказывается внезапным и приводит к существенным потерям времени из-за простоев автомобилей и тракторов в ремонте. Наиболее эффективными в плане экономичности, достоверности, оперативности и высокой информативности являются осциллографические методы.

На основании проведённого анализа было решено принять в качестве основного диагностического параметра размах пульсации выходного напряжения (ΔU), как наиболее чувствительного к неисправностям генераторов [2, 3].

Для исключения сглаживающего воздействия аккумуляторной батареи на форму осциллограмм выходного напряжения и повышения их информативности предлагается снимать осциллограммы на силовом выходе автотракторного генератора, предварительно отключив его от аккумуляторной батареи. Практические аспекты применения предлагаемого метода представлены в ранее опубликованной работе [4].

Использование разработанного метода диагностирования автотракторных генераторов предполагает знание величины предельного значения диагностического параметра [5] и оптимальной

периодичности диагностирования, установлению которой посвящена данная статья.

Под периодичностью понимается наработка между двумя последовательными видами диагностирования. Уменьшение периодичности диагностирования приводит к снижению эксплуатационных расходов, полному использованию ресурса узлов и агрегатов машин, но при этом к увеличению материальных и трудовых затрат на диагностирование. При увеличении периодичности диагностирования затраты на диагностирование снижаются, но при этом увеличиваются издержки на эксплуатацию автомобилей, в том числе вызванные недоиспользованием ресурса их узлов и агрегатов.

С учётом этого определяется оптимальная периодичность диагностирования. Под оптимальной периодичностью диагностирования понимается такая периодичность, при которой обеспечивается надёжная работа машины и её элементов при минимальных затратах средств на диагностирование.

Существуют различные методы определения оптимальной периодичности диагностирования: по допустимой вероятности безотказной работы, по реализации диагностического параметра, технико-экономический, экономико-вероятностный, рассмотренные в работах [4–7].

В.С. Малкин предлагает оптимальную периодичность диагностирования T_D^{opt} , км, находить по формуле [6]:

$$T_D^{opt} = T_0 \cdot \frac{\sqrt{a}}{2 - \sqrt{a}} \cdot (1 - \sqrt{a} + e^{\sqrt{a}}), \quad (1)$$

где T_0 – средняя наработка на отказ, км;

a – вспомогательный коэффициент, равный

$$a = \frac{C_D}{C_0}, \quad (2)$$

где C_D – затраты на диагностирование и сопутствующие профилактические работы по поддержанию генераторов в исправном состоянии, р.;

C_0 – затраты, связанные с устранением возникшего отказа, р.

А.М. Харазов периодичность диагностирования вычисляет в следующей последовательности [7, 8]:

1) рассчитывают коэффициент своевременности выполнения диагностирования γ , характеризующий вероятность попадания случайной величины на заданный участок:

$$\gamma = \frac{C_D}{C_0}; \quad (3)$$

2) по статистическим данным отказов диагностируемого узла определяют характер распределения отказов, т.е. строят функцию плотности распределения отказов и определяют среднее квадратическое отклонение наработки на отказ $f(t)$ и среднестатистическое значение наработки диагностируемого узла на отказ \bar{t} ;

3) затем по справочным математическим таблицам значений функции нормального распределения находят $\Phi(t_i/\sigma)$. Отклонение оптимального значения наработки до первого диагностирования t_i от среднестатистического значения наработки узла на отказ определяют из зависимости:

$$\Phi(t_i/\sigma) = 1 - \gamma; \quad (4)$$

4) периодичность диагностирования составит:

$$t_D = \bar{t} - t_i. \quad (5)$$

Анализ результатов вычислений по вышеперечисленным и другим известным методикам показывает, что полученные значения периодичности диагностирования образуют две группы: от 20 до 40 тыс. км и от 75 до 110 тыс. км. Учитывая такой разброс численных значений, обоснуем выбор оптимальной периодичности диагностирования.

У большинства машин период нормальной эксплуатации, в котором имеют место только внезапные отказы, довольно значительный по наработке. Проводить диагностирование в этот период нецелесообразно, так как постепенные отказы ещё не наступили, а внезапные отказы предсказать с помощью диагностирования довольно сложно. Учитывая это, для элементов машин, подвергающихся постепенным отказам, целесообразно начинать проводить диагностирование в конце периода нормальной эксплуатации [9].

Результаты исследования. Величину наработки начала постоянного диагностирования определим при помощи экономико-вероятностного метода, заключающегося в оптимизации периодичности диагностирования по критерию минимума суммарных удельных затрат на ремонт и диагностирование.

Согласно методике филиала НАМИ, целевая функция издержек на диагностирование генератора в зависимости от периодичности диагностирования на тыс. км пробега L имеет вид [10, 11]:

$$C(L) = L^{-1}.$$

$$[B + A \cdot p_a(L) + D \cdot (t_D + t_a \cdot p_a(L))] \rightarrow \min, \quad (6)$$

где B – затраты на одно диагностирование, р.;

A – затраты на аварийный ремонт генератора, р.;

D – удельная чистая прибыль, приносимая автомобилем за 1 ч. эксплуатации, р/ч.;

$p_a(L)$ – автомобили, для которых будет произведён аварийный ремонт на пробеге L ;

t_b – время на одно диагностирование генератора, ч.;

t_a – время, отведённое на аварийный ремонт генератора, ч.;

L – пробег автомобиля, тыс. км.

Для определения составляющих $p_a(L)$, необходимо знать зависимость вероятности безотказной работы элемента $Q(L)$ за пробег L автомобиля.

Текущая вероятность безотказной работы вычисляется как:

$$p_T = 1 - n / N_H, \quad (7)$$

где $n = N_H - N_K$ – число машин, имеющих отказы генераторов в заданном интервале наработки, ед.;

N_H – число машин контрольной группы, ед.;

N_K – число машин, не имеющих отказов генераторов в заданном интервале наработки, ед.

Вероятность отказов и безотказной работы, рассчитанная по результатам диагностирования контрольной группы автотракторных генераторов [2], представлена на рисунке 1.

Расчёт удельных издержек по формуле (6) выполнен для интервала периодичности диагностирования 10–270 тыс. км. Периодичность первого диагностирования согласно выражению (6) составила 100 тыс. км пробега (рис. 2).

После определения наработки начала диагностирования определяют дальнейшую периодичность диагностирования методом допустимой вероятности безотказной работы. Для наиболее ответственных элементов автомобиля задаются вероятностью безотказной работы $p_T = 0,95–0,90$, а для остальных элементов – $p_T = 0,90–0,85$.

Число машин, имеющих n отказов генераторов за период наработки, рассчитывается по формуле L_D :

$$n = \lambda \cdot \left(\frac{N_H + N_K}{2} \right) \cdot \tau_D, \quad (8)$$

где $\lambda = 1/L_0$ – параметр потока отказов в заданном интервале наработки, ед/тыс. км;

L_0 – средняя наработка на отказ, км;

L_D – периодичность диагностирования, тыс. км.

$$L_0 = \sum_{i=1}^n L_i / \sum_{i=1}^n r_i, \quad (9)$$

где L_i – наработка на отказ i -го генератора, тыс. км;

r_i – суммарное число отказов генераторов.

После преобразований получаем:

$$L_D = 2 \cdot (1 - p_T) / \lambda \cdot (1 + p_T). \quad (10)$$

Задаваясь вероятностью безотказной работы $p_T = 0,80–0,95$, получим следующие значения оптимальной периодичности диагностирования (табл.).

Корректируя полученные значения с установленной периодичностью технического обслуживания (для легковых автомобилей она составляет $L_{ТО} = 15$ тыс. км), окончательно получаем периодичность первого (начала постоянного) диагностирования – $L_D^1 = 105$ тыс. км, периодичность дальнейшего диагностирования, рассчитанная по заданному уровню вероятности безотказной работы, $L_D = 30$ тыс. км пробега (рис. 3).

Выводы. 1. Наиболее информативным диагностическим параметром, чувствительным как к возникновению неисправностей, так и к изменению ресурса работы генераторов является величина размаха пульсации выходного напряжения.

2. Существующие методы определения оптимальной периодичности диагностирования дают разброс значений, образующих две группы. Анализ численных значений показал, что с периодично-

Определение периодичности диагностирования

Вероятность безотказной работы, p_T	0,80	0,85	0,90	0,95
Периодичность диагностирования, L_D , тыс. км	53,24	41,67	29,04	15,21
Скорректированная периодичность диагностирования, L_D , тыс. км	60	45	30	15

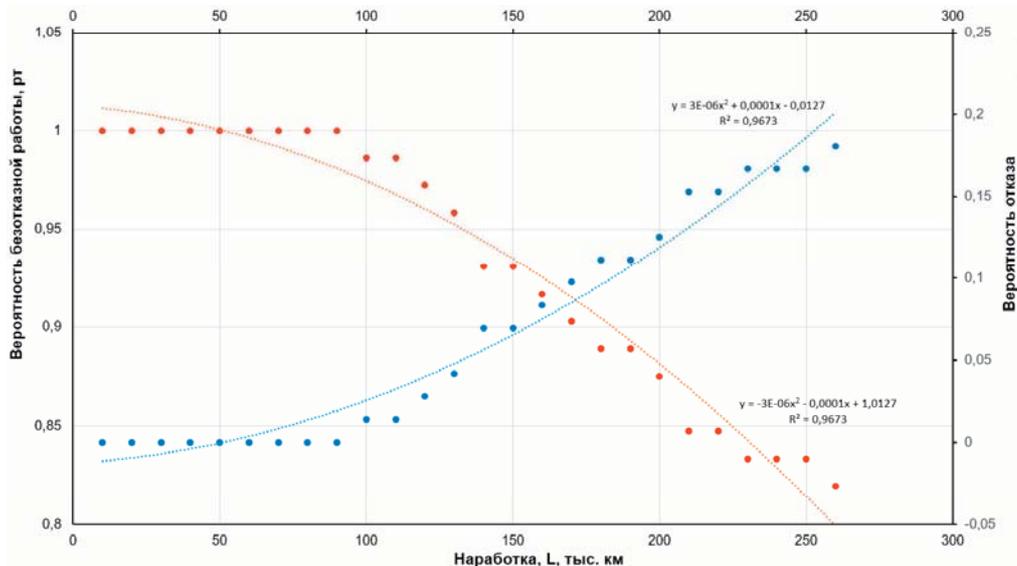


Рис. 1 – Изменение вероятности отказа и безотказной работы автотракторных генераторов с увеличением наработки

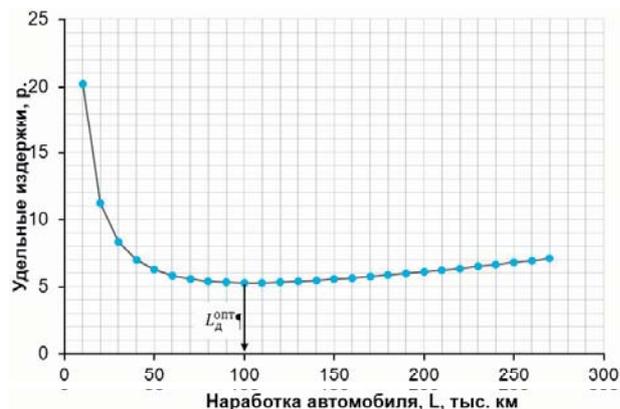


Рис. 2 – Определение наработки начала диагностирования

стью 75–110 тыс. км необходимо проводить первое диагностирование, а с периодичностью 20–40 тыс. км – последующие диагностирования автотракторных генераторов.

3. С использованием экспериментальных значений вероятности безотказной работы автотракторных генераторов были получены окончательные значения периодичности. Для обнаружения скрытых отказов автотракторных генераторов необходимо проводить первое диагностирование предлагаемым методом при наработке $L_{д}^1 = 105$ тыс. км, и далее постоянно, с установленной периодичностью диагностирования $L_{д} = 30$ тыс. км.

Литература

1. Пузаков А.В., Филатов М.И. Экспресс-метод диагностирования автомобильных генераторов // Научное обозрение. 2015. № 16. С. 190–199.
2. Пузаков А.В. Обоснование диагностических параметров автомобильных генераторных установок // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 10 (171). С. 158–163.
3. Пузаков А.В., Филатов М.И. Теоретические аспекты определения допустимого значения диагностического параметра автомобильного генератора // Информационные технологии и инновации на транспорте: матер. 2-й Междунар. науч.-практич. конф., под общ. ред. д.т.н., проф. А.Н. Новикова. Орёл: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2016. С. 228–236.

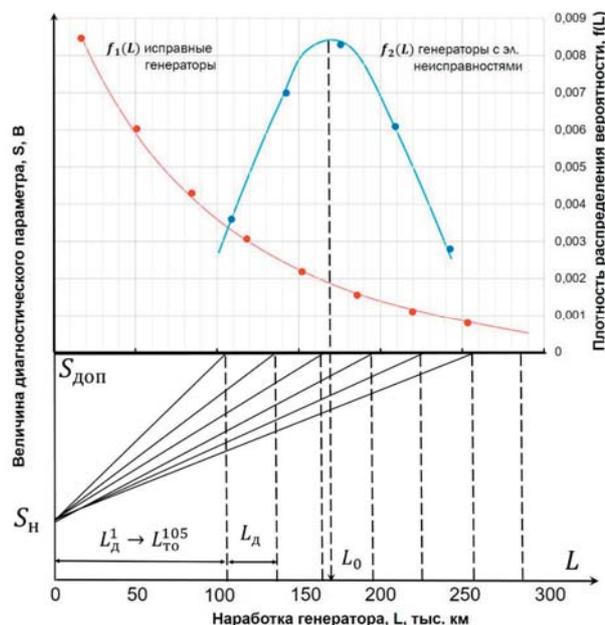


Рис. 3 – Корректировка периодичности диагностирования

4. Пузаков А.В., Филатов М.И. Апробация методики диагностирования автомобильных генераторов в условиях сервисного предприятия // Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации: сборник материалов Междунар. науч. конф., посвящ. 60-летию Оренбургского государственного университета. Оренбург: ООО «ИПК «Университет», 2015. С. 120–124.
5. Мирошников Л.В., Болдин А.П., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. М.: Транспорт, 1977. 264 с.
6. Малкин В.С. Техническая диагностика: учебное пособие. СПб.: Лань, 2013. 268 с.
7. Харазов А.М., Кривенко Е.И. Диагностирование легковых автомобилей на станциях технического обслуживания. М.: Высш. шк., 1987. 271 с.
8. Харазов А.М., Цвид С.Ф. Методы оптимизации в технической диагностике машин. М.: Машиностроение, 1983. 132 с.
9. Харазов А.М. Диагностическое обеспечение технического обслуживания и ремонта автомобилей. М.: Высш. шк., 1990. 205 с.
10. Токарев А.Н. Основы теории надёжности и диагностика: Учебник для студентов автотранспортных специальностей. Барнаул: Изд. АлтГТУ, 2008. 168 с.
11. Филатов М.И., Пузаков А.В. Методика оценки и прогнозирования остаточного ресурса автомобильных генераторов // Автотранспортное предприятие. 2016. № 8. С. 48–50.