

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИНДУКТОРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ АВТОМОБИЛЕЙ

А.В. Пузаков¹, О.В. Юсупова²

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹e-mail: and-rew78@yandex.ru

²e-mail: yusupova_olesya@bk.ru

Аннотация. Актуальность проблемы диагностирования генераторов вызвана недостаточной информативностью существующих методов диагностирования. Автомобили могут оснащаться индукторными генераторами, в которых возникают преимущественно электрические неисправности. Современные исследования посвящены рассмотрению неисправностей выпрямительного блока, в то время как неисправностям обмоток индукторных генераторов уделено недостаточное внимание. Цель статьи заключается в повышении информативности диагностирования индукторных генераторов на основе совместного использования двух диагностических параметров: температуры и выходного напряжения. Ведущим методом к исследованию данной проблемы является физическое моделирование неисправностей (обрыв и замыкание обмотки возбуждения, обрыв фазы статора, межвитковое замыкание фазы статора, межфазное замыкание обмотки статора, замыкание фазы статора на корпус) путем принудительного увеличения (уменьшения) электрического сопротивления обмоток индукторного генератора. Для определения температуры генератора он выводился на установившийся тепловой режим в течение 20 минут. Физическое моделирование позволило установить границы возникновения и развития электрических неисправностей в значениях структурных и диагностических параметров. Установлено, что температура генератора при возникновении неисправностей может на 10–15 °С превысить нормативную, а выходное напряжение снизиться до величины 7–9 В уже при работе генератора без нагрузки. Для оценки ресурса работы индукторных генераторов использована степень работоспособности, обусловленная разностью текущего и предельного значений диагностического параметра. Итоговая оценка работоспособности генератора является средним арифметическим по двум диагностическим параметрам. Изменение выходного напряжения оказывает большее влияние на степень работоспособности индукторного генератора. По мере увеличения превышения температуры и снижения выходного напряжения степень работоспособности уменьшается, свидетельствуя о возникновении неисправностей индукторного генератора. Научной новизной можно считать экспериментально обоснованные закономерности, отражающие связь между структурными и диагностическими параметрами индукторных генераторов. Практическая значимость проведенных исследований заключается в повышении достоверности диагностирования индукторных генераторов и эффективности эксплуатации автомобилей за счет снижения простоев в ремонте. Дальнейшие исследования позволят учесть остальные неисправности индукторных генераторов и разработать практические рекомендации для внедрения предложенного метода диагностирования.

Ключевые слова: индукторный генератор, физическое моделирование неисправностей, степень работоспособности, температура генератора, выходное напряжение, автомобили.

Для цитирования: Пузаков А. В., Юсупова О. В. Оценка параметров работоспособности индукторных генераторов автомобилей // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 7. – С. 129-137. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-7-129.

ASSESSMENT OF PARAMETERS OF OPERABILITY OF INDUCTOR ALTERNATORS OF AUTOMOBILES

A.V. Puzakov¹, O.V. Yusupova²

Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹e-mail: and-rew78@yandex.ru

²e-mail: yusupova_olesya@bk.ru

Abstract. The relevance of a problem of diagnosing of alternators is caused by insufficient informational content of the existing diagnosing methods. Automobiles can be equipped with inductor alternators, in which mainly electrical failures occur. Modern research is devoted to the consideration of rectifier block faults, while insufficient

attention has been paid to faults in the windings of inductor alternators. The purpose of the article is to increase the information content of diagnosing inductor alternators based on the joint use of two diagnostic parameters: temperature and output voltage. The leading method to the study of this problem is the physical modeling of faults (open and short circuit of the field winding, open stator phase, inter-turn short circuit of the stator phase, inter-phase short circuit of the stator winding, short circuit of the stator phase to the housing) by forcibly increasing (decreasing) the electrical resistance of the windings of the inductor alternator. To determine the temperature of the alternator, it was brought to a steady thermal state for 20 minutes. Physical modeling made it possible to establish the boundaries of the occurrence and development of electrical faults in the values of structural and diagnostic parameters. It was established that the temperature of the alternator in the event of malfunctions can exceed the normative by 10–15 °C, and the output voltage can drop to 7–9 Volt when the alternator is running without load. To assess the service life of inductor alternators, the degree of working capacity was used, due to the difference between the current and limit values of the diagnostic parameter. The final assessment of the alternator's performance is the arithmetic average of two diagnostic parameters. Changing the output voltage has a greater effect on changing the degree of operability of the inductor alternator. As the temperature rise increases and the output voltage decreases, the degree of operability decreases, indicating the occurrence of faults of the inductor alternator. The scientific novelty can be considered experimentally valid patterns that reflect the relationship between the structural and diagnostic parameters of inductor alternators. The practical significance of the research is to increase the reliability of diagnosis of inductor alternators and the efficiency of automobile operation by reducing downtime in repairs. Further studies will allow to consider the remaining faults of inductor alternators and develop practical recommendations for the implementation of the proposed diagnostic method.

Keywords inductor alternator, physical simulation of faults, degree of operability, alternator temperature, output voltage, automobiles

Cite as: Puzakov, A.V., Yusupova, O.V (2019) [Assessment of parameters of operability of inductor alternators of automobiles]. *Intellekt. Innovatsi. Investitsii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 7, pp. 129-137. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-7-129.

Введение

Область эксплуатации автомобилей отличается широким разнообразием и характеризуется негативным воздействием пыли, влаги, колебания температуры воздуха, перепада высот с изменением атмосферного давления. Все это приводит к увеличению числа неисправностей, в том числе электрического оборудования. Так как наибольшая нагрузка в системе электрического оборудования приходится на генератор, то от его работы зависит надежность функционирования большинства элементов транспортных средств. Таким образом актуальной становится задача получения оперативной и достоверной информации о техническом состоянии генератора.

Автомобили могут оснащаться синхронными генераторами с контактными кольцами и индукторными генераторами (бесщеточными). Отличием этих генераторов является принцип образования магнитного потока [2]. Если в генераторах с контактными кольцами переменный магнитный поток образуется за счет вращения ротора с обмоткой возбуждения, то в индукторных генераторах обмотка возбуждения закреплена неподвижно, а за формирование переменного магнитного потока отвечает ротор специальной конструкции.

Поскольку в индукторных генераторах отсутствует щеточный узел, то они обладают повышенной надежностью по сравнению с генераторами с контактными кольцами, что обусловило их применение в автомобилях с повышенными требованиями к надежности [4, 7-9].

Результаты исследований показывают, что перечень неисправностей генераторов включает в себя, в общем случае, механические и электрические неисправности (рисунок 1), причём ряд из них характерен только для генераторов с контактными кольцами [3].

Анализ причин возникновения неисправностей показал, что только 29% неисправностей генераторов с контактными кольцами и 18% неисправностей индукторных генераторов связаны с механической частью, а остальные вызваны отказами электрических элементов.

Наибольшее распространение при эксплуатации автомобилей получила оценка технического состояния генераторов по величине выходного напряжения, не требующая дорогостоящего оборудования и временных затрат.

Недостатками таких проверок является невозможность определения начальной стадии неисправности генератора, который эксплуатируется вплоть до выхода из строя, что приводит к дополнительным затратам (замену генератора можно совместить с плановым техническим обслуживанием).

Для оценки работоспособности индукторных генераторов могут быть использованы как параметры рабочих (величина выходного напряжения и сила тока) так и сопутствующих процессов (температура поверхности, величина внешнего магнитного поля, виброакустические характеристики и т. д.) [1, 6, 10-15]. Каждый из них имеет преимущества и недостатки, например измерение напряжения

осуществляется практически мгновенно, но осложняется сглаживающим воздействием аккумуляторной батареи и недостаточной информативностью на начальной стадии развития неисправностей. Из-

мерение температуры требует вывода генератора на установившийся тепловой режим, но наиболее чувствительна к неисправностям не только электрического происхождения.



Рисунок 1. Структура неисправностей генераторов транспортных средств

Статья посвящена оценке работоспособности индукторных генераторов автомобилей при совместном использовании двух диагностических параметров: температуры и выходного напряжения.

Методика физического моделирования неисправностей генератора

Так как, в большинстве случаев первой неисправностью, возникающей в генераторе, является неисправность электрического происхождения, то именно они рассматриваются в данной работе. Моделирование электрических неисправностей представляет собой процесс имитирования реальных процессов, происходящих с изоляцией обмоток генератора.

Разница между моделью и реальным процессом заключается в продолжительности развития неисправности. Старение изоляции происходит при продолжительной эксплуатации, перегрузках и т. п. аномальных режимах. Процесс этот занимает долгое время, и чтобы отследить его необходимо большое количество измерений, с большим интервалом между замерами.

Для ускорения процесса получения информации используются методы физического и имитационного моделирования, преимуществами которых считать значительное ускорение эксперимента, возможность моделирования совокупности ряда неисправностей, а также установление четкой границы между работоспособным и неработоспособным состоянием генератора [5].

Физическое моделирование увеличения сопротивления обмотки за счет переходного сопротивления в месте контакта выводов обмотки (полное отсутствие контакта равнозначно обрыву обмотки) осуществляется путем последовательного включе-

ния с обмоткой регулируемого активного сопротивления (реостаты R3 и R4, рисунок 2).

Для моделирования уменьшения сопротивления обмотки возбуждения были подпаяны дополнительные выводы, которые позволяют имитировать межвитковое замыкание обмотки (выключатели S5 и S6, рисунок 2). Диапазон изменения сопротивления составляет от 12% до 100% от номинальной величины сопротивления обмотки возбуждения. Моделирование межвиткового замыкания одной из фаз обмотки статора осуществлялось с помощью реостата R2 (рисунок 2) путём подпайки к виткам обмотки.

Так как обмотка статора генератора выполняет трехфазной, то одной из возможных неисправностей является замыкание между витками разных фаз (межфазное замыкание), реализованное с помощью реостата R1 при замкнутом выключателе S1 и разомкнутом выключателе S4.

Одновременное замыкание выключателей S1 и S4, приводит к тому, что реостат R1 (рисунок 2) оказывается включенным параллельно фазе и обмотки статора, что позволяет моделировать замыкание фазы на корпус генератора.

Использование для физического моделирования регулируемых активных сопротивлений (реостатов) позволяет наблюдать процесс возникновения и развития неисправностей вплоть до конечной стадии.

Электрическая схема физического моделирования неисправностей приведена на рисунке 2, где указаны точки подключения реостатов к элементам индукторного генератора. Выходное напряжение измерялось вольтметром, а температура генератора с помощью полупроводникового датчика, закрепленного на поверхности обмотки статора (выбор данной точки обусловлен наибольшей информативностью [6]).

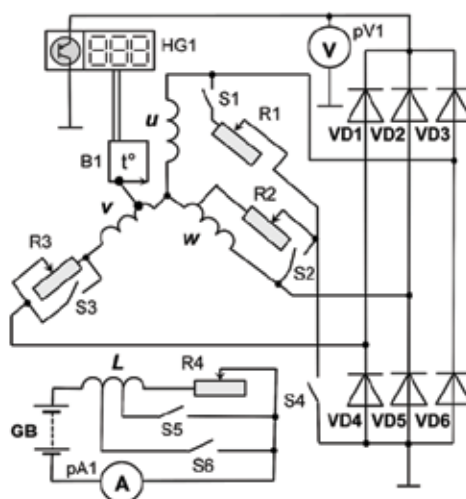


Рисунок 2. Электрическая схема моделирования неисправностей индукторного генератора

B1 – датчик температуры; GB1 – источник питания (аккумуляторная батарея); HG1 – индикатор температуры; L – обмотка возбуждения генератора; pA1 – амперметр; pV1 – вольтметр; R1-R4 – реостаты моделирования неисправностей; S1-S6 – выключатели; VD1-VD6 – диоды выпрямительного блока; u, v, w – фазы обмотки статора генератора.

Частота вращения ротора испытываемого генератора (модель Г-1000В) поддерживалась на уровне 1400 1/мин, сила тока нагрузки составила 4 А (холостой ход). В процессе эксперимента фиксировалось изменение вышеуказанных диагностических параметров в процессе развития неисправностей.

Результаты экспериментальных исследований

Результаты изменения температуры и напряжения в процессе физического моделирования пяти неисправностей (обрыв и замыкание обмотки возбуждения, обрыв фазы статора, межвитковое замыкание фазы статора, межфазное замыкание обмотки статора, замыкание фазы статора на корпус) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение диагностических параметров в процессе моделирования неисправностей

Сопротивление реостата R, Ом	Наименование моделируемой неисправности									
	обрыв или замыкание обмотки возбуждения		межвитковое замыкание обмотки статора		межфазное замыкание		замыкание фазы статора на корпус		обрыв фазы статора	
	U, В	ΔT , °C	U, В	ΔT , °C	U, В	ΔT , °C	U, В	ΔT , °C	U, В	ΔT , °C
*	14,4	14	–	–	–	–	–	–	–	–
*	14,4	7	–	–	–	–	–	–	–	–
0,5	14,4	0	11,8	12	14,2	0	9,1	17	13,6	0
1,0	–	–	13,7	9	14,1	1	11,6	12	13,3	2
2,0	13,3	–1	14,1	6	13,9	2	13,7	6	12,4	3
4,0	11,7	–2	14,2	3	13,6	4	14,1	2	11,5	4
8,0	10,7	–3	14,3	0	12,2	9	14,4	1	10,5	5
16,0	7,6	–6	14,4	0	10,5	15	14,4	0	9,9	6

*Для эксперимента использованы дополнительные выводы, редуцирующие часть обмотки возбуждения

Для получения данных о температуре генератор работал в течение 20 минут для выхода на установившийся тепловой режим. Фиксировалась начальная T_0 и конечная температура T_y и все промежуточные значения с интервалом в 1 градус (рисунок

3). Нагрев генератора описывается экспоненциальной зависимостью

$$T = T_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (1 - e^{-\tau/t})) \quad (1)$$

где

T – текущее значение температуры, °C;
 T_0 – начальное значение температуры, °C;
 α – коэффициент, зависящий от работоспособности генератора. Экспериментально установлен-

ные значения приведены на рисунке 3, $\alpha = 0,26$ для номинального сопротивления обмотки;

τ – текущее значение времени работы генератора, с;

t – время прекращения работы генератора, с.

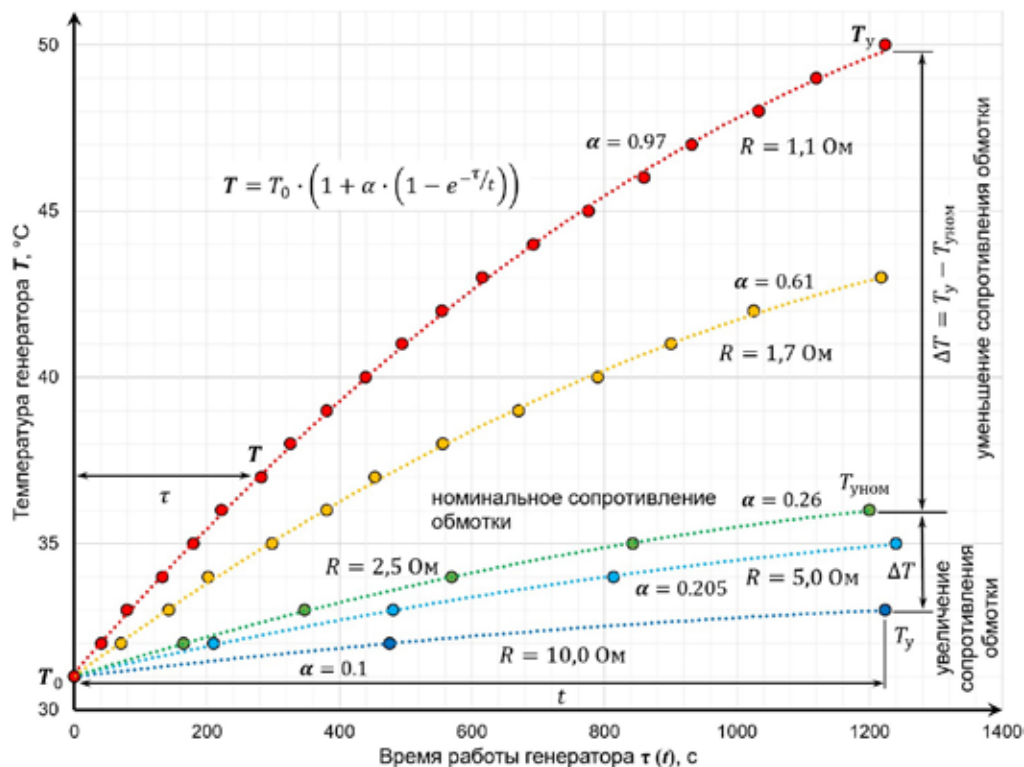


Рисунок 3. Изменение температуры генератора в процессе моделирования неисправностей обмотки возбуждения

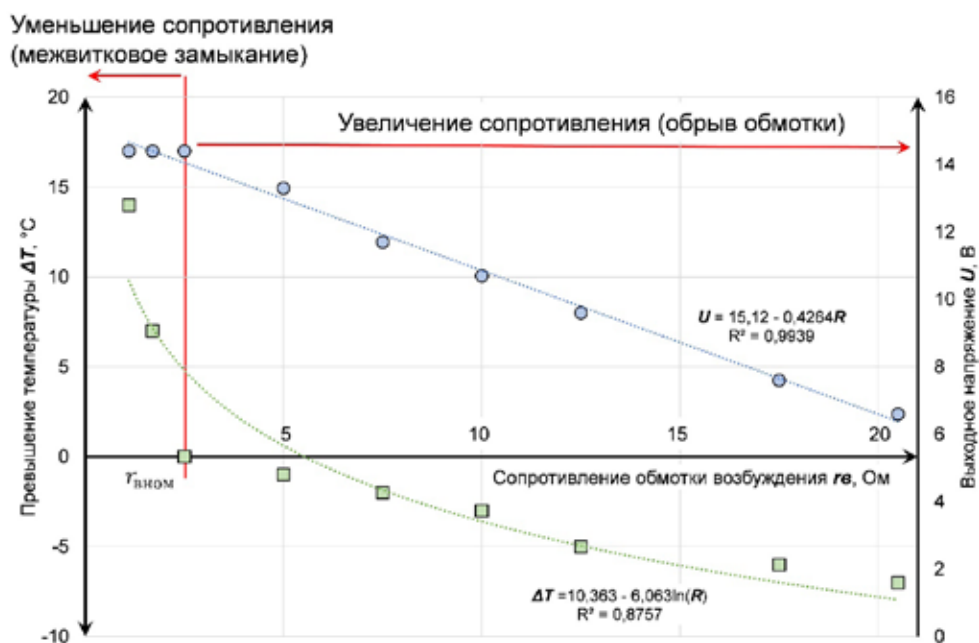


Рисунок 4. Изменение диагностических параметров при моделировании неисправностей обмотки возбуждения

Представим в виде графика, представленного на рисунке 4 изменение диагностических параметров в процессе физического моделирования неисправностей обмотки возбуждения. Точками указаны результаты измерений, линиями – уравнения регрессии, которые характеризуют полученные результаты.

Оценка работоспособности индукторного генератора

Для оценки ресурса работы индукторных генераторов используем понятия запас работоспособности и степень работоспособности

$$Z_j = |Y_i - Y_{пр}| \quad (2)$$

где

Z – запас работоспособности;

Y – текущее значение j -того диагностического параметра;

$Y_{пр}$ – предельное значение j -того диагностического параметра;

j – порядковый номер диагностического параметра;

i – порядковый номер измерения диагностического параметра.

Знак модуля означает, что разница между текущим и предельным значением параметра может быть и отрицательной, а запас работоспособности $1 \geq Z \geq 0$.

Степень работоспособности, в отличие от запаса работоспособности, является безразмерной величиной, что позволяет определить влияние разных диагностических параметров на ресурс работы генератора

$$C_j = |Y_i - Y_{пр}| / |Y_{ном} - Y_{пр}| \quad (3)$$

где

$Y_{ном}$ – номинальное значение j -того диагностического параметра.

Степень работоспособности по выражению (3) может принимать значения в пределах $[1,0]$, для оценки запаса и степени работоспособности в процентах, необходимо полученные по выражениям (2) и (3) значения умножить на 100.

Для оценки степени работоспособности генератора по двум диагностическим параметрам (превышение температуры ΔT и выходное напряжение U) введем число $M(Y)$ таким образом, чтобы

$$M(Y) > 0; M(Y) \rightarrow 0, \text{ если } Y_i \rightarrow Y_{пр};$$

$$M(Y) \rightarrow 1, \text{ если } Y_i \rightarrow Y_{ном} \quad (4)$$

При этом значение $M(Y)$ находим по формуле

$$M(Y) = \frac{C_U + C_{\Delta T}}{2} = \frac{\frac{|U_i - U_{пр}|}{U_{ном} - U_{пр}} + \frac{|\Delta T_i - \Delta T_{пр}|}{\Delta T_{ном} - \Delta T_{пр}}}{2} \quad (5)$$

где

$C_U, C_{\Delta T}$ – степень работоспособности генератора по выходному напряжению и превышению температуры соответственно;

$U, \Delta T$ – текущее значение выходного напряжения и превышения температуры, B и $^{\circ}C$;

$U_{пр}, \Delta T_{пр}$ – предельные значения выходного напряжения и превышения температуры, установленные экспериментально, B и $^{\circ}C$;

$U_{ном}, \Delta T_{ном}$ – номинальные значения выходного напряжения и превышения температуры, B и $^{\circ}C$.

С учетом этого степень работоспособности M индукторного генератора при изменении диагностических параметров (превышение температуры ΔT и выходное напряжение U) будет изменяться в пределах $[1,0]$.

Результаты вычисления степени работоспособности индукторного генератора по выражению (5) для экспериментальных полученных значений превышения температуры ΔT и выходного напряжения U представим в виде трехмерной поверхности отклика (рисунок 5).

Поверхность отклика линеаризована в программе TableCarve 3D с достоверностью $R^2 = 0.995$

$$M = -0,5063 - 0,02234 \cdot \Delta T + 0,10516 \cdot U \quad (6)$$

Анализируя вид поверхности, можно сделать вывод, что изменение выходного напряжения оказывает большее влияние на изменение степени работоспособности индукторного генератора. По мере увеличения превышения температуры и снижения выходного напряжения степень работоспособности уменьшается, свидетельствуя о возникновении неисправностей индукторного генератора.

Заключение

1. Автомобили с повышенными требованиями к надежности оснащаются индукторными генераторами – синхронными одноименно-полюсными электрическими машинами с комбинированным магнитно-электромагнитным возбуждением. Анализ причин возникновения неисправностей показал, что только 18% неисправностей индукторных генераторов связаны с механической частью, а остальные вызваны отказами электрических элементов.

2. С целью повышения информативности оценки работоспособности индукторных генераторов на ранних стадиях возникновения неисправностей

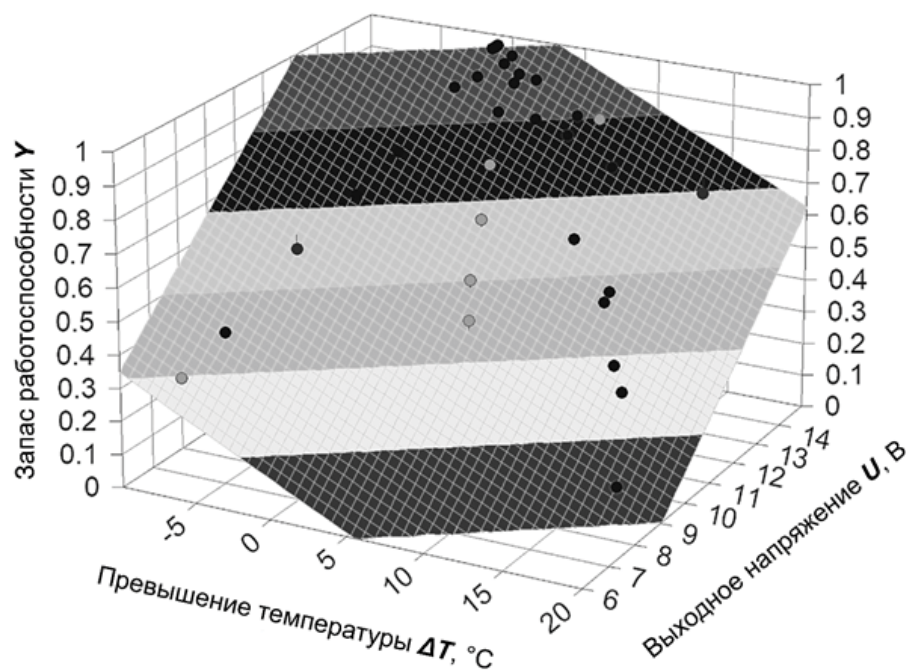


Рисунок 5. Влияние диагностических параметров на степень работоспособности индукторного генератора

предложено совместное использование двух диагностических параметров: выходного напряжения и температуры.

3. Физическое моделирование позволило установить границы возникновения и развития электрических неисправностей в значениях структурных и диагностических параметров. Температура генератора при возникновении неисправностей может на 10–15°C превысить нормативную, а выходное напряжение снизиться до величины 7–9 В уже при работе генератора без нагрузки.

4. Для оценки ресурса работы индукторных генераторов использована степень работоспособно-

сти, обусловленная разностью текущего и предельного значений диагностического параметра. Изменение выходного напряжения оказывает большее влияние на изменение степени работоспособности индукторного генератора. По мере увеличения превышения температуры и снижения выходного напряжения степень работоспособности уменьшается, свидетельствуя о возникновении неисправностей индукторного генератора.

5. Дальнейшие исследования позволят учесть остальные неисправности индукторных генераторов и разработать практические рекомендации для внедрения предложенного метода диагностирования.

Литература

1. Абельцев В. В. Разработка алгоритма идентификации неисправностей автомобильных генераторов на основе спектра выходного напряжения / В. В. Абельцев, О. В. Юсупова, А. В. Пузаков // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (5–7 декабря 2018 г.): в 2 т. / отв. ред. А. В. Медведев. – Тюмень: ТИУ, 2019. – Т.1. – С. 236-242.
2. Альпер Н. Я. Индукторные генераторы / Н. Я. Альпер, А. А. Терзян. – М.: Энергия, 1970. – 192 с.
3. Забрусов А. В. Анализ неисправностей генераторов транспортно-технологических машин / А. В. Забрусов, А. В. Пузаков, М. И. Филатов // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 27–28 октября 2017 г. / Под ред. к.т.н., доцента С. А. Гончарова; к.ф.м.н., доцента Е. А. Дудник / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2017. – С. 266-271.
4. Лущик В. Д. Покращення параметрів індукторних генераторів за допомогою конденсаторів в обмотці збудження / В. Д. Лущик, В. В. Дяченко // Електротехніка і електроенергетика. – 2006. – № 2. – С. 37-40.
5. Пузаков А. В. Обоснование параметров оценки технического состояния автомобильных генераторов на основе моделирования неисправностей / М. И. Филатов, А. В. Пузаков // Грузовик. – 2016. – № 1. – С. 25-29.

6. Chen M.-K. (2007) Thermal effect of stator winding to the vehicle alternator. *2007 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Seoul, October 2007*, pp. 1041-1045.
7. Hajek V., Vitek O., Mach M. (2013) Brushless alternator in automotive applications. *2013 Eighth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Monte Carlo, May 2013*, pp. 1-4.
8. Julian A. L., Oriti, G. New brushless alternator for automotive applications. *Conference Record of the 2001 IEEE Industry Applications Conference. 36th IAS Annual Meeting (Cat. No.01CH37248), Chicago, IL, USA, 2001*, pp. 443-448 vol.1.
9. Kamalakannan M., Jeyapaul Singh, N. (2016) Design, analysis & optimization of automotive Brushless Alternator. *2016 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET), Coimbatore, 2016*, pp. 1-5.
10. Kodali A., Zhang Y., Sankavaram C., Pattipati K., Salman, M. (2013) Fault Diagnosis in the Automotive Electric Power Generation and Storage System (EPGS). in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 18, no. 6, pp. 1809-1818.
11. McArdle M. G., Morrow D. J. (2004) Noninvasive detection of brushless exciter rotating diode failure. in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 19, no. 2, pp. 378-383.
12. Nagaraja R. S., Kiran B. M., Pranupa, S. (2018). Detection of Rotating Diode Failure Condition & its Protection in Brushless Alternator. *International Journal of Engineering & Technology*, 7, pp. 26-32.
13. Pillai K. P. P., Idiculla M. K., Nair A. S. (2006). Spectral study on the voltage waveform of claw pole automotive alternator. *European Council for Modeling and Simulation*, pp. 456-461.
14. Salah M., Bacha K., Chaari A., Benbouzid M. E. H. (2014). Brushless Three-Phase Synchronous Generator Under Rotating Diode Failure Conditions. in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 29, no. 3, pp. 594-601.
15. Bao X. H., Liu M. Z. (2012) Parameter Analysis and Optimal Design for Mobile Claw-Pole Alternator. *Applied Mechanics and Materials, Vols. 130-134*, pp. 658-661.

References

1. Abeltsev, V.V., Yusupova, O.V., Puzakov A.V. (2018) [Development of a fault identification algorithm for automotive alternators based on the output voltage spectrum]. *Problemi funkcionirovaniya sistem transporta materiali Mejdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii studentov aspirantov i molodih uchenih* [Problems of the functioning of transport systems: materials of the International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists]. Tyumen: Vol. 1, pp. 236-242. (In Russ.).
2. Alper, N.Ya., Terzyan A.A. (1970) *Induktorne generatori* [Inductive Generators]. Moscow: Energy, 192 p.
3. Zabruskov, A.V., Puzakov, A.V., Filatov, M.I. (2017) [Fault analysis of generators of transport-technological machines]. *Sovremennaya tehnika i tehnologii_problemi_sostoyaniye i perspektivi: Materiali VII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferencii s mejdunarodnim uchastiem* [Modern equipment and technologies: problems, status and prospects: Materials of the VII All-Russian scientific-practical conference with international participation]. Rubtsovsk: Rubtsovsk Industrial Institute, pp. 266-271. (In Russ.)
4. Lushchik, V.D., Dyachenko, V.V. (2006) [Improvement of the parameters of inductive generators by means of capacitors in the excitation winding]. *Elektrotehnika o elektroenergetika* [Electrical Engineering and Power Engineering]. Vol.2, pp. 37-40. (In Ukr.).
5. Filatov, M.I., Puzakov, A.V. (2016) [Justification of the parameters for assessing the technical condition of automobile generators based on fault modeling]. *Gruzovik* [Truck]. Vol.1, pp. 25-29. (In Russ.).
6. Chen, M.-K. (2007) Thermal effect of stator winding to the vehicle alternator. *2007 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Seoul, October 2007*, pp. 1041-1045. (In Engl.).
7. Hajek, V., Vitek, O., Mach, M. (2013) Brushless alternator in automotive applications. *Eighth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Monte Carlo, May 2013*, pp. 1-4. (In Engl.).
8. Julian, A.L., Oriti, G. (2011) New brushless alternator for automotive applications. *Conference Record of the 2001 IEEE Industry Applications Conference. 36th IAS Annual Meeting (Cat. No.01CH37248), Chicago, IL, USA, 2001*. Vol.1, pp. 443-448. (In Engl.)
9. Kamalakannan, M., Jeyapaul Singh, N. (2016) Design, analysis & optimization of automotive Brushless Alternator. *2016 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET), Coimbatore, 2016*, pp. 1-5. (In Engl.).
10. Kodali, A., Zhang, Y., Sankavaram, C., Pattipati, K., Salman, M. (2013) Fault Diagnosis in the Automotive Electric Power Generation and Storage System (EPGS). in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 18, no. 6, pp. 1809-1818. (In Engl.).

11. McArdle, M.G., Morrow, D.J. (2004) Noninvasive detection of brushless exciter rotating diode failure. *in IEEE Transactions on Energy Conversion*. Vol. 19, No. 2, pp. 378-383. (In Engl.).
12. Nagaraja, R.S., Kiran, B.M., Pranupa, S. (2018) Detection of Rotating Diode Failure Condition & its Protection in Brushless Alternator. *International Journal of Engineering & Technology*, 7, pp. 26-32. (In Engl.).
13. Pillai, K.P.P., Idicullam, M.K. and Nair, A.S. (2006) Spectral study on the voltage waveform of claw pole automotive alternator. *European Council for Modeling and Simulation*, pp. 456-461. (In Engl.).
14. Salah, M., Bacha, K., Chaari, A., Benbouzid, M.E.H. (2014) Brushless Three-Phase Synchronous Generator Under Rotating Diode Failure Conditions. *In IEEE Transactions on Energy Conversion*. Vol. 29. No. 3, pp. 594-601. (In Engl.).
15. Bao, X.H., Liu, M.Z. (2012) Parameter Analysis and Optimal Design for Mobile Claw-Pole Alternator. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 130-134, pp. 658-661. (In Engl.).

Информация об авторах:

Андрей Владимирович Пузаков, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0002-9754-8165, **Researcher ID:** G-3297-2015

e-mail: and-rew78@yandex.ru

Олеся Владимировна Юсупова, старший преподаватель кафедры информатики, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

e-mail: yusupova_olesya@bk.ru

Статья поступила в редакцию 04.08.2019; принята в печать 29.10.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Andrey Vladimirovich Puzakov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Operation and Repair of Cars, Orenburg State University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0002-9754-8165, **Researcher ID:** G-3297-2015

e-mail: and-rew78@yandex.ru

Olesya Vladimirovna Yusupova, Senior Lecturer of the Department of Computer Science, Orenburg State University, Orenburg, Russia

e-mail: yusupova_olesya@bk.ru

The paper was submitted: 04.08.2019.

Accepted for publication: 29.10.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.