

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-203-223
УДК 629.113.001



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

О ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

А.С. Чернышков, А.И. Федотов, О.С. Яньков

Статья посвящена разработке метода функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой на стендах с беговыми барабанами. Проанализирована необходимость проведения функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой. Рассмотрены причины, сдерживающие развитие и реализацию стендового метода контроля технического состояния автомобилей с электрической силовой установкой. В статье представлены результаты, полученные авторами в предыдущих работах. Приведены разработанные математические модели, предложены тестовые режимы для проведения испытаний автомобилей с электрической силовой установкой на стенде с беговыми барабанами. Представлены результаты аналитического и экспериментального выявления взаимосвязей между параметрами технического состояния автомобиля с электрической силовой установкой и основными параметрами его функционирования. Выявленные закономерности позволили разработать метод функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой на основе применения диагностической матрицы. Разработанный метод функциональной диагностики реализуется за счет измерения и последующего сравнения с нормативными значениями основных параметров функционирования автомобиля с электрической си-

ловой установкой при контроле его технического состояния на стенде с беговыми барабанами. Предложен управляющий алгоритм, позволяющий реализовывать разработанный метод функциональной диагностики.

Цель – разработка метода функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой на стендах с беговыми барабанами.

Методы или методологии проведения исследований численный метод, основанный на конечно-разностной схеме метода Парка, с использованием специального численно-итерационного метода составления уравнений движения; натурное экспериментальное исследование.

Результаты – разработан метод функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой на стендах с беговыми барабанами, который на основе выявленных зависимостей параметров, характеризующих тягово-динамические свойства автомобилей с электрическими силовыми установками, от параметров технического состояния их агрегатов и систем, осуществляется при помощи разработанных алгоритма и диагностической матрицы позволяет выполнять количественный контроль технического состояния АЭСУ, их силовых агрегатов и систем при функционировании АЭСУ на стендах с беговыми барабанами и реализуется на разработанном стендовом оборудовании.

Область применения. Полученные в виде разработанного метода и реализующего его оборудования результаты целесообразно применять при контроле технического состояния и диагностике автомобилей с электрической силовой установкой на станциях технического обслуживания, испытания на заводах-изготовителях.

Ключевые слова: автомобиль с электрической силовой установкой; стенд с беговыми барабанами; функциональная диагностика; диагностическая матрица; диагноз; диагностические параметры; диагностические нормативы; тестовые режимы; функциональные зависимости; контроль технического состояния

Для цитирования. Чернышков А.С., Федотов А.И., Яньков О.С. О функциональной диагностике автомобилей с электрической силовой установкой // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 3. С. 203-223. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-203-223

Original article | Operation of Road Transport

ABOUT FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF CARS WITH AN ELECTRIC POWER PLANT

A.S. Chernyshkov, A.I. Fedotov, O.S. Yan'kov

The article is devoted to the development of a method of functional diagnostics of cars with an electric power plant on stands with running drums. The necessity of carrying out functional diagnostics of cars with an electric power plant is analyzed. The reasons hindering the development and implementation of the bench method for monitoring the technical condition of cars with an electric power plant are considered. The article presents the results obtained by the authors in previous works. The developed mathematical models are presented, test modes for testing cars with an electric power plant on a stand with running drums are proposed. The results of analytical and experimental identification of interrelations between the parameters of the technical condition of a car with an electric power plant and the main parameters of its functioning are presented. The revealed patterns made it possible to develop a method of functional diagnostics of cars with an electric power plant based on the use of a diagnostic matrix. The developed method of functional diagnostics is implemented by measuring and then comparing with the normative values of the main parameters of the functioning of a car with an electric power plant when monitoring its technical condition on a stand with running drums. A control algorithm is proposed that allows implementing the developed method of functional diagnostics.

Purpose – development of a method of functional diagnostics of cars with an electric power plant on stands with running drums.

Methods or methodologies of research – a numerical method based on the finite-difference scheme of the Park method, using a special numerical-iterative method of composing equations of motion; full-scale experimental research.

Results – a method of functional diagnostics of cars with an electric power plant on stands with running drums has been developed, which, based on the revealed dependencies of the parameters characterizing the traction and dynamic properties of cars with electric power plants on the parameters of the technical condition of their units and systems, is carried out using the developed algorithm and diagnostic matrix allows quantitative control of the technical condition of cars with electric power installation, their power units and systems during the operation of cars with an electric power plant on stands with running drums and is implemented on the developed bench equipment.

Practical implications. The results obtained in the form of the developed method and the equipment implementing it are advisable to apply when monitoring the technical condition and diagnostics of cars with an electric power plant at service stations, testing at manufacturing plants.

Keywords: cars with an electric power plant; stand with running drums; functional diagnostics; diagnostic matrix; diagnosis; diagnostic parameters; diagnostic standards; test modes; functional dependencies; technical condition monitoring

For citation. Chernyshkov A.S., Fedotov A.I., Yan'kov O.S. About Functional Diagnostics of Cars with an Electric Power Plant. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 203-223. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-203-223

Введение

Методы диагностирования, применяемые для определения технического состояния автомобилей, делятся на две группы. Первая группа методов реализуется путем измерения основных эксплу-

атационных свойств автомобиля, что дает возможность провести оценку его работоспособности и эксплуатационных свойств в целом. Ко второй группе методов относят те методы, которые осуществляются за счет измерения параметров процессов, сопутствующих функционированию автомобиля, его систем, агрегатов и механизмов. Использование второй группы методов позволяет определить конкретные причины возникновения неисправностей. В связи с этим при диагностировании автомобиля, его систем, агрегатов и механизмов применяют сначала первую группу методов, основанную на принципе перехода «от целого к частному». Таким образом выполняется функциональное диагностирование. Для уточнения диагноза о техническом состоянии автомобиля и локализации неисправностей применяют методы второй группы, осуществляя дифференциальное диагностирование [1, 8, 9].

Современный автомобиль с электрической силовой установкой (АЭСУ) является сложной технической системой, что обусловлено непрерывным их совершенствованием. Сложность конструкций АЭСУ, их систем и агрегатов часто приводит к периодическому возникновению отказов. Значительная часть времени затрачивается на локализацию неисправности и определение причин её возникновения, а не на ремонтные работы. Эффективность определения технического состояния АЭСУ невозможна без применения современных методов диагностики и реализующего их оборудования. Применение методов функциональной диагностики для определения технического состояния АЭСУ является важным элементом стратегии поддержания технического состояния АЭСУ на должном уровне, поскольку позволяет значительно сократить временные затраты на поиск неисправностей и постановку диагноза о техническом состоянии АЭСУ. Это приводит к снижению затрат на техническое обслуживание и ремонт АЭСУ, а также к повышению уровня их безопасности в условиях эксплуатации.

Функциональную диагностику АЭСУ целесообразно выполнять на стендах с беговыми барабанами, поскольку такой метод

позволяет получить более полную информацию о техническом состоянии объекта диагностирования. Однако реализация этого метода сдерживается недостатком знаний о процессе функционирования АЭСУ на стендах с беговыми барабанами. Во-первых, отсутствуют научно-обоснованные тестовые режимы, при которых возможна эффективная диагностика АЭСУ в стендовых условиях. Во-вторых, наблюдается отсутствие знаний о диагностических параметрах и их нормативных значениях, пригодных для оценки технического состояния АЭСУ на стендах с беговыми барабанами. В-третьих, нет выявленных функциональных зависимостей между параметрами технического состояния АЭСУ и диагностическими параметрами. Кроме того, необходимо определить эффективный способ постановки диагноза о техническом состоянии объекта диагностирования.

Материалы и методы

Ранее авторами статьи было проведено научное обоснование тестовых режимов контроля технического состояния [2]. Проведенное исследование позволило устранить первый недостаток знаний. Было выявлено, что наиболее эффективный контроль технического состояния АЭСУ на стендах с беговыми барабанами возможен в следующих типовых режимах: режим разгона по горизонтальной дороге; режим разгона с нагрузкой; режим движения с постоянной скоростью; режим свободного выбега; режим рекуперативного торможения. Научно обоснованные тестовые режимы в совокупности с выявленными зависимостями диагностических параметров от параметров технического состояния АЭСУ позволят выполнять их функциональную диагностику на стенде с беговыми барабанами.

Для выявления диагностических параметров, пригодных для оценки технического состояния АЭСУ, были разработаны математические модели процесса функционирования АЭСУ на стендах с беговыми барабанами, представленные в работах [3, 4, 5, 6,

15]. Приведенные модели позволяют в реальном времени выполнять имитационное моделирование процессов функционирования АЭСУ на стенде с беговыми барабанами, а также проводить аналитические исследования для выявления зависимостей диагностических параметров от параметров технического состояния АЭСУ в процессе их функциональной диагностики

Разработанная математическая модель [5, 6, 15] имитационного моделирования процесса функционирования АЭСУ на стендах с беговыми барабанами при их функциональной диагностике учитывает:

- параметры процесса функционирования электрической силовой установки (ЭСУ);
- процессы взаимодействия эластичной шиной с беговыми барабанами стенда;
- динамические процессы в системе «АЭСУ – Стенд»;
- изменение технического состояния агрегатов трансмиссии и ЭСУ автомобиля.

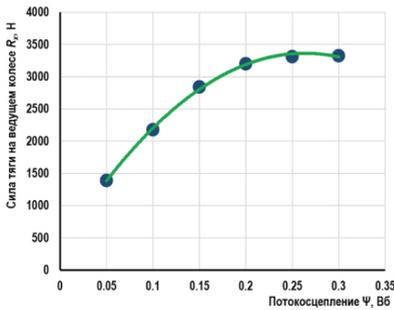
Модель позволяет выявлять зависимости диагностических параметров и показателей тягово-динамических свойств АЭСУ от параметров технического состояния их агрегатов и систем.

Для подтверждения достоверности математических моделей был проведен натурный эксперимент. Экспериментальное исследование процесса функционирования АЭСУ в стендовых условиях было реализовано на разработанном стенде с беговыми барабанами, позволяющем проводить измерение параметров функционирования ЭСУ автомобиля. Конструкция стенда защищена патентом на полезную модель №199093 [7, 11, 12, 13 14]. Экспериментальное исследование проводилось реализацией процесса функционирования АЭСУ KIA Soul EV на полноопорном гибридном стенде с беговыми барабанами. В процессе исследования были измерены основные параметры функционирования АЭСУ. Полученные данные позволили сравнить результаты экспериментальных исследований и аналитических расчётов, провести проверку адекватности разработанной математической модели.

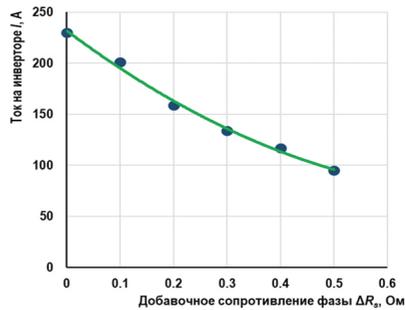
Аналитическое исследование выполнено с использованием разработанной имитационной математической модели путем моделирования процесса функционирования АЭСУ на стенде с беговыми барабанами. При моделировании были проведены многовариантные виртуальные эксперименты с изменением параметров технического состояния ЭСУ автомобиля. В результате были выявлены основные параметры функционирования АЭСУ на стенде: сила тяги в режиме разгона (сила, затрачиваемая на вращение трансмиссии АЭСУ, в режиме выбега) R_x на ведущих колесах автомобиля; скорость V_a , имитируемая на стенде; ток потребления электрической силовой установкой I ; фазные токи I_A , I_B , I_C , протекающие в обмотках синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ); время разгона t_p и выбега t_b . Изменение технического состояния ЭСУ осуществлялось за счёт варьирования следующих параметров: потокосцепление ψ ; сопротивление фаз R_A , R_B , R_C , СДПМ; сопротивление цепи подключения тяговой высоковольтной батареи (ТВБ) R_{BAT} ; диссипации $d_{тр}$ в трансмиссии АЭСУ.

Результатами проведенных аналитических и экспериментальных исследований являются функциональные зависимости между параметрами функционирования АЭСУ и параметрами его технического состояния (рис. 1). Они дают возможность оценивать техническое состояние АЭСУ при его функционировании на стенде с беговыми барабанами за счёт определения его основных эксплуатационных свойств, таких как энергопотребление ЭСУ и тягово-динамические свойства.

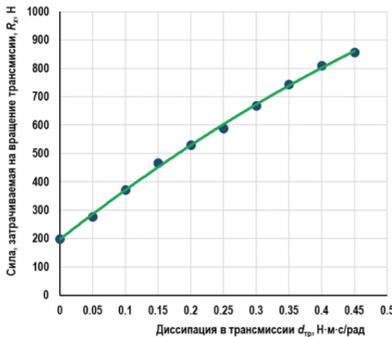
Полученные зависимости функциональных параметров АЭСУ были проанализированы на предмет их диагностической информативности. Распознавание технического состояния АЭСУ при контроле его тягово-динамических свойств на стендах с беговыми барабанами и выявление зависимостей диагностических параметров от параметров технического состояния объекта диагностирования в работе реализовано при помощи метода наибольших сечений.



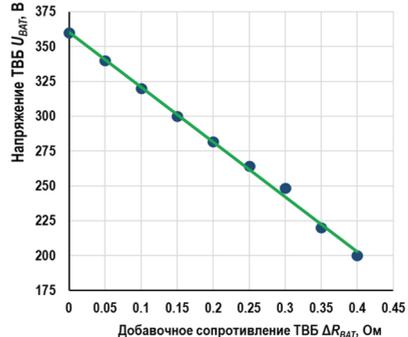
А – Зависимость силы тяги на ведущих колесах АЭСУ от изменения потокоосцепления электродвигателя при имитируемой скорости 16 км/ч



Б – Зависимость тока, потребляемого инвертором, от фазного сопротивления при силе тяги на ведущих колесах 2670 Н



В – Зависимость силы на ведущих колесах АЭСУ, затрачиваемой на вращение трансмиссии, от диссипации в трансмиссии в режиме выбега с 60 км/ч



Г – Зависимость напряжения ТВБ от сопротивления цепи подключения ТВБ при имитируемой скорости 10 км/ч

Рис. 1. Выявленные взаимосвязи между параметрами функционирования АЭСУ и параметрами его технического состояния

Для этого в каждой области локальных диагнозов фазовых диагностических характеристик определены диагностические участки с максимальной чувствительностью к изменениям параметров технического состояния ЭСУ автомобиля. Отрезок этой секущей, ограниченный крайними фазовыми динамическими характери-

стиками, будет являться диагностическим участком. Пересечение фазовых динамических характеристик, с этой секущей позволит определить диагностические признаки параметров технического состояния. Нормативные значения определялись статистическим методом на основе толерантных границ. Выявленные ошибки первого и второго рода оказывают незначительное влияние.

Осуществление функциональной диагностики сложного объекта по принципу «годен-не годен» реализуется за счёт использования достаточно обширного количества диагностических параметров. Поэтому целесообразно использовать метод, основанный на использовании диагностических матриц.

Диагностическая матрица выполнена в виде совокупности связей между диагностическими параметрами и неисправностями объекта и разрабатывается для наиболее вероятных состояний объекта. Структурная схема применения метода постановки диагноза представлена на рисунке 2 [1, 8, 9].

Для каждого возможного состояния $X_1 \div X_n$ в матрице содержатся столбцы с наборами единиц и нулей, характерных для конкретного технического состояния объекта диагностирования. Ноль устанавливается в том случае, если при данном техническом состоянии измеренное значение диагностического параметра не выходит за пределы его нормативного значения. Для обеспечения возможности постановки диагноза необходимо соблюдать выполнение условия $i \geq n$, которое реализуется за счёт получения большого количества информации о процессе функционирования объекта диагностирования и выявления зависимостей между диагностическими нормативами и показателями, характеризующими техническое состояние объекта диагностирования [1, 8, 9].

Метод диагностирования, основанный на применении диагностической матрицы, позволяет фиксировать состояние объекта в зависимости от измеренных параметров функционирования объекта. Для управления предлагаемым методом, а также для получения, анализа информации и заполнения данных в диагностиче-

скую матрицу разработан управляющий алгоритм. Предлагаемый алгоритм, представленный на рисунке 3, позволяет выполнять функциональную диагностику АЭСУ на стендах с беговыми барабанами и количественно оценивать техническое состояние их систем и агрегатов.

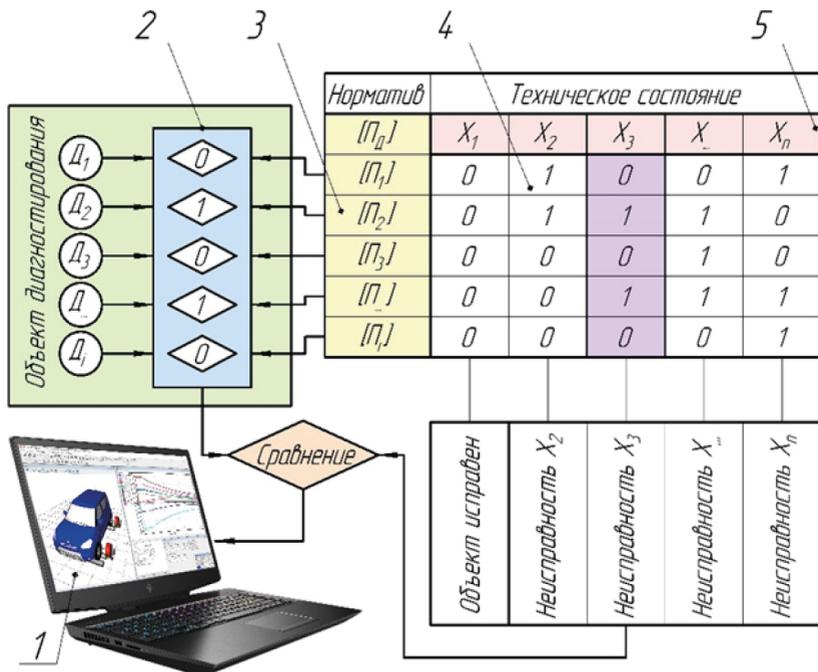


Рис. 2. Структурная схема метода постановки диагноза на основе диагностической матрицы

Согласно разработанному алгоритму, функциональное диагностирование АЭСУ начинается с подготовки диагностического стенда с беговыми барабанами, которая заключается в его запуске и прогреве измерительных систем. Затем проводится установка автомобиля на стенд, его закрепление для обеспечения безопасности при проведении испытаний и подключение к его ЭСУ системы измерения параметров её функционирования.

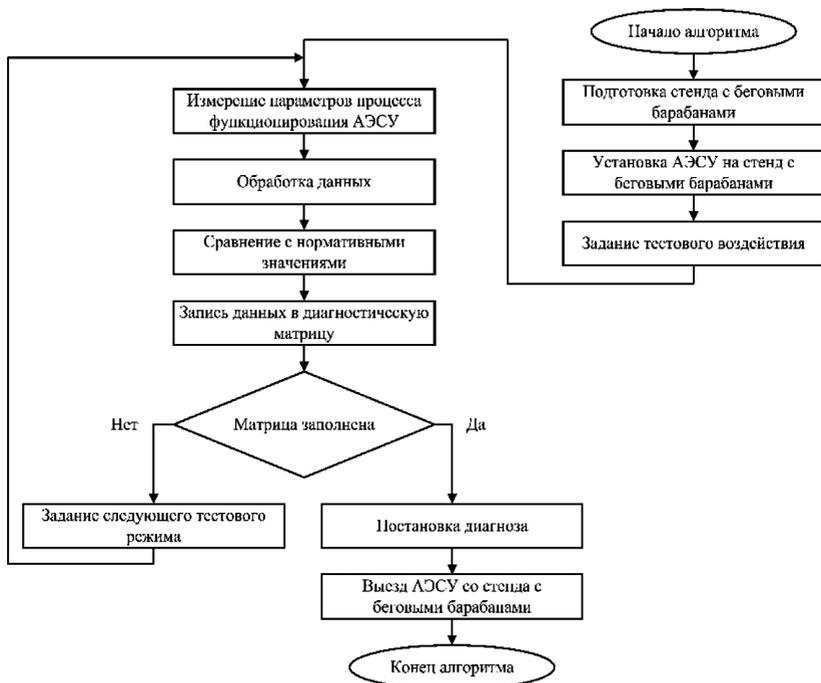


Рис. 3. Алгоритм диагностирования АЭСУ на стенде с беговыми барабанами с использованием диагностической матрицы

Далее задаётся тестовый режим имитации разгона АЭСУ по горизонтальной дороге и проводится испытание. При этом осуществляется измерение основных эксплуатационных свойств АЭСУ, в том числе параметров функционирования ЭСУ. Измеренные значения обрабатываются, сравниваются с нормативными значениями и заносятся в диагностическую матрицу. Затем задается следующий тестовый режим и проводится очередной этап испытаний. После заполнения диагностической матрицы определяется техническое состояние автомобиля, а именно его ЭСУ, и устанавливается диагноз на основании сравнения полученных данных с нормативными значениями. По завершении испытаний осуществляется выезд АЭСУ со стенда.

Закономерности, выявленные для оценки технического состояния ЭСУ автомобиля на основе измерения его функциональных параметров, параметров энергопотребления и тягово-динамических характеристик при заданных тестовых воздействиях, позволили сформировать диагностическую матрицу (рис. 4).

Разработанная диагностическая матрица обеспечивает возможность количественного контроля технического состояния АЭСУ на основе разработанного нового метода функциональной диагностики АЭСУ, их агрегатов и систем при их функционировании на стендах с беговыми барабанами.

Режим функционирования автомобиля с ЭСУ	Контролируемый параметр	Нормативные значения	Д И А Г Н О З				
			АЭСУ исправен	Неисправна ЭСУ	Неисправна трансмиссия	Неисправны вольтаже цепи	Неисправна ТВБ
Разгон по горизонтальной дороге	Сила фазных токов I_A, I_B, I_C, A	$I_A = I_B = I_C$ $275 < I_i < 300$	0	-1	1	-1	0
	Сила тока от ТВБ I_{BAT}, A	$240 < I_{BAT} < 260$	0	1	0	0	-1
	Напряжение ТВБ U_{BAT}, B	$U_{BAT} > 350$	0	0	0	0	-1
	Время разгона t_p, c	$t_p < 10,5$	0	1	1	1	0
	Сила тяги на ведущих колесах R_x, H	$3400 < R_x < 3700$	0	-1	-1	-1	0
Разгон с нагрузкой	Сила фазных токов I_A, I_B, I_C, A	$I_A = I_B = I_C$ $315 < I_i < 340$	0	-1	1	-1	0
	Сила тока от ТВБ I_{BAT}, A	$270 < I_{BAT} < 290$	0	1	0	0	-1
	Напряжение ТВБ U_{BAT}, B	$U_{BAT} > 345$	0	0	0	0	-1
	Время разгона t_p, c	$t_p < 13,8$	0	1	1	1	0
	Сила тяги на ведущих колесах R_x, H	$3900 < R_x < 4200$	0	-1	-1	-1	0
Движение с постоянной скоростью	Сила фазных токов I_A, I_B, I_C, A	$I_A = I_B = I_C$ $80 < I_i < 105$	0	-1	1	-1	0
	Сила тока от ТВБ I_{BAT}, A	$50 < I_{BAT} < 60$	0	1	0	-1	-1
	Сила тяги на ведущих колесах R_x, H	$340 < R_x < 500$	0	-1	-1	-1	0
Рекуперативное торможение	Сила фазных токов I_A, I_B, I_C, A	$I_A = I_B = I_C$ $65 < I_i < 80$	0	0	0	0	0
	Сила тока от ТВБ I_{BAT}, A	$50 < I_{BAT} < 60$	0	0	0	-1	-1
	Напряжение ТВБ U_{BAT}, B	$U_{BAT} > 350$	0	0	0	0	0
	Сила рекуперативного торможения R_x, H	$R_x > 1680$	0	-1	0	0	0
Свободный выбег	Сила, затрачиваемая на вращение трансмиссии R_x, H	$R_x < 245$	0	0	1	0	0
	Время выбега t_e, c	$t_e > 17$	0	0	-1	0	0

Рис. 4. Разработанная диагностическая матрица постановки диагноза АЭСУ при его функциональной диагностике на стенде с беговыми барабанами

Результаты

1. Установлено, что значительное повышение информативности и оперативности функциональной диагностики автомобилей с электрическими силовыми установками возможно на основе определения их тягово-динамических свойств при функционировании на стендах с беговыми барабанами в наиболее типовых режимах, характерных для условий эксплуатации.

2. Выявленные зависимости параметров, характеризующих тягово-динамические свойства автомобилей с электрическими силовыми установками, от параметров технического состояния их агрегатов и систем показывают, что:

– Снижение потокосцепления Ψ электродвигателя ЭСУ переднеприводного автомобиля категории М1 от 0,3 до 0,05 Вб, вызывает снижение силы тяги на ведущих колесах R_x на 72% в тяговом режиме, при скорости $V_a = 16$ км/ч;

– Увеличение сопротивления обмоток статора электродвигателя ЭСУ переднеприводного автомобиля категории М1 R_i на 0,5 Ом вызывает снижение мощности ЭСУ N_e в тяговом режиме при тяговой силе ведущих на колесах $R_x = 2670$ Н на 58,3%;

– Повышение диссипации $d_{тр}$ в трансмиссии переднеприводного автомобиля с ЭСУ категории М1 от 0 до 0,45 в режиме выбега с начальной скорости $V_a = 63$ км/ч вызывает увеличение силы, затрачиваемой на вращение ведущих колес, в 4.29 раза;

– Увеличение сопротивления в цепи подключения тяговой высоковольтной батареи переднеприводного автомобиля с ЭСУ категории М1 R_{BAT} от 0 Ом до 0,4 Ом приводит к снижению напряжения тяговой батареи U_{BAT} на 44% при контроле в тяговом режиме на скорости $V_a = 5$ км/ч.

Заключение

Разработанный на основе выявленных зависимостей параметров, характеризующих тягово-динамические свойства автомобилей с электрическими силовыми установками, от параметров технического состояния их агрегатов и систем, метод функциональной диагностики автомобилей с электрической силовой установкой осуществляется при помощи разработанных алгоритма и диагностической матрицы позволяет выполнять количественный контроль технического состояния АЭСУ, их силовых агрегатов и систем при функционировании АЭСУ на стендах с беговыми барабанами и реализуется на разработанном стендовом оборудо-

вании, конструкция которого защищена патентом на полезную модель № 199093 U1 «Гибридный универсальный полноопорный стенд для контроля технического состояния колесных транспортных средств» 13.08.2020 г.

Список литературы

1. Крамаренко Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 488 с.
2. Федотов, А. И. О тестовых режимах контроля тягово-динамических свойств колёсных транспортных средств с электрическим приводом на стендах с беговыми барабанами / А. И. Федотов, О. С. Яньков, А. С. Чернышков // Автомобильная промышленность. – 2022. – № 8. – С. 16-21.
3. Расчёт параметров процесса функционирования электромобиля при контроле его тягово-динамических качеств на стенде с беговыми барабанами : № 2021612484 : заявл. 03.03.2021 : опубл. 10.03.2021 / А. И. Федотов, О. С. Яньков, А. С. Чернышков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».
4. Чернышков, А. С. Математическое моделирование процесса функционирования электромобиля при контроле его тягово-динамических свойств на стенде с беговыми барабанами / А. С. Чернышков, О. С. Яньков // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов по материалам 80-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 25–26 января 2022 года / Под общей редакцией А.А. Солнцева. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – С. 89-97.
5. Чернышков, А. С. Математическая модель взаимодействия колеса с опорной поверхностью роликов диагностического стенда в среде «Универсальный Механизм» / О. С. Яньков, П. А. Киселев,

- М. И. Штерман // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации : Материалы 110-й Международной научно-технической конференции, Иркутск, 02–04 июня 2021 года. Том 2. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. – С. 119-132.
6. Яньков, О. С. Математическая модель силовой установки электромобиля / О. С. Яньков, А. С. Чернышков // Грузовик. – 2022. – № 9. – С. 15-21. – <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2022-9-15-21>
 7. Патент на полезную модель № 199093 U1 Российская Федерация, МПК G01L 5/13. Гибридный универсальный полноопорный стенд для контроля технического состояния колесных транспортных средств : № 2020111732 : заявл. 23.03.2020 : опубл. 13.08.2020 / А. И. Федотов, О. С. Яньков, А. С. Чернышков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»).
 8. Федотов, А. И. Диагностика автомобиля : учеб. для студентов вузов по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / А. И. Федотов ; Иркутский государственный технический университет. – Иркутск : Иркутский государственный технический университет, 2012. – 467 с.
 9. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб БХВ – Петербург, 2022. – 576 с.
 10. Чернышков, А. С. Повышение качества контроля тягово-динамических свойств электромобилей на стендах с беговыми барабанами / А. С. Чернышков // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов, посвященный 85-летию кафедры ЭАТиС МАДИ, по материалам 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 26–27 января 2021 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2021. – С. 196-202.

11. Яньков, О. С. Совершенствование конструкции силоизмерительного магнитострикционного датчика тормозного стенда / О. С. Яньков, А. С. Чернышков // Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация : П Всероссийская научно-практическая конференция, Чита, 30–31 октября 2018 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2018. – С. 53-59.
12. Experimental study of metrological properties of magnetostrictive sensors when changing their design parameters / O. S. Yan'kov, A. S. Chernyshev, M. V. Korniyakov, A. V. Gilev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICIAE 2019, Irkutsk, 27 мая – 01 2019 года. Vol. 632. – Irkutsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012025. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/632/1/012025>
13. Чернышков, А. С. Экспериментальное исследование метрологических характеристик магнитострикционных датчиков при изменении их конструктивных параметров / А. С. Чернышков, О. С. Яньков, Г. А. Безносков // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации : материалы 106-й Международной научно-технической конференции, Иркутск, 23–26 апреля 2019 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 514-524.
14. Патент на полезную модель № 198516 U1 Российская Федерация, МПК G01L 5/28. бесконтактный измеритель для силового тормозного роликового стенда : № 2020113148 : заявл. 26.03.2020 : опубл. 14.07.2020 / А. И. Федотов, О. С. Яньков, А. С. Чернышков [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Фритрейн».
15. О диагностике автомобильных гибридных силовых установок на стендах с беговыми барабанами / А. И. Федотов, О. С. Яньков, П. А. Киселев, Д. О. Ухватов // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 42-61. – <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-42-61>

References

1. Kramarenko G.V. Technical operation of cars: Textbook for universities - 2nd ed., revised. and additional – M.: Transport, 1983. – 488 p.
2. Fedotov, A. I. On test modes for monitoring the traction-dynamic properties of wheeled vehicles with electric drive on stands with running drums / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov // *Automotive Industry*. – 2022. – No. 8. – P. 16-21.
3. Calculation of the parameters of the process of functioning of an electric vehicle while monitoring its traction and dynamic qualities on a stand with running drums: No. 2021612484: application. 03.03.2021: publ. 03/10/2021 / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Irkutsk National Research Technical University”.
4. Chernyshkov, A. S. Mathematical modeling of the process of functioning of an electric vehicle while monitoring its traction and dynamic properties on a stand with running drums / A. S. Chernyshkov, O. S. Yankov // *Current issues of technical operation and auto service of rolling stock of road transport: Collection of scientific papers based on the materials of the 80th scientific, methodological and research conference of MADI, Moscow, January 25–26, 2022 / Under the general editorship of A.A. Solntseva*. – Moscow: Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI), 2022. – P. 89-97.
5. Chernyshkov, A. S. Mathematical model of interaction of a wheel with the supporting surface of the rollers of a diagnostic stand in the “Universal Mechanism” environment / O. S. Yankov, P. A. Kiselev, M. I. Sherman // *Safety of wheeled vehicles in conditions operation: Proceedings of the 110th International Scientific and Technical Conference, Irkutsk, June 02–04, 2021. Volume 2*. – Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2021. – P. 119-132.
6. Yankov, O. S. Mathematical model of the power plant of an electric vehicle / O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov // *Truck*. – 2022. – No. 9. – P. 15-21. – <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2022-9-15-21>

7. Utility model patent No. 199093 U1 Russian Federation, IPC G01L 5/13. Hybrid universal full-support stand for monitoring the technical condition of wheeled vehicles: No. 2020111732: application. 03/23/2020: publ. 08/13/2020 / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Irkutsk National Research Technical University” (FSBEI HE “IRNTU”).
8. Fedotov, A. I. Car diagnostics: textbook. for university students in the direction of training bachelors and masters “Operation of transport and technological machines and complexes” / A. I. Fedotov; Irkutsk State Technical University. – Irkutsk: Irkutsk State Technical University, 2012. – 467 p.
9. Tarasik V.P. Theory of car motion. – 2nd ed., revised. and additional – St. Petersburg BHV – Petersburg, 2022. – 576 p.
10. Chernyshkov, A. S. Improving the quality of control of the traction and dynamic properties of electric vehicles on stands with running drums / A. S. Chernyshkov // Problems of technical operation and auto service of rolling stock of automobile transport: Collection of scientific papers dedicated to the 85th anniversary of the Department of EATiS MADI , based on materials of the 79th scientific, methodological and research conference MADI, Moscow, January 26–27, 2021. – Moscow: Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI), 2021. – P. 196-202.
11. Yankov, O. S. Improving the design of the force-measuring magnetostrictive sensor of the brake stand / O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov // Ground transport and technological means: design, production, operation: II All-Russian scientific and practical conference, Chita, October 30–31, 2018. – Chita: Transbaikal State University, 2018. – pp. 53-59.
12. Experimental study of metrological properties of magnetostrictive sensors when changing their design parameters / O. S. Yan’kov, A. S. Chernyshkov, M. V. Korniyakov, A. V. Gilev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering , IC12AE

- 2019, Irkutsk, May 27 – 01, 2019. Vol. 632. – Irkutsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012025. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/632/1/012025>
13. Chernyshkov, A. S. Experimental study of the metrological characteristics of magnetostrictive sensors when changing their design parameters / A. S. Chernyshkov, O. S. Yankov, G. A. Beznosov // Safety of wheeled vehicles under operating conditions: materials 106- th International Scientific and Technical Conference, Irkutsk, April 23–26, 2019. – Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2019. – P. 514-524.
 14. Utility model patent No. 198516 U1 Russian Federation, IPC G01L 5/28. non-contact meter for power brake roller stand: No. 2020113148: appl. 03/26/2020: publ. 07/14/2020 / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, A. S. Chernyshkov [etc.] ; applicant Limited Liability Company “Freetrain”.
 15. On the diagnostics of automotive hybrid power plants on stands with running drums / A. I. Fedotov, O. S. Yankov, P. A. Kiselev, D. O. Ukhvatov // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Т. 13, No. 1. – P. 42-61. – <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-42-61>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Чернышков Антон Сергеевич, аспирант

Иркутский национальный исследовательский технический университет

ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация

antonchernyshkov@gmail.com

Федотов Александр Иванович, д.т.н., профессор

Иркутский национальный исследовательский технический университет

ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация

info@istu.edu

Янков Олег Сергеевич, канд. техн. наук, доцент каф. автомобильного транспорта
Иркутский национальный исследовательский технический университет
ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anton S. Chernyshkov, graduate student

Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation
antonchernyshkov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9128-0738>

Alexander I. Fedotov, Doctor of Technical Sciences, Professor

Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation
info@istu.edu

Oleg S. Yan'kov, Ph.D. in Technical Science, Associate Professor

Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation

Поступила 04.07.2023

После рецензирования 25.07.2023

Принята 02.08.2023

Received 04.07.2023

Revised 25.07.2023

Accepted 02.08.2023