

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-42-61
УДК 629.113



О ДИАГНОСТИКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК НА СТЕНДАХ С БЕГОВЫМИ БАРАБАНАМИ

*А.И. Федотов, О.С. Яньков,
П.А. Киселёв, Д.О. Ухватов*

Авторами статьи приводится подробное описание и анализ основных компоновок гибридных силовых установок (ГСУ) колесных транспортных средств (КТС), описан принцип их работы и приведены основные диагностических параметров. Представлен анализ функционирования ГСУ в различных режимах движения КТС. Рассмотрены методы диагностики на силовых и инерционных стендах с беговыми барабанами.

Цель – рассмотреть методы диагностики КТС с ГСУ на силовых и инерционных стендах с беговыми барабанами.

Методы проведения работы – в статье использовались статистические методы анализа.

Результаты – доказано, что для обеспечения высокоинформативных и стабильных тестовых режимов функционирования КТС с ГСУ в процессе их диагностики необходимо использовать гибридные стенды.

Область применения результатов – полученные результаты целесообразно применять при диагностике КТС с ГСУ на стендах с беговыми барабанами.

Ключевые слова: автомобиль; гибридная силовая установка; двигатель внутреннего сгорания; электродвигатель; мощностные характеристики; крутящий момент; компоновка ГСУ; последовательная схема; параллельная схема; последовательно-параллельная схема; силовой стенд; инерционный стенд

Для цитирования. Федотов А.И., Янков О.С., Киселёв П.А., Ухватов Д.О. О диагностике автомобильных гибридных силовых установок на стендах с беговыми барабанами // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 1. С. 42-61. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-42-61

ABOUT DIAGNOSTICS OF AUTOMOTIVE HYBRID POWER PLANTS ON STANDS WITH RUNNING DRUMS

**A.I. Fedotov, O.S. Yankov,
P.A. Kiselev, D.O. Ukhvatov**

The authors of the article provide a detailed description and analysis of the basic layouts of hybrid power plants (GSU) of wheeled vehicles (CTS), describe the principle of their operation and provide the main diagnostic parameters. The analysis of the functioning of the GSU in various modes of movement of the CTS is presented. Diagnostic methods on power and inertial stands with running drums are considered.

*The **purpose** is to consider methods of diagnostics of CTS with GSU on power and inertial stands with running drums.*

*The **method of the work** – the article used statistical methods of analysis.*

***Results** – it is proved that in order to ensure highly informative and stable test modes of functioning of the CTS with GSU in the process of their diagnosis, it is necessary to use hybrid stands.*

***Scope of application of the results** – it is advisable to apply the results obtained in the diagnosis of CTS with GSU on stands with running drums.*

***Keywords:** car; hybrid power plant; internal combustion engine; electric motor; power characteristics; torque; GSU layout; serial circuit; parallel circuit; series-parallel circuit; power stand; inertia stand*

***For citation.** Fedotov A.I., Yankov O.S., Kiselev P.A., Ukhvatov D.O. About Diagnostics of Automotive Hybrid Power Plants on*

Stands with Running Drums // International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 42-61. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-42-61

Введение

С развитием экономики в мире и снижением вредных выбросов в окружающую среду все более высокие требования предъявляются к автомобильному транспорту (АТ). В связи с этим автопроизводители разрабатывают все более экологичные автомобили (гибридные и электрические). Усложняется конструкция, при этом растут тяговые и динамические свойства КТС, повышается топливная экономичность.

В настоящее время на дорогах общего пользования активно эксплуатируются КТС с гибридными силовыми установками и электромобили. В первой половине 2021 года в России было зарегистрировано почти 12500 гибридных и электрических автомобилей., и их количество с каждым годом увеличивается, практически в двое. По прогнозам к 2030 году в России будет не менее 1,5 млн. гибридных и электрических автомобилей.

Технологический прогресс развития конструкции КТС, к сожалению, не сопровождается столь же бурным развитием методов диагностики в условиях эксплуатации. А ведь от этого зависит время простоя автомобиля в ремонте. То есть временными и трудовыми потерями на поиск неисправностей и их причин. Причем, чем сложнее конструкция современного автомобиля, тем больше эти временные и трудовые потери. Очевидно, что поддержание технического состояния современных КТС с гибридными силовыми установками в условиях эксплуатации немислимо без эффективных методов их диагностики и контроля.

Термин «*гибрид*» основан от латинского слова «*hybrida*», и означает нечто скрещенное, или смешанное. В автомобильной технике гибридом называют систему, в которой комбинируются друг с другом две разных технологии. Данное решение реализовано

путем использования двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с электродвигателем. Это позволяет снизить выбросы отработавших газов и повысить экономичность колесного транспортного средства (КТС). Совместное использование ДВС и электродвигателя позволило реализовать режим рекуперации, благодаря которому можно преобразовать часть кинетической энергии (при торможении и движении накатом) в электрическую энергию, используемую для подзарядки тяговой батареи КТС.

Теоретические предпосылки

Электродвигатель является неотъемлемой частью ГСУ, поскольку он выполняет роль стартера и генератора, а также является тяговым двигателем, который передает крутящий момент через трансмиссию на ведущие колеса КТС, таким образом дополняя (или заменяя) ДВС. Также ГСУ позволяет ДВС функционировать в более оптимальных режимах, то есть в режимах повышенных оборотов (на порядок выше частоты вращения холостого хода). Для более подробного объяснения обратимся к графику, представленному на рисунке 1.

Электродвигатель-генератор выдает крутящий момент в начале движения КТС, и у него отсутствует холостой ход. Он может отдавать максимальный крутящий момент при старте КТС. На протяжении некоторого времени крутящий момент остается неизменным, но при достижении определенной частоты вращения ротора, он уменьшается. Поэтому, при достижении рабочих оборотов происходит подключение ДВС, который помогает повысить динамические характеристики КТС.

Также возможна работа электродвигателя-генератора совместно с ДВС, например, при разгоне в гору, когда мощности ДВС недостаточно, или, когда требуется совершить резкий разгон КТС (в момент старта с места или опережения впереди движущегося автомобиля). Полученный результат работы ДВС и электродвигателя-генератора можно увидеть на рисунке 1.

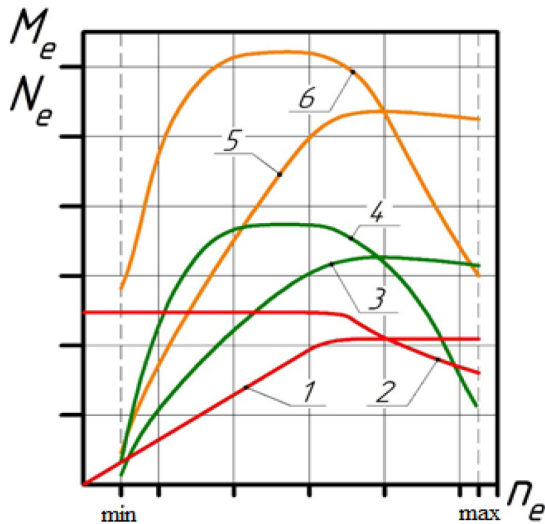


Рис. 1. Внешняя скоростная характеристика гибридного привода
 1 – мощность электродвигателя $N_{эд1}$; 2 – крутящий момент электродвигателя $M_{эд1}$; 3 – мощность ДВС $N_{двс}$; 4 – крутящий момент ДВС $M_{двс}$; 5 – суммарная мощность ГСУ N_g ; 6 – суммарный крутящий момент ГСУ M_g ; min – минимальная частота вращения коленчатого вала ДВС; max – максимальная частота вращения коленчатого вала ДВС.

Существует множество компоновок ГСУ и все они подразделяются на ГСУ, выполненные по последовательной схеме; ГСУ, выполненные по раздельно-последовательной схеме; ГСУ с параллельной схемой; а также ГСУ, выполненные по последовательно-параллельной схеме. Рассмотрим каждую из них.

ГСУ, выполненные по последовательной схеме. В этой компоновке электродвигатель 1 (ЭД-1) работает в режиме стартера, когда необходимо запустить ДВС. После запуска он переходит в режим генератора для зарядки тяговой батареи. Электродвигатель 2 (ЭД-2) в данной компоновке ГСУ выполняет функцию тягового электродвигателя, то есть передает крутящий момент на ведущие колеса КТС. В режиме рекуперации ЭД-2 так же заряжает тяговую батарею.

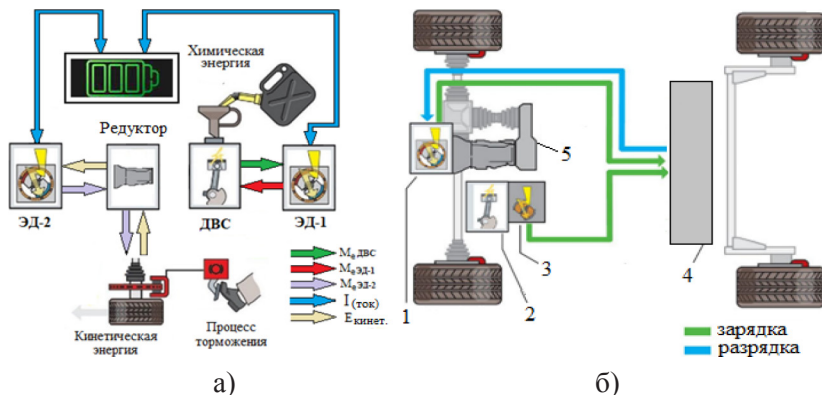


Рис. 2. Схемы последовательной гибридной установки:

а – принципиальная схема ГСУ; б – схема компоновки ГСУ в автомобиле: 1 – ЭД-2; 2 – ДВС; 3 – ЭД-1; 4 – тяговая батарея; 5 – трансмиссия КТС.

Достоинством данной схемы является то, что ДВС работает только в тот момент, когда необходимо произвести подзарядку тяговой батареи для обеспечения движения на электротяге (ЭД-2). Благодаря такому решению, ДВС работает в режиме минимальной нагрузки, что способствует экономии топлива. Такое взаимодействие компонентов упрощает способ управления ГСУ, а также установка становится более компактной, что позволяет установить ГСУ в большинство автомобилей и сохранить подкапотное пространство.

ГСУ, выполненные по раздельно-последовательной схеме. Данная компоновка состоит из следующих элементов: ДВС, ЭД-1 и ЭД-2. ДВС, ЭД-1 расположены под капотом автомобиля, а ЭД-2 установлен на задней оси КТС. Принцип работы ГСУ схож с описанной последовательной схемой (см. рисунок 3).

Отличительной особенностью является то, что такая концепция используется для полноприводных автомобилей, так как на колеса задней оси подводится момент с помощью ЭД-2. В связи с таким конструктивным исполнением высоковольтная батарея располагается между осями автомобиля. При торможении или движении накатом ЭД-1 и ЭД-2 переходят в режим рекуперации,

что в свою очередь позволяет заряжать тяговую батарея. Недостатками последовательной схемы является слишком малый КПД системы превращения энергии от ДВС до ведущих колес из-за двукратного превращения одного вида энергии в другую: механической в электрическую.

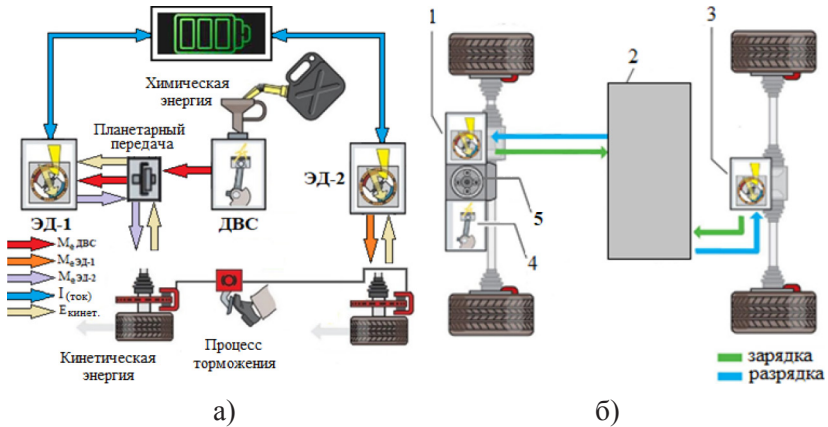


Рис. 3. Раздельный последовательный ГСУ:

а – принципиальная схема ГСУ б – схема компоновки ГСУ в автомобиле: 1 – ЭД-1; 2 – тяговая батарея; 3 – ЭД-2; 4 – ДВС; 5 – планетарная передача.

ГСУ, выполненные по параллельной схеме. Основным отличием ГСУ, выполненных по параллельной схеме от схемы последовательной, является то, что ДВС и ЭД в тяговом режиме передают крутящий момент на ведущие колеса КТС совместно. Такое решение позволяет добиться более высоких динамических характеристик и также повысить экономичность автомобиля. Для более подробного объяснения работы параллельной ГСУ рассмотрим рис. 4.

Такое исполнение ГСУ используется в том случае, когда необходимо создать гибрид, используя КТС с ДВС. Обычно в данной компоновке используется один электродвигатель, который располагается на одной оси с ДВС. Данное решение позволяет реализовать суммарную мощность, передаваемую на ведущие колеса

КТС. В случае работы ДВС в режиме холостого хода, режиме вы бега или торможения, электродвигатель выполняет функцию генератора (режим рекуперации) для подзарядки тяговой батареи. Эта концепция обеспечивает высокую степень заимствования узлов и деталей КТС с ДВС. Недостатком такой установки является усложнение трансмиссии для обеспечения отбора мощности от электродвигателя, и системы управления силовой установкой.

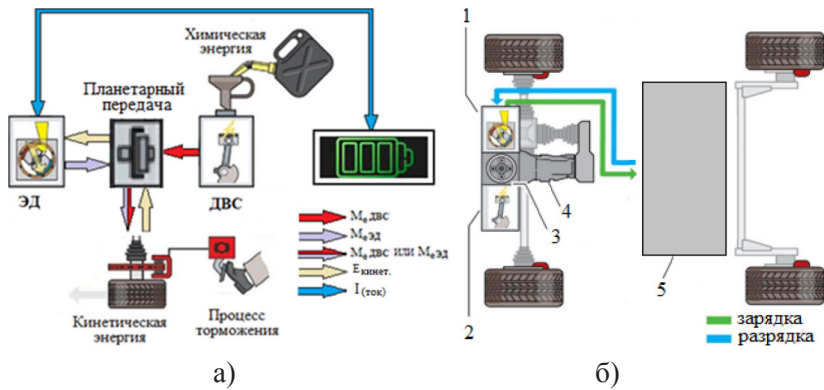


Рис. 4. Параллельная схема ГСУ:

а – принципиальная схема ГСУ б – схема компоновки ГСУ в автомобиле: 1 – ЭД-1; 2 – ДВС; 3 – планетарная передача; 4 – трансмиссия КТС; 5 – тяговая батарея.

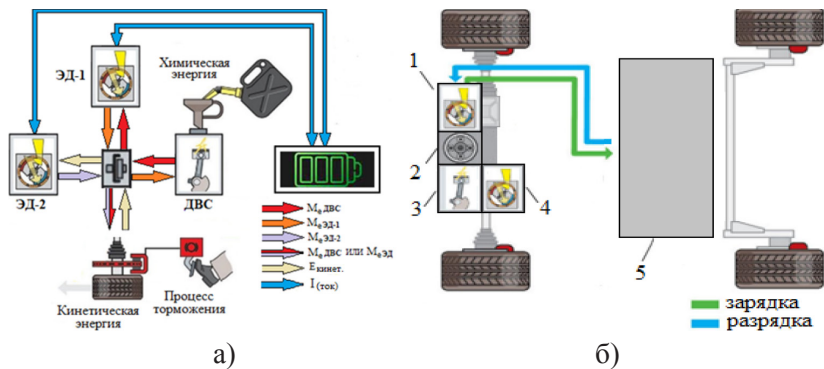


Рис. 5. Последовательно-параллельная схема ГСУ.

а – принципиальная схема ГСУ б – схема компоновки ГСУ в автомобиле: 1 – ЭД-2; 2 – планетарная передача; 3 – ДВС; 4 – ЭД-1; 5 – тяговая батарея.

ГСУ, выполненные по последовательно-параллельной схеме. Такая конструктивная силовая установка совместила все положительные качества последовательной и параллельной схемы ГСУ (рис. 5). Основными элементами такой компоновки является ДВС, и два электрических двигателя ЭД-1 и ЭД-2.

В приведенной ГСУ важную роль играет планетарный механизм, который регулирует направления потоков мощности между ДВС, ЭД-1 и ЭД-2. Колеса через трансмиссию жестко связаны с синхронным ЭД-2 переменного тока и одновременно с внешней шестерней планетарной передачи. Водило в шестернями-сателлитами напрямую соединено с коленчатым валом ДВС, а солнечная шестерня – с отдельным ЭД-1. В зависимости от режима движения КТС, с такой ГСУ, каждое звено планетарного механизма можно сделать неподвижным, по команде электронного блока управления (ЭБУ). На сегодняшний день у автопроизводителя Toyota наиболее популярный моделью автомобиля с такой ГСУ является Toyota Prius.

Большинство гибридных автомобилей работают по определенным алгоритмам, запрограммированным в блоке управления КТС. Эти алгоритмы реализуют такие процессы движения КТС как:

- 1) *начало движения* – движение со скоростью не больше 16 км/ч. Данное движение осуществляется за счет электродвигателя, питание подводится от силовой тяговой батареи;
- 2) *движение в установившемся режиме* – планетарный механизм один поток мощности направляет через редуктор к ведущим колёсам, а второй – к генератору, который вырабатывает энергию для электромотора, передающего через редуктор свою часть крутящего момента к ведущим колёсам, аккумулятор в этом случае бездействует;
- 3) *разгон с максимальной интенсивностью* – алгоритм работает такой же, как во втором режиме, только теперь в действие вступает аккумулятор, отдающий дополнительную энергию электромотору, доля которого в общем крутящем моменте заметно возрастает, она постоянно регулируется

- компьютером для достижения максимальной отдачи;
- 4) *замедление* – накопленная кинетическая энергия автомобиля преобразуется из механической в электрическую. Полученная электроэнергия передается на тяговую батарею, такой режим называется рекуперацией.
 - 5) *зарядка батареи* – этот режим осуществляется при неподвижном автомобиле.

Материалы и методы

Для диагностики технического состояния автомобилей с гибридной силовой установкой в условиях эксплуатации наиболее удобными и результативными являются стендовые методы. Они позволяют определять эффективность функционирования силовых установок, агрегатов и систем автомобилей на постах диагностики и станций технического обслуживания (СТО). Стенды с беговыми барабанами являются инструментом, который позволяет диагностировать автомобиль, имитируя движения по дороге. При этом автомобиль защищен от внешних климатических условий. Современные диагностические стенды позволяют контролировать тягово-динамические качества КТС, имитируя разгон их ведущих колес с измерением кинематических и временных параметров (*динамический метод*), либо имитируя движение под нагрузкой при постоянной скорости вращения ведущих колес с измерением силовых и мощностных параметров (*силовой метод*). Динамический метод технического состояния КТС выполняют на *инерционных стендах*, а силовой метод – на *силовых стендах* с беговыми барабанами [5].

Наиболее корректные и информативные с диагностической точки зрения параметры дают силовые стенды. Они позволяют измерять силовые параметры: *силу тяги, мощность на колёсах, силу и мощность, затрачиваемые на прокручивание трансмиссии* [5].

Современные силовые стенды состоят из блоков с опорными роликами 1 и поддерживающими роликами 4. Опорные ро-

лики 1 соединены между собой муфтами, а также с нагружающим устройством (электродвигателем, электрическим тормозом или гидродинамическим тормозом). Скорость колес автомобиля отслеживается с помощью датчиков частоты вращения, установленных на роликах следящей системы 2. Сила, с которой электродинамический тормоз 6 стремится нагрузить трансмиссию автомобиля определяется при помощи датчика 5 [3].

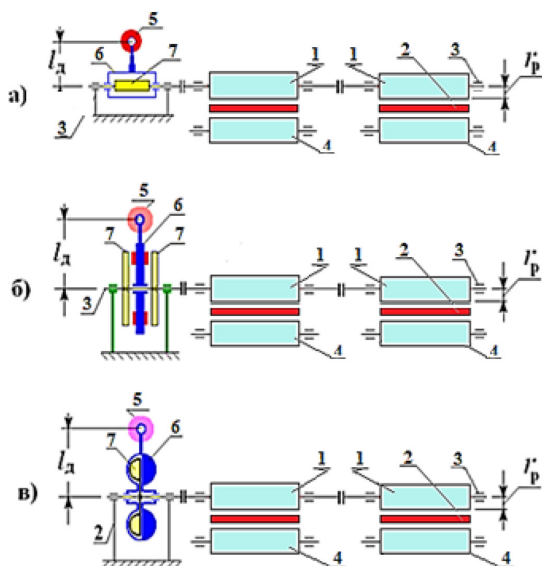


Рис. 9. Кинематические схемы силовых стендов тяговых качеств [3]:

а) – с балансирным электродвигателем; б) – с балансирным электрическим тормозом; в) – с балансирным гидродинамическим тормозом; 1 – опорные ролики стенда; 2 – ролик следящей системы; 3 – подшипниковые опоры; 4 – поддерживающие ролики; 5 – тензометрические датчики; 6 – статор нагрузочного устройства; 7 – ротор нагрузочного устройства; $l_{\text{д}}$ – плечо действия реакции $R_{\text{о}}$, удерживающей статор нагрузочного устройства от вращения; r_p – радиус опорного ролика стенда

Одним из недостатков силовых стендов является то, что при контроле на них автомобилей с ГСУ есть возможность имитировать только *установившиеся режимы* их функционирования. На-

пример, движение автомобиля с постоянной скоростью на ровной горизонтальной дороге или движение в гору. Параметры КТС с ГСУ, измеренные в установившихся режимах, могут характеризовать картину функционирования гибридного КТС, лишь частично. В реальности же движение автомобилей часто сопровождается режимами их разгона и выбега [5]

Прямой функциональной противоположностью силовых стендов являются стенды инерционные (рис. 10), реализующие динамические методы диагностики КТС. В отличие от силовых стендов они позволяют имитировать *неустановившиеся режимы* функционирования КТС, такие как режимы разгона и выбега. При этом инерционные стенды позволяют измерять *временные параметры КТС (время разгона, время выбега)*, а также их *кинематические параметры (путь разгона, путь выбега)* [5].

Главным нагружающим элементом инерционных стендов, задающим неустановившиеся режимы функционирования КТС, является маховик 5, момент инерции которого соответствует инерционным характеристикам автомобиля. Инерционные тяговые стенды, имеют блоки опорных роликов, которые кинематически соединены между собой муфтами и связаны с маховиком 5. Контроль угловой скорости колес КТС осуществляется роликами следящей системы 3, на которые установлены датчики частоты вращения. Некоторые инерционные стенды оснащены электродвигателем 6, который способен без помощи силовой установки КТС разогнать их колеса до необходимой скорости [3].

Анализ функциональных возможностей представленных стендов показывает, что для эффективного диагностирования технического состояния КТС с ГСУ необходимо, чтобы стенды обеспечивали им такие режимы как: режим разгона; режим движения под нагрузкой; режим выбега. При том системы измерения стендов должны обеспечивать измерение силы тяги на колесах КТС. Очевидно, что реализацию этих режимов функционирования КТС с ГСУ в процессе их диагностики на одном стенде не позволяет

обеспечить ни одна из вышеперечисленных конструкций стенов с беговыми барабанами.

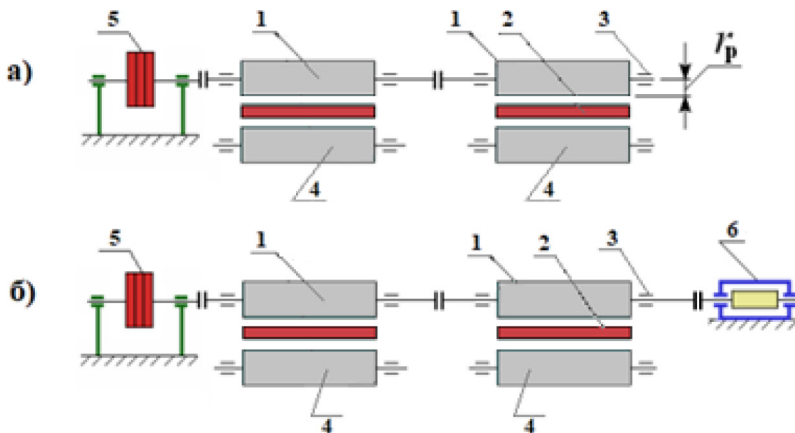


Рис. 10. Кинематические схемы инерционных стенов тяговых качеств [3]: а) – с одним маховиком; б) – с одним маховиком и обычным электродвигателем; 1 – опорные ролики стенов; 2 – ролик следящей системы; 3 – подшипниковые опоры; 4 – поддерживающие ролики; 5 – маховик; 6 – электродвигатель; r_p – радиус опорного ролика.

В настоящее время диагностика КТС с ГСУ в условиях эксплуатации очень актуальна и требует разработки новых конструкций гибридных стенов, обеспечивающих имитацию типовых режимов их функционирования. Для того чтобы обеспечить эффективную диагностику КТС с ГСУ в условиях эксплуатации с помощью одного стенов с беговыми барабанами необходимо разработать такую его конструкцию, которая совмещала бы в себе все преимущества инерционных стенов (*имитация режимов «разгон-выбег»*) с измерением сил на колесах, а также лучшие качества силовых стенов (*имитация «установившихся режимов движения под нагрузкой»*).

Необходимо разработать методики диагностики на таком стенов гибридных силовых установок КТС, с измерением параметров ДВС и электродвигателей, (*мощность, момент, силы тока, напряжения*), а также с измерением сил на ведущих колеса КТС,

и параметры, характеризующие эффективность работы тяговой аккумуляторной батареи (*напряжение, сила тока, емкость*).

Результаты и обсуждения

Для создания методик эффективной диагностики КТС с ГСУ в условиях эксплуатации, актуальным вопросом является разработка гибридных стендов, сочетающих в себе все преимущества инерционных стендов, позволяющих осуществлять *имитацию режимов «разгон-выбег»* с измерением сил на колесах, а также лучшие качества силовых стендов позволяющих осуществлять *имитацию установившихся режимов движения КТС под нагрузкой*.

Методы эффективной диагностики КТС с ГСУ должны обеспечивать:

- измерение мощностных и силовых параметров ДВС и электродвигателей, (*мощность, момент, силы тока, напряжение*), КТС с ГСУ;
- измерение сил на ведущих колесах КТС, и параметры, характеризующие эффективность работы тяговой аккумуляторной батареи (*напряжение, сила тока, емкость*);
- измерение силовых потерь в трансмиссии,
- учитывать скоростные и силовые потери мощности в шинах КТС;
- имитировать тестовые режимы *«разгон-выбег»* с измерением сил на колесах, а также *установившиеся режимы движения КТС под нагрузкой* для каждого типа КТС с ГСУ;
- обеспечивать измерение диагностических параметров, как силовых, так и кинематических, и устанавливать их нормативные значения;

Заключение

В настоящее время с каждым днем увеличивается спрос потребителей на гибридные автомобили и электромобили. Это связано с тем, что с одной стороны повышаются требования к их

топливной экономичности и к выбросам в окружающую среду, а с другой стороны техническое состояние КТС с ГСУ в условиях эксплуатации снижается. Поэтому повышение технического состояния КТС с ГСУ на основе контроля их тягово-динамических качеств на стендах с беговыми барабанами является весьма актуальной проблемой, решение которой позволит значительно повысить экологическую безопасность КТС с ГСУ в условиях эксплуатации. Решение этой задачи позволит значительно сократить временные и трудовые потери на поиск неисправностей, и сократить затраты на эксплуатацию КТС с ГСУ.

Список литературы

1. Бахмутов, С. В. Расширение функциональных возможностей – необходимый шаг в развитии конструкции гибридных автомобилей / С. В. Бахмутов, А. В. Круташов, О. В. Маликов // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – № 6(77). – С. 43-46.
2. Гришкевич А.И., Вавуло В.А., Карпов А.В. и др. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Трансмиссия/Учеб. пособие для спец Автомобили и тракторы. – М.: Высш. Шк., 1985.- 240 с.: ил.
3. Гусаков С.В., Абдель Муним Музхер Хашем. Перспективы развития силовых установок гибридных автомобилей – Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2004. № 1. С. 38-42.
4. Контроль систем безопасности колесных транспортных средств на стендах с беговыми барабанами / Федотов А.И., Яньков О.С., Потапов А.С., Портнягин Е.М // Монография / под общей редакцией д.т.н., проф. Федотова А.И. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2021. - 374 с. Ил. 231. Табл. 40, Библиогр.: 51 назв.
5. Куликов, И. А. Моделирование гибридного электромобиля параллельного типа / И. А. Куликов, В. В. Селифонов // Труды НАМИ. – 2009. – № 242. – С. 67-84.
6. Ломакин, В. В. Критерии выбора основных параметров силовой установки гибридных автомобилей при проектировании / В. В.

- Ломакин, А. А. Шабанов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2016. – № 2(113). – С. 151-157. – EDN WBCIZV.
7. Милушенко С.А., Лосев К.М., Бралинов С.М., Данилина А.Е. перспективы развития гибридных силовых установок на автомобильном транспорте/ Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. 2019. С. 25-29.
 8. Олещицкий С.В., Мальнева Ю.А. схемы гибридных силовых установок/ В сборнике: Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ - 2019). сборник статей XI Международной научно-технической конференции. 2019. С. 235-238.
 9. Раков, В. А. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей – Санкт-Петербург, 2012 г.
 10. Тарасик, В. П. Теория движения автомобиля / В. П. Тарасик. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2022. – 576 с. – (Учебная литература для вузов). – ISBN 978-5-9775-6817-3;
 11. Федоткин, И.В. Метод диагностирования гидромеханических передач автомобилей на инерционных стендах с беговыми барабанами: дисс. ... канд. техн. наук.: 05.22.10 / Иркутск. ИРНИТУ, 2010. – 170 с.
 12. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» Иркутск. ИрГТУ, 2012.
 13. Федотов, А.И. Контроль тяги и диагностика электрических и беспилотных транспортных средств на роликовых стендах / А. Федотов, О. Янков, А. Чернышков // Веб-конференции E3S: ключевые тенденции транспортных инноваций, КТТИ 2019, Хабаровск, 24-26 июня 2019 года. – Хабаровск: EDP Sciences, 2020. – С. 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/202015701021.
 14. Филькин Н.М. Оптимизация параметров конструкции энергосиловой установки транспортной машины: дис. д-ра техн. наук. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2001. - 430 с. EDN:QDMRHJ.

15. Янъков О.С., Чернышков А.С., Корняков М.В., Гилев А.В. // Экспериментальное исследование метрологических свойств магнитострикционных датчиков при изменении их конструктивных параметров / Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия: Международная конференция по инновациям в автомобильной и аэрокосмической технике 2019, IC12AE 2019, Иркутск, 27 мая - 01 2019 года. Том 632. – Иркутск: Издательство Института физики РАН, 2019. – С. 012025. – DOI 10.1088/1757-899X/632/1/012025. – ЭДН ЭВПУЭЛ.

References

1. Bakhmutov, S. V. Expansion of functionality – a necessary step in the development of the design of hybrid cars / S. V. Bakhmutov, A.V. Krutashov, O. V. Malikov // Journal of Automotive Engineers. – 2012. – № 6(77). – Pp. 43-46.
2. Grishkevich A.I., Vavulo V.A., Karpov A.V. et al. Cars: Construction, construction and calculation. Transmission/Textbook for special Cars and tractors. – М.: Higher School, 1985.- 240 p.: ill.
3. Gusakov S.V., Abdel Munim Muzher Hashem. Prospects for the development of hybrid car power plants – Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research. 2004. No. 1. pp. 38-42.
4. Control of safety systems of wheeled vehicles on stands with running drums / Fedotov A.I., Yankov O.S., Potapov A.S., Portnyagin E.M. // Monograph / under the general editorship of Doctor of Technical Sciences, prof. Fedotova A.I. – Irkutsk: IRNTU Publishing House, 2021. – 374 p. Il. 231. Table 40, Bibliogr.: 51 titles.
5. Kulikov, I. A. Modeling of a hybrid electric vehicle of parallel type / I. A. Kulikov, V. V. Selifonov // Proceedings of NAMI. – 2009. – No. 242. – pp. 67-84.
6. Lomakin, V. V. Criteria for selecting the main parameters of the power plant of hybrid cars in the design / V. V. Lomakin, A. A. Shabanov // Proceedings of the NSTU named after R.E. Alekseev. – 2016. – № 2(113). – Pp. 151-157. – EDN WBCIZV.

7. Milyushenko S.A., Losev K.M., Bralinov S.M., Danilina A.E. prospects for the development of hybrid power plants in road transport/ Architectural, construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations. Collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference. 2019. pp. 25-29.
8. Oleshitsky S.V., Malyneva Yu.A. schemes of hybrid power plants/ In the collection: Modern automotive materials and technologies (SAMIT - 2019). collection of articles of the XI International Scientific and Technical Conference. 2019. pp. 235-238.
9. Rakov, V. A. Methodology for assessing the technical condition of hybrid power plants of cars – St. Petersburg, 2012
10. Tarasik, V. P. Theory of car movement / V. P. Tarasik. – 2nd edition, revised and supplemented. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2022. - 576 p. – (Educational literature for universities). – ISBN 978-5-9775-6817-3;
11. Fedotkin, I.V. Method of diagnosing hydromechanical transmissions of cars on inertial stands with running drums: diss. ... Candidate of Technical Sciences.: 05.22.10 / Irkutsk. IRNITU, 2010. – 170 p.
12. Fedotov A.I. Car diagnostics: textbook for university students studying in the bachelor's and master's degree program "Operation of transport and technological machines and complexes" Irkutsk. IrSTU, 2012.
13. Fedotov, A.I. Traction control and diagnostics of electric and unmanned vehicles on roller stands / A. Fedotov, O. Yankov, A. Chernyshkov // E3S Web Conferences: Key Trends in Transport innovations, KTTI 2019, Khabarovsk, June 24-26, 2019. – Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. – p. 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/202015701021.
14. Filkin N.M. Optimization of design parameters of the power plant of the transport machine: dis. Doctor of Technical Sciences. – Izhevsk: Publishing House of IzhSTU, 2001. - 430 p. EDN: QDMRHJ.
15. Yankov O.S., Chernyshkov A.S., Korniyakov M.V., Gilev A.V. // Experimental study of metrological properties of magnetostrictive sensors when changing their design parameters / IOP Conference series: Materials Science and Engineering: International Conference on Innova-

tions in Automotive and Aerospace Engineering 2019, ICI2AE 2019, Irkutsk, May 27 - 01 2019 years. Volume 632. – Irkutsk: Publishing House of the Institute of Physics of the Russian Academy of Sciences, 2019. – p. 012025. – DOI 10.1088/1757-899X/632/1/012025 - EDN EVPUEL.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Федотов Александр Иванович, д.т.н, профессор

Иркутский национальный исследовательский технический университет

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

Янков Олег Сергеевич, канд. техн. наук, доцент каф. автомобильного транспорта

Иркутский национальный исследовательский технический университет

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

Киселёв Павел Алексеевич, аспирант

Иркутский национальный исследовательский технический университет

ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация
pavel.kiselev.97.97@mail.ru

Ухватов Дмитрий Олегович, магистрант

Иркутский национальный исследовательский технический университет

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

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander I. Fedotov, Doctor of Technical Sciences, Professor

Irkutsk National Research Technical University

83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation

Oleg S. Yankov, Ph.D. (Technical Sciences), Associate Professor
Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation

Pavel A. Kiselev, postgraduate student
Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation
pavel.kiselev.97.97@mail.ru

Dmitry O. Uhvatov, undergraduate
Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation

Поступила 20.12.2022

После рецензирования 25.01.2023

Принята 22.02.2023

Received 20.12.2022

Revised 25.01.2023

Accepted 22.02.2023