

УДК 629.113.004

И.А. Мармут*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет***К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

Для воспроизведения ездовых циклов при испытаниях автомобилей, особенно гибридных и электромобилей необходимы универсальные или мощностные стенды, которые имитируют реальные силовые и скоростные режимы работы автомобиля. Для снижения металлоёмкости и стоимости такого оборудования нужно подобрать оптимальный тип нагрузочно-приводного устройства. Альтернативой электрическим машинам могут быть гидравлические насос-моторы.

Ключевые слова: Ездовой цикл, мощностной роликовый стенд, расход топлива, токсичность, нагрузочно-приводное устройство.

I.A. Marmut*Харківський національний автомобільно-дорожній університет***ДО ПИТАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ**

Для відтворення їздових циклів при випробуваннях автомобілів, особливо гібридних та електромобілів необхідні універсальні або динамометричні стенди, які імітують реальні силові і швидкісні режими роботи автомобіля. Для зниження металоємності і вартості такого обладнання потрібно підібрати оптимальний тип навантажувально-приводного пристрою. Альтернативою електричним машинам можуть бути гідравлічні насос-мотори.

Ключові слова: Їздовий цикл, динамометричний роликовий стенд, витрата палива, токсичність, навантажувально-приводний пристрій.

I. Marmut*Kharkov National Automobile and Highway University***TO THE QUESTION OF THE SELECTION OF EQUIPMENT FOR THE DIAGNOSIS OF HYBRID CARS AND ELECTRIC CARS**

Recently, the number of hybrid cars and electric vehicles has increased significantly. New design solutions for power plants require the development and improvement of equipment for diagnosing the above-mentioned vehicles. If you have the appropriate equipment, you can determine the main indicators of the car in real time. To measure fuel consumption, exhaust emissions of conventional and hybrid cars, as well as measurements of electric power consumption and power reserve in electric vehicles, driving cycles are used. Reproduction of the above modes is possible on the power roller stands. The aim of the research is to improve the method of selecting the main element of the power stand – the load-driving device according to the criterion of reducing the metal intensity and overall dimensions of the equipment. An alternative to electric machines can be hydraulic pump-motors, which are used as elements of the hydraulic drive in the machine tool industry.

Keywords: Driving cycle, power roller stand, fuel consumption, toxicity, load-drive device.

Введение. В последнее время количество гибридных автомобилей и электромобилей значительно возросло. Новые конструктивные решения силовых установок автомобилей требуют разработки и совершенствования оборудования для диагностирования вышеупомянутых транспортных средств.

Анализ последних публикаций и достижений. Как известно, у гибридного автомобиля в качестве первичного источника энергии используется двигатель внутреннего сгорания (ДВС), а вторичным является электрический накопитель энергии, связанный с электромеханической системой привода ведущих колес. Основные схемы силовых установок гибридных автомобилей рассмотрены в монографии [1]. У электромобиля ДВС вообще отсутствует и основным источником энергии является тяговая батарея. Диагностирование традиционных систем и узлов (тормозная система, ходовая часть, рулевое управление и т.д.) таких автомобилей осуществляется такими же стендами и методами, как и у обычных автомобилей. Отличительной особенностью является электрическая составляющая силовой установки (батареи, инверторы, коммуникации, блоки управления и т.д.). Диагностирование электрической части гибридных автомобилей и электромобилей заключается прежде всего в оценке состояния аккумуляторной батареи [2].

При наличии соответствующего оборудования можно в режиме реального времени определять основные показатели работы автомобиля, а именно [3]:

- мощность силовой установки;
- заряд аккумуляторной батареи,

- пройденную дистанцию;
- время работы и остановки двигателей;
- положение педали акселератора и тормоза;
- средний и мгновенный расход топлива;
- среднюю эмиссию CO₂.

Для измерения расхода топлива, токсичности отработавших газов обычных и гибридных автомобилей, а также замеры расхода электроэнергии и запаса хода у электромобилей используются ездовые циклы [4-7].

1. *Европейский ездовой цикл NEDC (New European Driving Cycle)* [6]. Этот измерительный цикл начал использоваться с 1-го января 2000 года. Он описывает движение в городе и на трассе. В целом цикл NEDC рассчитан на прохождение дистанции в 11 км за время около 20 минут. Средняя скорость измерительного цикла составляет 33,6 км/ч; на протяжении всего цикла выполняется 12 остановок и разгонов.

2. *Японский измерительный цикл JC08* [6]. С начала 2011 года измерительный цикл JC08 стал единственным для Японии. Этот цикл длится 1205 секунд, за данное время автомобиль проезжает 8,17 км. Средняя скорость во время измерительного цикла JC08 составляет 24,4 км/ч; максимальная скорость достигает 81,6 км/ч.

3. *Американский измерительный цикл EPA FTP-75 (Federal Test Procedure 75)* [6]. Этот измерительный цикл ещё имеет название EPA: от названия организации EPA (Environmental Protection Agency), которая его создала. Этот цикл подразумевает общее время тестирования 31 минуту и дистанцию пробега 17,8 км, за это время автомобиль делает 22 остановки с последующим разгоном. Однако время простоя здесь наименьшее – около 20% от общей длительности измерительного цикла. Максимальная скорость достигает 91,2 км/ч; средняя скорость во время цикла EPA достигает почти 35 км/ч. Также предусмотрен отдельный цикл замера расхода топлива при движении по трассе, где средняя скорость составляет почти 78 км/ч.

4. *Мировой цикл WLTC (Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle)* [6]. Введен с 2017 года и фактически является заменой вышеперечисленных циклов. Цикл WLTC достаточно обширный: его продолжительность составляет 30 минут; тестовая дистанция превышает 23 км; уровень ускорения (динамики разгона) будет наивысшей среди всех описанных циклов замера. WLTC состоит из четырех частей: по паре для описания городской и трассовой езды. В ходе двух частей «городские поездки» автомобиль разгоняется до 56,5 км/ч и до 76,6 км/ч; в ходе двух частей «трассовой поездки» максимальные скорости достигают 97,4 км/ч и даже 131,6 км/ч.

Воспроизведение вышеперечисленных режимов возможно на мощностных роликовых стендах. На рынке Украины поставщиком таких стендов является немецкая фирма МАНА [8]. Это самое дорогое и металлоемкое оборудование станции диагностики.

Цель и постановка задачи. В ХНАДУ на кафедре технической эксплуатации и сервиса автомобилей разработан универсальный тягово-тормозной стенд, который позволяет проводить нагрузочные испытания и моделировать различные условия движения автомобиля, а также выполнять проверку состояния тормозной системы. Металлоемкость мощностного стенда в большой степени определяется типом нагрузочно-приводного устройства (НПУ). Рассмотрим возможность снижения массы НПУ за счет применения различных конструкций приводов.

Основной материал исследования. НПУ роликового стенда предназначено для раскручивания роликов при проверке тормозов ведомых колес автомобиля, а также для создания тарированной нагрузки при проведении тяговых испытаний, замерах расхода топлива и токсичности выбросов автомобиля под нагрузкой, при воспроизведении ездовых циклов. Таким образом, привод роликового стенда должен обеспечивать два режима работы: нагрузочный (генераторный) и приводной (двигательный).

При выборе НПУ вначале необходимо определить мощность, требуемую для нагрузочного режима. Скорость движения автомобиля в км/ч при частоте вращения коленчатого вала, соответствующей номинальному крутящему моменту, вычисляется по формуле

$$V = 0,377 \frac{n_{дв} \cdot r_k}{i_0 \cdot i_{кв}}, \quad (1)$$

где $n_{дв}$ – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹; i_0 – передаточное число главной передачи; $i_{кв}$ – передаточное число высшей передачи коробки передач.

Эта скорость является скоростью тяговых испытаний. Мощность двигателя при номинальном крутящем моменте, кВт:

$$N_{дв} = \frac{M_{кр} \cdot n_{дв}}{9545} \quad (2)$$

На стенде эта мощность расходуется на преодоление сил трения в трансмиссии автомобиля $N_{тр}$ и стенде $N_{тс}$, сил сопротивления качению шины по роликам $N_{кр}$ и нагрузки, создаваемой нагрузочным устройством стенда $N_{н}$, кВт:

$$N_{дв} = N_{тр} + N_{тс} + N_{кр} + N_{н} \quad (3)$$

Потери в трансмиссии автомобиля, кВт, определяются по формуле

$$N_{тр} = N_{дв}(1 - \eta_{тр}), \quad (4)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

Потери мощности на стенде составляют, кВт:

$$N_{тс} = \frac{(G_p + 2G_k / \cos \alpha) V \cdot f_{тс}}{3600}, \quad (5)$$

где G_p – суммарный вес роликов и других вращающихся элементов стенда, Н; G_k – нагрузка на ведущее колесо в снаряженном состоянии, Н; α – угол между вертикалью и линией, соединяющей центры колеса и ролика, град; $f_{тс}$ – приведенный коэффициент потерь в стенде, учитывающий трение в подшипниках и трение вращающихся элементов о воздух.

Потери на качение по роликам стенда, кВт, определяются по формуле

$$N_{кр} = 2G_k \cdot f_{кр} \frac{V}{3600}, \quad (6)$$

где $f_{кр}$ – коэффициент потерь на качение шины по роликам.

На первом этапе расчета, когда вес элементов стенда еще не известен, можно пользоваться упрощенной формулой

$$N_{тс} + N_{кр} = 2G_k \cdot f_c \frac{V}{3600}, \quad (7)$$

где $f_c = f_{тс} + f_{кр}$ – суммарный коэффициент потерь на качение колес по роликам и трение в стенде.

Из формулы (3) определяется мощность нагрузочного устройства, кВт:

$$N_{н} = N_{дв} - N_{тр} - (N_{тс} + N_{кр}). \quad (8)$$

Затем определяем мощность приводного устройства $N_{пр}$. Она должна быть достаточной для того, чтобы разогнать стенд и колеса автомобиля до скорости начала торможения за время t_p , которое для легковых автомобилей должно составлять 15...25 с.

При разгоне ведущих колес (наиболее тяжелый случай) приводом стенда, потери в трансмиссии составляют до 30% от потерь на качение $N_{кр}$. Несмотря на то, что можно ведущие колеса раскручивать двигателем проверяемого автомобиля, необходимо при расчетах исходить из более тяжелого случая (при этом будет некоторый запас мощности в случае разгона ведомых колес).

Мощность, кВт, необходимая для разгона ведущих колес приводом стенда, определяется по формуле

$$N_{пр} = (1...1,3)N_{кр} + N_{тс} + N_p, \quad (9)$$

где N_p – мощность, затрачиваемая на разгон стенда, кВт.

$$N_p = (m_{ст} + 2m_k) \frac{V_0^2}{12960t_p}, \quad (10)$$

где $m_{ст}$ – приведенная инерционная масса стенда, кг; m_k – приведенная инерционная масса колеса, кг; V_0 – скорость начала торможения, км/ч; t_p – время разгона ведущих колес, с.

Потери мощности на качение колес по роликам $N_{кр}$ определяются по формуле (6), а потери на трение в стенде $N_{тс}$ – из формулы (7).

Для проверки полной мощности двигателя автомобиля мощность НПУ должна быть больше мощности N_k , подведенной к колесам автомобиля. Это требование ведет к увеличению массы НПУ, а следовательно, и всего стенда. В отличие от этого силового метода проверки, возможна проверка в неустановившемся режиме (инерционно-силовым методом). При этом используется полная величина мощности нагрузочного устройства N_n , а если подводимая мощность к колёсам автомобиля N_k больше, чем N_n , расчет ведется по величине ускорения a или времени разгона t_p от одной скорости V_1 до другой V_2 . Величина ускорения, м/с², определяется по формуле

$$a = \frac{N_k - N_n}{V_1(m_{ст} + 2m_k)}, \quad (11)$$

где V_1 – скорость начала проверки, м/с.

Разгон от V_1 до V_2 осуществляется при полной подаче топлива (в режиме внешней скоростной характеристики двигателя). Величину ускорения a можно заменить временем разгона t_p , с:

$$t_p = (V_2 - V_1)/a = \Delta V / a, \quad (12)$$

где ΔV – разность скоростей разгона ($V_2 - V_1$), км/ч.

Таким образом, зная ΔV и измерив t_p , можно найти значение мощности на колесах (учитывая формулы (11) и (12)):

$$N_k = \frac{\Delta V}{t_p} V_1(m_{ст} + 2m_k) + N_n, \quad (13)$$

или тяговой силы на колесах, Н:

$$F_k = \frac{\Delta V}{t_p} (m_{ст} + 2m_k) + F_n, \quad (14)$$

где F_n – сила, создаваемая нагрузочным устройством, Н.

Из формулы (14) находим время разгона, с:

$$t_p = \frac{\Delta V(m_{ст} + 2m_k)}{3,6(F_k - F_n)}. \quad (15)$$

По рассчитанной мощности нагрузочного устройства подбирается его тип. НПУ бывают электрические, гидравлические и механические. Наибольшее распространение получили электрические НПУ (для тяговых, тормозных и комбинированных стендов) и гидравлические (для тяговых стендов).

НПУ должно обеспечивать изменение оборотов и крутящих моментов в широком диапазоне. Обязательны также стабильные и жесткие характеристики, т. е. колебания момента на валу НПУ не должны влиять на скорость вращения.

Для тягово-тормозных стендов наиболее подходящие характеристики имеют машины постоянного и переменного тока. Однако электропривод постоянного тока имеет более стабильные показатели. Это относится, прежде всего, к управлению и к стабильности электромеханических характеристик.

На рис. 1 и 2 представлены характеристики наиболее распространенных в качестве НПУ электрических машин.

Как видно из рис. 1 и 2, машины постоянного тока с параллельным возбуждением имеют достаточно жесткие внешние скоростные характеристики. При изменении крутящего момента на величину ΔM обороты практически не меняются ($\approx 0,5\%$) – см. рис. 1б, в отличие от электромашин переменного тока с фазным ротором, у которых обороты изменяются значительно ($\approx 15..20\%$) – см. рис. 1а.

Однако, несмотря на хорошие эксплуатационные характеристики, электрические машины постоянного и переменного тока имеют большую массу и габариты.

Поэтому они применяются на стационарных диагностических стендах. Использовать эти машины в качестве НПУ на стендах для мобильных диагностических станций (МДС) неудобно также по причине обеспечения энергоснабжением (380 В). Поэтому для МДС необходимо подобрать НПУ другого типа.

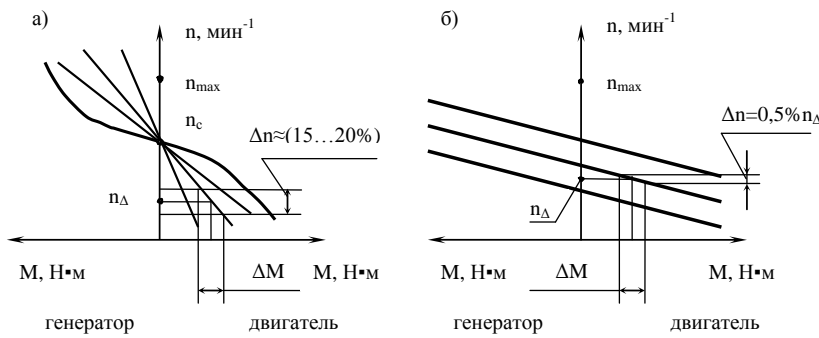


Рис. 1. Электромеханические характеристики электрических машин: а) машины переменного тока с фазным ротором; б) машины постоянного тока с параллельным возбуждением

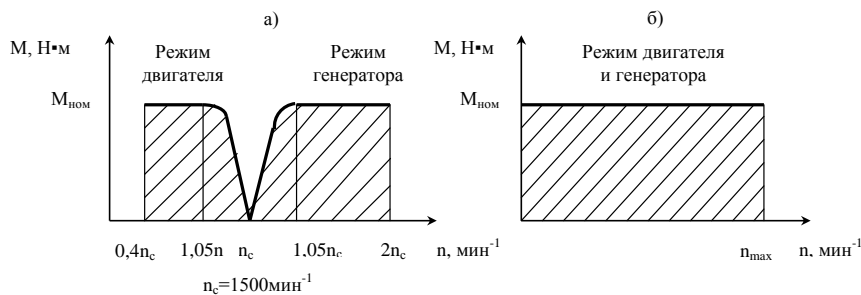


Рис. 2. Обкаточно-тормозные характеристики электрических машин: а) машины переменного тока с фазным ротором; б) машины постоянного тока с параллельным возбуждением

Альтернативой электрическим машинам могут быть гидравлические насос-моторы, которые применяются как элементы гидропривода в станкостроении. Наиболее подходящими для НПУ диагностического стенда являются аксиально-поршневые насос-моторы серии МНА или Bosch Rexroth серии А6VM [9]. Силовые характеристики этих гидромашин зависят от рабочего объема и номинального давления. Эти устройства могут работать как в насосном режиме, т.е. в качестве тормозного устройства (генераторный у электромашин), так и в режиме гидромотора (двигательный режим). Преимущества гидропривода – высокая энергоемкость, малые габариты и масса. На рис. 3 представлены сравнительные габаритные размеры электромашин и гидромашин, имеющих приблизительно одинаковые мощностные характеристики.

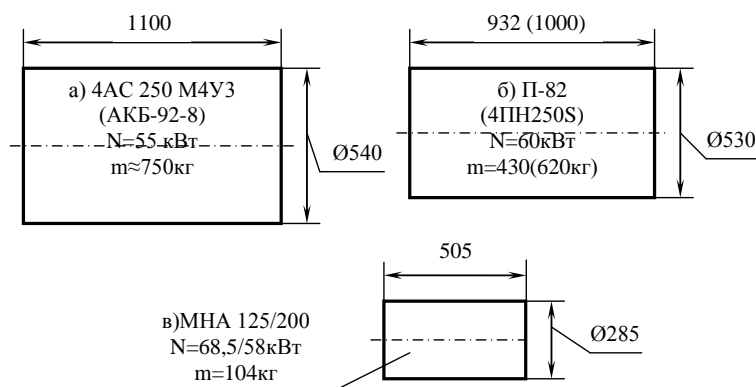


Рис. 3. Сравнительная характеристика типов НПУ: а) – асинхронный электродвигатель с фазным ротором; б) – машина постоянного тока; в) – насос-мотор

На рис. 4. представлены скоростные характеристики гидромашин. Насос-моторы серии МНА имеют жесткую скоростную характеристику (постоянство момента во всем диапазоне частот

вращения). Поэтому, в совокупности с небольшими габаритами и массой, их целесообразно использовать в качестве НПУ роликового стенда для МДС.

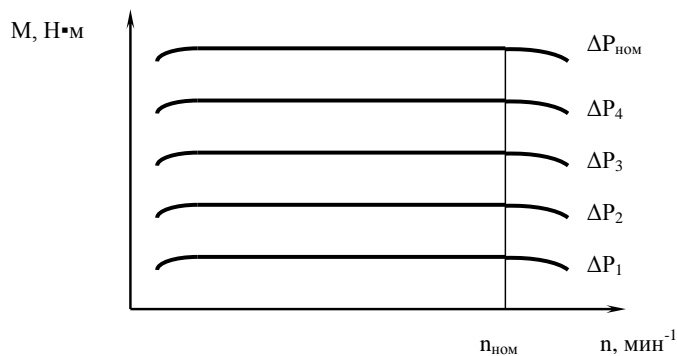


Рис. 4. Зависимость крутящего момента насос-моторов серии МНА от частоты вращения для различных значений перепада давлений при работе в режиме мотора: ΔP – перепад давления на входе-выходе гидромашины

Выводы. 1. Моделирование и воспроизведение реальных условий эксплуатации автомобилей, особенно гибридных и электромобилей по ездовым циклам возможно на универсальных или на мощностных роликовых стендах. 2. На массу и металлоемкость роликовых стендов влияют: величина приведенной массы стенда (момент инерции); диаметр роликов; тип НПУ. Конструкция НПУ является наиболее существенной в этом вопросе. 3. Оптимальным типом нагрузочно-приводного устройства для роликового стенда является обратимая гидравлическая машина (насос-мотор серии МНА или Bosch Rexroth серии А6VM).

Список использованных источников:

1. Гібридні автомобілі / [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А. та ін.] – Х.: ХНАДУ, 2008. – 327 с.
2. Бажинов А.В. Особенности оценки технического состояния гибридных автомобилей / А.В. Бажинов, Ю.А. Нечитайло // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 121. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2011. – С. 34-37.
3. Попов И.В. Исследование экономических и экологических показателей гибридного автомобиля в различных условиях эксплуатации / И.В. Попов, П.В. Толмачев, Р.Н. Хмелев // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2016. – № 1. – С. 66-75.
4. What is WLTP and how does it work? [Электронный ресурс] – 2018. – Режим доступа: <http://www.WLTPfacts.eu>.
5. Romain Nicolas. The different driving cycles. [Электронный ресурс] – 2013. – Режим доступа: <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>.
6. Запас хода электромобиля: ездовые циклы NEDC, EPA, WLTC и JC08 – какой правильнее? [Электронный ресурс] – 2016. – Режим доступа: <https://ecotechnica.com.ua/stati/1854-zapas-khoda-elektromobilya-ezdovye-tsikly-nedc-epa-wltc-i-jc08-kakoj-pravilnee.html>.
7. Christ T., Lins F., Bohne W., Modellbasierte Regelungskonzepte fuer Hybridantriebsstraenge // Automotive and Engine Technology: 10th Stuttgart International Symposium, Stuttgart. – 2010. – Vol. 1. – P. 47–62.
8. MSR 500/2 PKW ALLRAD (LPS 3000). [Электронный ресурс] – 2018. – Режим доступа: <https://www.maha.de/scheitelrollen-leistungspruefstand-msr-500-2-pkw-allrad-lps-3000.htm>.
9. Гидромоторы аксиально-поршневые Bosch Rexroth серии А6VM. [Электронный ресурс] – 2017. – Режим доступа: https://hydromotor.com.ua/radialno_porshnevye_hydromotory/bosch-rexroth.

Рецензенты:

Волков В.П., докт. техн. наук, профессор, ХНАДУ

Шаша И.К., докт. техн. наук, профессор, НАНГУ

Стаття надійшла до редакції 15.03.2019