

УДК 629.373

М. М. Саиян, Д. Н. Зекун

ГУ «Проектно-конструкторский технологический институт», г. Донецк

АНАЛИЗ И МОДИФИКАЦИЯ СТАНДАРТНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЛАТФОРМ

Выполнен сравнительный анализ нормативных документов, содержащих стандартные методы измерения энергетических характеристик электромобилей. Предложена модификация методов, применительно к испытаниям беспилотных транспортных платформ. Приведена конструкция и описание динамометрического стенда с беговыми барабанами, применяемого при испытаниях.

Ключевые слова: беспилотная транспортная платформа, электромобиль, тяговый электропривод, потребление энергии, пробег без подзарядки батареи, динамометрический стенд, сила сопротивления движению

Введение

В настоящее время различными производителями разрабатывается и выпускается широкая линейка беспилотных колесных транспортных платформ (далее – платформ), приводимых в действие электроприводом. Выпускаются как компактные четырехколесные платформы, максимальной массой до 200 кг, для доставки грузов в городских условиях, так и тяжелые шестиколесные платформы повышенной и высокой проходимости, максимальной массой до 2 т, для перевозки грузов по грунтовым дорогам и пересеченной местности в любых погодных условиях. Платформы также могут применяться для установки специализированного оборудования и выполнять функции тягача. Управление платформой может осуществляться дистанционно оператором или быть полностью автоматическим, без участия оператора при движении по заданному маршруту.

Для официального утверждения модели платформы, как типа транспортного средства (ТС), наряду с другими испытаниями, требуется определить его энергетические характеристики.

Целью статьи является анализ и модификация стандартных методов измерения энергетических характеристик электромобилей, применительно к беспилотным колесным транспортным платформам с тяговым электроприводом.

Классификация платформ и анализ стандартных методов измерения

Исходя из требований назначения, платформы условно можно отнести к категории N_1 или N_1G и классифицировать как тихоходное ТС специального назначения, не предназначенное для движения по дорогам общего пользования [1, 2]: условно потому, что принадлежность ТС к определенной категории предусматривает наличие места водителя.

Категория N_1 – ТС с максимальной массой не более 3,5 т, имеющие не менее четырех колес и используемые для перевозки грузов.

Категория G – ТС с максимальной массой не более 2 т, повышенной проходимости категории N_1 , удовлетворяющие требованиям.

ТС специального назначения – ТС категории N_1 , предназначенное для выполнения специальных функций, для которых требуется наличие специального кузова и/или оборудования.

Тихоходное ТС – ТС, имеющее максимальную конструктивную скорость до 50 км/ч.

Область применения указанных ниже документов формально не распространяется на

платформы, однако изложенные в них методы возможно применить для испытаний платформ.

Методы измерения энергетических характеристик ТС с электрической тягой категории N_1 , регламентируются действующими в РФ ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011¹ [3] и Правилами ЕЭК ООН № 101² [4] (далее – ГОСТ и Правила ЕЭК ООН).

До сентября 2018 г., наряду с Правилами, действовали стандарты ГОСТ Р группы 41, которые представляли собой тексты, идентичные Правилам ЕЭК ООН³.

На момент издания ГОСТ и Правил описывают два метода измерений:

Метод 1. Измерение потребления энергии по ГОСТ или измерение расхода электроэнергии по Правилам (Приложение 7).

Метод 2. Измерение пробега без подзарядки батареи по ГОСТ, или измерение запаса хода на электротяге по Правилам (Приложение 9).

Названия методов несколько отличаются, однако по существу методы схожи, хотя имеются различия в изложении материала.

Под потреблением энергии понимаем отнесенное к пройденному расстоянию количество электрической энергии ($Вт \cdot ч/км$), полученной батареей ТС при зарядке от сети и израсходованной при выполнении испытательных циклов.

Под пробегом без подзарядки батареи понимаем расстояние, которое прошло ТС при выполнении испытательного цикла (км), начав движение при полностью заряженной батарее и закончив движение в соответствии с критерием окончания испытания.

Сущность методов, изложенных в ГОСТ и Правилах, заключается в следующем.

Метод 1. Измерение потребления энергии. Состоит из трех этапов испытания и расчета.

Этап 1. Приведение заряда батареи в исходное состояние. Батарею разряжают при движении ТС и заряжают, применяя процедуру нормальной зарядки.

Этап 2. Выполнение испытательных циклов.

Цикл № 1 представляет собой городской цикл, состоящий из четырех элементарных городских циклов. Цикл № 2 состоит из двух частей: городского цикла и загородного цикла.

ТС устанавливают на динамометрический стенд с беговыми барабанами и проводят процедуру семикратного выполнения цикла № 1 или двукратного выполнения цикла № 2, показанных на рисунке 1. Измеряют пройденное расстояние d , км.

Этап 3. Зарядка батареи. Батарею заряжают, применяя процедуру нормальной зарядки. Измеряют потребляемую от сети энергию E , $Вт \cdot ч$, и продолжительность зарядки.

Расчет. Потребляемую энергию C , $Вт \cdot ч/км$, вычисляют по формуле

$$C = \frac{E}{d}. \quad (1)$$

Существенное различие в изложении метода измерения потребления энергии в ГОСТ и Правилах состоит в том, что Правила не предусматривают семикратного выполнения городского цикла, т. е. цикла № 1, но предусматривают проведение двух циклов испытаний, состоящих из четырех элементарных городских циклов и одного загородного цикла, т. е. цикла № 2.

Метод 2. Измерение пробега без подзарядки батареи. Состоит из двух этапов испытания.

Этап 1. Приведение заряда батареи в исходное состояние.

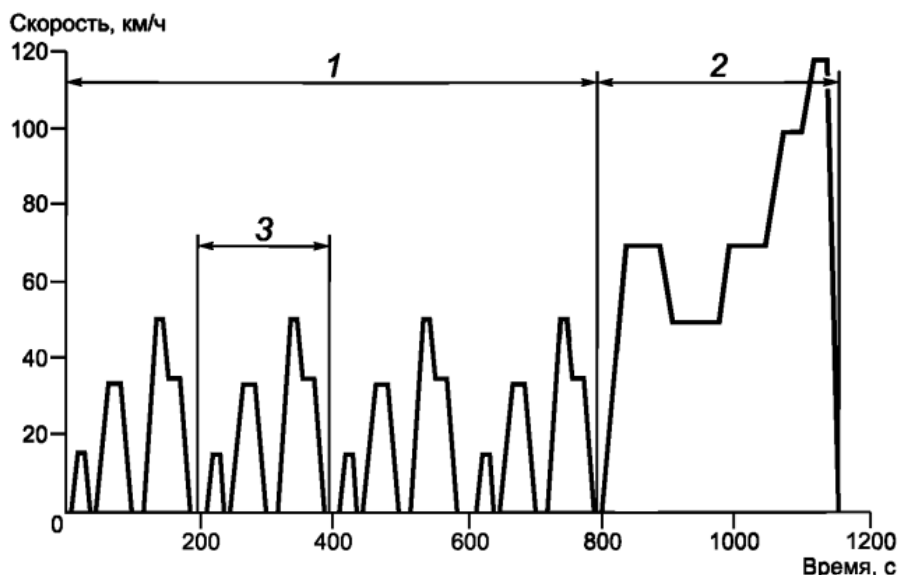
¹ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011 является идентичным европейскому стандарту ЕН 1986-1: 1997 «Автомобили с электрической тягой. Измерение энергетических характеристик. Часть 1. Электромобили», издан в январе 2012 г., действует без изменений.

²Правила ЕЭК ООН № 101 Пересмотр 3, вступили в силу в апреле 2013 г., действуют с учетом поправок 1 – 11, последняя поправка от февраля 2024 г.

³Согласно приказу Росстандарта от 19.07.2018 № 420-ст с 1 сентября 2018 г. стандарты ГОСТ Р группы 41 отменены в связи с прямым применением с 28 декабря 2000 г. Правил ЕЭК ООН.

Этап 2. Выполнение испытательных циклов. ТС устанавливают на динамометрический стенд с беговыми барабанами и проводят процедуру выполнения цикла № 2 (рисунок 1) до достижения критерия окончания испытания. Измеряют пройденное расстояние d , км, которое является пробегом ТС, и время движения.

Критерий окончания испытания – невозможность выполнения цикла ТС при скоростях менее 50 км/ч или сигнал необходимости остановки от бортовой системы ТС.



1 – городской цикл = цикл № 1; 2 – загородный цикл;
3 – элементарный городской цикл; 1 + 2 = цикл № 2

Рисунок 1 – Испытательные циклы

Чтобы провести испытания на динамометрическом стенде, необходимо определить суммарную мощность сил сопротивления движению ТС при постоянной скорости движения и выполнить калибровку динамометрического стенда.

Силы сопротивления движению ТС определяют при дорожных испытаниях, путем измерения изменения кинетической энергии при движении в режиме выбега.

Для ТС, имеющих максимальную скорость $V_{\text{MAX}} \leq 70$ км/ч, силы сопротивления движению определяют на установленных скоростях V , равных 50, 40, 30 и 20 км/ч.

Сущность процедуры испытания, без описания статистической обработки результатов, заключается в следующем:

1) ТС разгоняют до скорости на 5 км/ч превышающей установленную скорость;
2) коробку передач устанавливают в нейтральное положение или отключают питание электродвигателя;

3) измеряют время замедления t , с, в течение которого скорость ТС уменьшается от $V_2 = V + \Delta V$, км/ч, до $V_1 = V - \Delta V$, км/ч, где $\Delta V \leq 5$ км/ч для установленной скорости ≤ 50 км/ч.

Силу сопротивления движению F , Н, при установленной скорости V вычисляют по формуле

$$F = (M + M_{II}) \frac{2\Delta V}{t} \cdot \frac{1}{3,6}, \quad (2)$$

где M – масса ТС, кг;

M_{II} – масса, эквивалентная инерции всех колес и частей ТС, вращающихся вместе с колесами при движении по инерции, кг.

Сущность процедуры калибровки динамометрического стенда, кратко, заключается в

следующем:

4) устанавливают эквивалентную инерционную массу стенда I , кг, равную массе ТС M , кг с отклонением не более $\pm (0,03 - 0,06) M$. Меньше масса, больше допусаемое отклонение;

5) ТС устанавливают на стенд и выполняют операции 1) – 3);

6) тормозное устройство стенда настраивают с учетом разности массы ТС M при дорожных испытаниях и эквивалентной инерционной массы I так, чтобы измеренное на стенде время замедления t совпало по величине с скорректированным временем замедления t_{corr} , с.

Скорректированное время замедления t_{corr} , с, вычисляют по формуле

$$t_{corr} = (I + M_{I2}) \frac{2\Delta V}{F} \cdot \frac{1}{3,6}, \quad (3)$$

где M_{I2} – масса, эквивалентная инерции ведущих колес и частей ТС, вращающихся вместе с колесами при движении накатом, кг.

Существенное различие в описании процедуры определения суммарной мощности сил сопротивления движению ТС и калибровки динамометрического стенда, по ГОСТ и Правилам, заключается в следующем. В Добавлении к Приложению 7 Правил, которое описывает метод, указано: «ТС загружается до его испытательной массы, включая водителя и контрольно-измерительные приборы». Правила вводят понятие «испытательная масса», означающее массу порожнего ТС плюс половину полной нагрузки для ТС категории N_1 .

В Приложении А к ГОСТ, которое описывает тот же метод, указано: «Загрузка ТС при испытании должна включать водителя и контрольно-измерительные приборы». Из данной формулировки неясно, следует ли при испытании нагружать ТС дополнительно. При грузоподъемности платформ до 1000 кг, разница в массе испытуемых ТС может достигать 500 кг, что повлияет на результат испытания.

Вступившая в силу в сентябре 2022 г. Поправка 10 к Правилам внесла изменения в методы испытаний. Метод 1 и метод 2 объединены в единый «Метод измерения потребления электроэнергии и запаса хода только на электротяге». Введен испытательный цикл, состоящий из динамических сегментов и сегментов постоянной скорости. Расчет потребления электроэнергии и запаса хода на электротяге выполнен с учетом силы тока и напряжения батареи.

Модификация стандартных методов измерения

Предпосылки и предлагаемые авторами модификации стандартных методов по ГОСТ, применительно к платформам, указаны ниже.

1. *Предпосылки.* Метод измерения потребления энергии и метод измерения пробега без подзарядки батарей предусматривают выполнение одинаковых испытательных циклов, одинаковой процедуры определения сил сопротивления движению ТС при дорожных испытаниях и калибровки динамометрического стенда. Методы различаются только формулами расчета измеряемых величин и критериями окончания испытаний.

Модификация. Объединить, указанные выше методы, в один метод измерения потребления энергии и пробега без подзарядки батарей.

2. *Предпосылки.* Исходя из требований назначения, на платформе не предусмотрено место водителя, и управление платформой осуществляется дистанционно. Максимальная конструктивная скорость платформ различных моделей находится в пределах от 20 до 50 км/ч, так как при больших скоростях движения трудно обеспечить управляемость и безопасность движения. Вследствие невысокой конструктивной скорости стандартные городской и загородный циклы, показанные на рисунке 1, невозможно воспроизвести в полном объеме.

Модификация. При испытаниях применить модифицированный испытательный цикл, показанный на рисунке 2. Цикл отражает скоростные режимы платформы в условиях экс-

платформы. Чтобы обеспечить полное воспроизведение цикла платформой, независимо от ее максимальной конструктивной скорости V_{max} , привязка скорости движения в цикле осуществляется не к абсолютным значениям в км/ч, а к относительным значениям, в привязке к V_{max} . При измерении потребления энергии проводить три цикла испытаний, чтобы общая продолжительность испытания осталась такой же, как и при стандартном цикле.

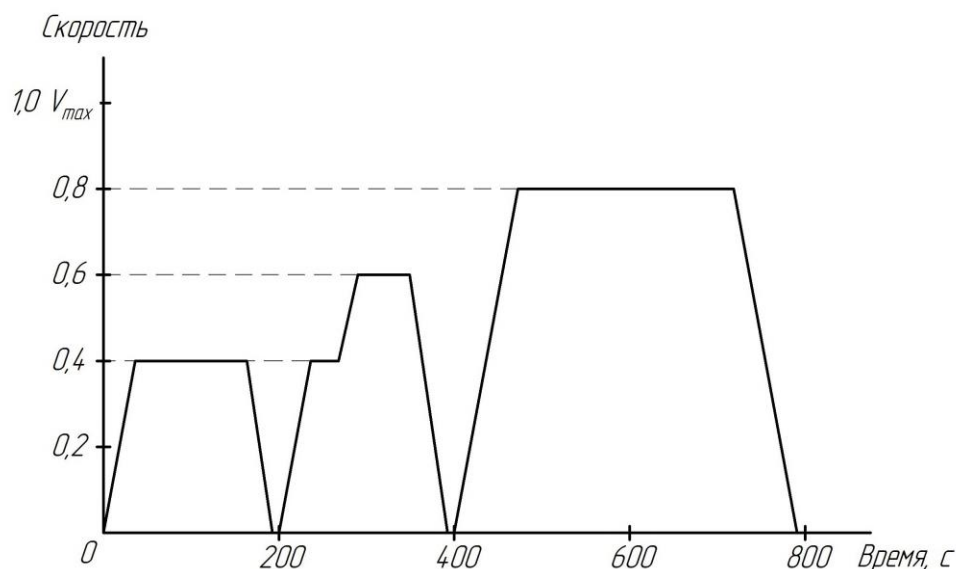


Рисунок 2 – Модифицированный испытательный цикл

3. *Предпосылки.* Платформы повышенной и высокой проходимости предназначены для движения преимущественно по грунтовым дорогам и пересеченной местности. Стандартные дорожные условия (участок с твердым покрытием из асфальтобетона), при которых определяют силы сопротивления движению ТС, не отражают условия применения платформ.

Модификация. Силы сопротивления движению определить на грунтовом участке дороги.

4. *Предпосылки.* Платформы по назначению являются грузовыми ТС.

Модификация. Испытания проводить на платформе, нагруженной до испытательной массы, равной массе снаряженного ТС и половине грузоподъемности ТС, включая средства измерений.

5. *Предпосылки.* Ввиду конструктивных особенностей ряда моделей платформ, при движении накатом двигатель и понижающий редуктор не могут быть отключены от трансмиссии. Соответственно, сила сопротивления движению, определенная при движении накатом, не равна силе сопротивления при равномерном движении, которая устанавливается на стенде.

Модификация. Ввести ориентировочный метод определения сил сопротивления движению по току разряда батареи. При движении по дороге ток разряда батареи напрямую зависит от потребляемого тока двигателя, и, как следствие, от момента на валу двигателя и сил сопротивления движению.

В режиме разгона и равномерного движения при установленной скорости, провести непрерывные измерения скорости и тока разряда батареи. Тормозное устройство стенда настроить на величину тока батареи при установленной скорости.

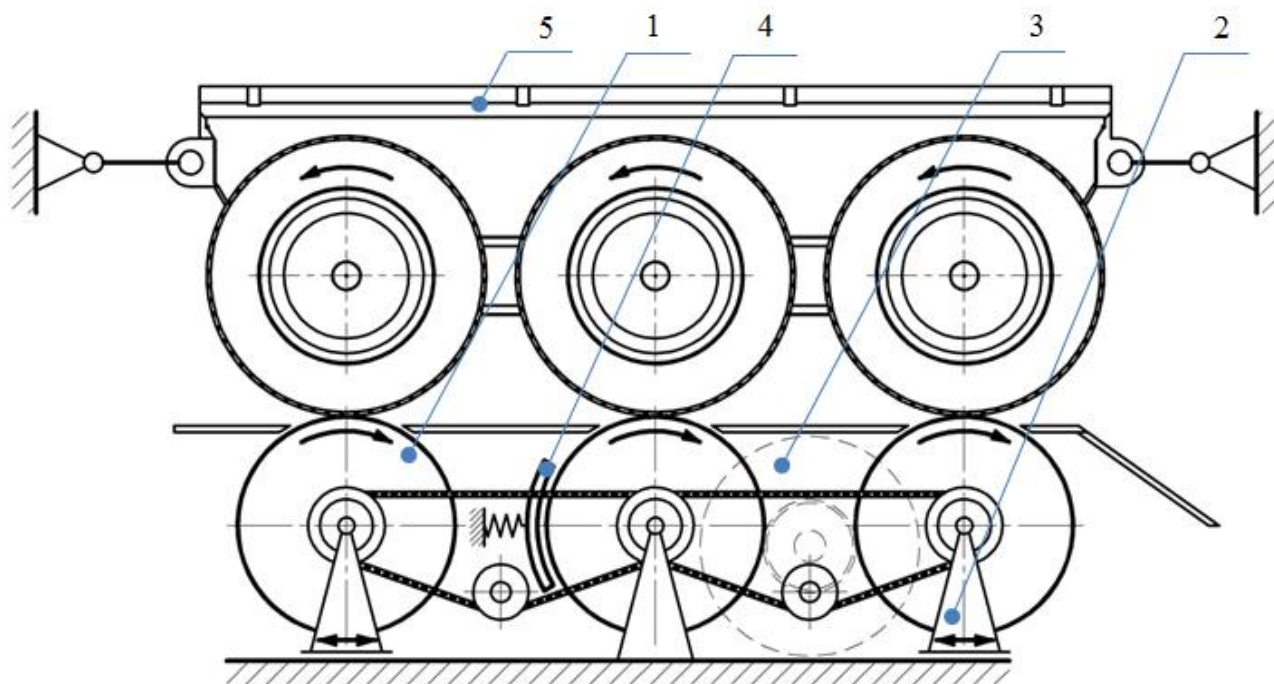
Описание динамометрического стенда

Испытания предлагается проводить на динамометрическом стенде с беговыми барабанами. Стендовые испытания широко освещены в учебной литературе. [5]. Один из приме-

ров конструкции стенда показан на рисунке 3.

Характеристики динамометрического стенда, регламентируются документом [6], с учетом требований документа [4].

Инерционные беговые барабаны 1 моделируют силы сопротивления движению ТС при ускорении и равномерном движении с заданной скоростью. Конструкция стенда позволяет изменять момент инерции барабанов, т. е. эквивалентную массу стенда, и момент сопротивления вращению барабанов.



1 – беговой барабан; 2 – опоры барабана; 3 – маховик;
4 – тормозное устройство поглощения мощности; 5 – испытуемая платформа (ТС)

Рисунок 3 – Динамометрический стенд

Поверхность барабанов имеет покрытие, препятствующее пробуксовке колес ТС. Крайние барабаны установлены на регулируемых опорах 2, позволяющих установить расстояние между осями барабанов, равное базе ТС. Барабаны кинетически связаны цепной передачей и обладают общим моментом инерции.

Величина момента инерции и радиус барабанов определяют эквивалентную массу стенда, физический смысл которой описан ниже.

Необходимый момент инерции стенда, устанавливается изменением момента инерции маховика 3 наборной конструкции. Маховик приводится во вращение от среднего барабана через повышающую передачу.

Величину силы сопротивления вращению колес устанавливают изменением усилия прижатия тормозного устройства поглощения мощности 4 на среднем барабане.

ТС 5, при установке на стенде, закрепляют на растяжках, чтобы исключить соскальзывание колес с барабанов при испытании.

Стенд обеспечивает воспроизведение эквивалентной массы в пределах от 300 до 600 кг и поглощаемой мощности в пределах от 100 до 1500 Вт.

Базовые понятия и формулы, описывающие работу динамометрического барабанного стенда, приведены ниже.

Инертность тела – свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного движения.

Инерция тела – явление сохранения скорости тела при отсутствии воздействия на тело других сил.

Сила инерции тела – сила, с которой тело сопротивляется изменению движения. Сила инерции направлена в сторону, противоположную ускорению. При ускоренном движении направления ускорения и скорости совпадают, и сила инерции направлена в сторону, противоположную скорости движения. При замедленном движении, когда ускорение направлено в сторону, обратную скорости, сила инерции действует по направлению движения.

Значение силы инерции F , H , вычисляются по формуле

$$F = m \cdot a, \quad (4)$$

где m – масса тела (масса ТС), кг;

a – ускорение тела (ускорение ТС), м/с^2 .

Подобно тому, как масса тела является мерой его инертности при поступательном движении, осевой момент инерции тела является мерой его инертности при вращательном движении вокруг оси.

Таким образом, момент силы инерции или крутящий момент при вращательном движении является аналогом силы инерции при поступательном движении.

Значение крутящего момента M , $H \cdot \text{м}$, вычисляются по формуле

$$M = J \cdot \varepsilon, \quad (5)$$

где J – осевой момент инерции тела (суммарный осевой момент инерции барабанов стенда), $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

ε – угловое ускорение тела (угловое ускорение беговых барабанов стенда), рад/с^2 .

Осевой момент инерции тела – это сумма произведений элементарных масс на квадрат их расстояний до оси.

Динамика разгона ТС на стенде и на дороге должна совпадать в любой момент времени, следовательно, значения мгновенных мощностей ТС и барабанов стенда равны.

Мощностью силы – это величина, характеризующая скорость выполнения работы и численно равную отношению работы ко времени, за которое работа была совершена.

Работа силы – величина, равная произведению модуля силы на величину перемещения тела в направлении действия силы.

Для неравномерного прямолинейного движения мгновенная мощность силы N , Вт, определяется по формуле

$$N = \frac{dA}{dt} = F \cdot v = m \cdot a \cdot v, \quad (6)$$

где A – работа силы, Дж.

v – мгновенная скорость движения тела (ТС), м/с ;

Для неравномерного вращательного движения мгновенная мощность силы N , Вт, определяется по формуле

$$N = \frac{dA}{dt} = M \cdot \omega = J \cdot \varepsilon \cdot \omega, \quad (7)$$

где ω – мгновенная угловая скорость движения тела (бегового барабана стенда), рад/с .

Приравняем мгновенные мощности для прямолинейного и вращательного движения:

$$m \cdot a \cdot v = J \cdot \varepsilon \cdot \omega. \quad (8)$$

Запишем ускорение в виде производной скорости:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot v = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot \omega. \quad (9)$$

Получим

$$m \cdot v^2 = J \cdot \omega^2. \quad (10)$$

С учетом того, что линейная скорость на поверхности барабана стенда, радиусом R , м, равна линейной скорости ТС на поверхности дороги,

$$\omega \cdot R = v. \quad (11)$$

Запишем выражение 10 в виде

$$m \cdot \omega^2 \cdot R^2 = J \cdot \omega^2. \quad (12)$$

Таким образом, для выполнения условия идентичности динамики разгона ТС на стенде и на дороге, осевой момент инерции барабанов стенда J , кг·м², должен быть численно равен произведению массы ТС и квадрата радиуса барабана стенда:

$$m \cdot R^2 = J. \quad (13)$$

Масса в данном выражении называется эквивалентной массой стенда $m = m_s$.

Эквивалентная масса стенда численно равна массе ТС, у которого динамика разгона на дороге соответствует динамике разгона на стенде.

Заключение

Приведенные в статье модифицированные стандартные методы измерения энергетических характеристик, могут быть применены разработчиками беспилотных колесных транспортных платформ с электроприводом, при проведении исследовательских стендовых испытаний.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52051-2003. Механические транспортные средства и прицепы. Классификация и определения : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 7 мая 2003 г. № 139-ст : введен впервые : дата введения 2004–01–01 / разработан «ВНИИИНАШ». – Москва : Госстандарт России, 2003. – 11 с.
2. Сводная резолюция о конструкции транспортных средств (СР.3). Пересмотр 6 : документ ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.6 : дата вступления в силу 11 июля 2017 г. – Текст : электронный // Экономический и Социальный Совет. – URL: <https://electro.club/data/forum/messages/216249/ECE-TRANS-WP.29-78r6r.pdf>.
3. ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011. Автомобили с электрической тягой. Измерение энергетических характеристик. Часть 1. Электромобили (EN 1986-1:1997, IDT) : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 июня 2011 г. № 118-ст : введен впервые : дата введения 2012–03–01 / разработан «ВНИИИНАШ». – Москва : Стандартинформ, 2012 – 19 с.
4. Правила ЕЭК ООН № 101 Пересмотр 3 с Поправками 1-11 : Документ E/ECE/324/Rev.2/Add.100/Rev.3 – E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.100/Rev.3 : дата вступления в силу 12 апреля 2013 г., с поправками Amend.1–Amend.11 : дата вступления в силу последней поправки 19 февраля 2024 г. – Текст : электронный // UNECE : [сайт]. – URL: <https://unece.org/transport/vehicle-regulations-wp29/standards/addenda-1958-agreement-regulations-101-120>.
5. Испытания колесных транспортных средств / А. М. Иванов, С. Р. Кристальный, Н. В. Попов, А. Р. Спинов. – Москва : МАДИ, 2018 – 124 с.
6. Правила ЕЭК ООН № 84 : Документ E/ECE/324 - E/ECE/TRANS/505/ Rev.1/Add.83 : дата вступления в силу 15 июля 1990 г. – Текст : электронный // UNECE : [сайт]. – URL: <https://unece.org/transport/vehicle-regulations-wp29/standards/addenda-1958-agreement-regulations-81-100>.

М. М. Саиян, Д. Н. Зекун
ГУ «Проектно-конструкторский технологический институт», г. Донецк
Анализ и модификация стандартных методов измерения
энергетических характеристик беспилотных транспортных платформ

Целью статьи является анализ и модификация стандартных методов измерения энергетических характеристик электромобилей, применительно к беспилотным колесным транспортным платформам с тяговым электроприводом.

В работе выполнен сравнительный анализ нормативных документов. Кратко изложена сущность стандартных методов измерения потребления энергии и пробега без подзарядки батареи. Описаны процедура определения сил сопротивления движению при дорожных испытаниях и процедура калибровки динамометрического стенда. Отмечены различия в описании методов и процедур в различных документах.

Предложены модификации методов, применительно к испытаниям беспилотных транспортных платформ, связанные с их конструктивными особенностями, техническими характеристиками и областью применения.

Описана конструкция и принцип действия динамометрического стенда с беговыми барабанами, применяемого при испытаниях. Приведены характеристики стенда, а также базовые понятия и формулы, описывающие его работу.

Приведенные в статье модифицированные методы могут быть применены разработчиками беспилотных колесных транспортных платформ с электроприводом при проведении исследовательских стендовых испытаний.

БЕСПИЛОТНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ ПЛАТФОРМА, ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ, ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ, ПРОБЕГ БЕЗ ПОДЗАРЯДКИ БАТАРЕИ, ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИЙ СТЕНД, СИЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ

M. M. Saiian, D. N. Zekun
State Institution «Design and Construction Technological Institute», Donetsk
Analysis and Modification of Standard Methods for Measuring the Energy Characteristics of Remotely
Piloted Transfer Platforms

The purpose of the article is to analyze and modify standard methods for measuring the energy characteristics of electric vehicles, in relation to remotely piloted wheeled transport platforms with traction electric drive.

The paper provides a comparative analysis of regulatory documents. The essence of standard methods for measuring energy consumption and mileage without recharging the battery is briefly described. The procedures for determining the motion resistance forces during the road tests and for calibrating a dynamometer stand are described. Differences in the description of methods and procedures in various documents are noted.

Modifications of the methods applied to the testing of remotely piloted transfer platforms related to their design features, technical characteristics and scope of application are proposed.

The design and operating principle of the dynamometer stand with running drums used in testing are described. The characteristics of the stand are given, as well as basic the concepts and formulas describing its operation.

The modified methods given in the article can be applied by developers of remotely piloted wheeled transfer platforms with electric drive during research bench tests.

UNMANNED TRANSPORT PLATFORM, TRACTION ELECTRIC DRIVE, ENERGY CHARACTERISTICS, ENERGY CONSUMPTION, MILEAGE WITHOUT BATTERY RECHARGING, DYNAMOMETER STAND, MOTION RESISTANCE FORCE

Сведения об авторах:

М. М. Саиян, главный метролог

Телефон: +7 856 343-59-91

Эл. почта: donpkti.donpkti@mail.ru

Д. Н. Зекун, ведущий инженер

Телефон: +7 856 343-59-91

Эл. почта: donpkti.donpkti@mail.ru

Статья поступила 01.10.2024

© М. М. Саиян, Д. Н. Зекун, 2024

Рецензент: Д. Н. Самисько, канд. техн. наук, доц.,

Автомобильно-дорожный институт

(филиал) ДонНТУ в г. Горловка