

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ
ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ПІД ЧАС ДОРОЖНИХ ВИПРОБУВАНЬ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ОБЛАДНАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ТА СИСТЕМОЮ
РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ

Дембіцький В.М. Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», Київ, Україна

METHODOLOGY OF DETERMINATION OF THE ENERGETIC CHARACTERISTICS OF
THE PROCESS OF ELECTRICAL AND DYNAMIC BRAKING DURING THE ROAD TESTS OF THE
VEHICLES EQUIPPED WITH THE ELECTRICAL DRIVE AND THE ENERGY RECUPERATION
SYSTEM.

Dembitskyj V.M. State enterprise «Scientific, research, design and technology institute», Kyiv, Ukraine

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ДОРОЖНЫХ ИСПЫТАНИЙ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ОБОРУДОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ И СИСТЕМОЙ
РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ

Дембицкий В.Н. Государственное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт городского хозяйства», Киев, Украина

Вступ. На сьогоднішній день, практично усі провідні світові виробники транспортних засобів досить активно займаються розробками автомобілів на альтернативних видах палива. Це електромобілі, електробуси, гібридні транспортні засоби, автомобілі на паливних елементах і т.п. При цьому значна частина виробників все більше приділяє уваги питанням поповнення запасів енергії, зокрема під час гальмування транспортних засобів. Вирішенням даної проблеми є застосування систем рекуперації енергії під час гальмування транспортного засобу. В цьому випадку можна відзначити відразу два позитивних моменти:

- перетворення кінетичної енергії гальмування у електричну з подальшим її накопиченням;
- обладнання автомобіля фактично ще однією, додатковою, системою гальмування.

Дана робота є продовженням серії досліджень [1 - 3], пов'язаних з системою електродинамічного гальмування гібридного автомобіля обладнаного системою рекуперації енергії.

Аналіз попередніх досліджень. На даний час системи рекуперації енергії досить активно застосовуються у міському електричному та залізничному транспорті, що і призвело до необхідності створення відповідних методик випробувань [4 - 6].

Поява сучасних автомобілів, обладнаних системами електричного приводу та рекуперації енергії призвела до необхідності розробки нових методик випробувань стосовно тягово-швидкісних показників автомобілів, які рухаються на електротязі [7 - 8]. Окремі з цих методик досить активно застосовуються у міжнародних стандартах [9], з метою офіційного схвалення типу транспортного засобу. Однак у цих методиках описано лише процедуру випробувань щодо визначення витрат енергії транспортними засобами, а облік кількості рекуперованої енергії не здійснюється. Кількість рекуперованої енергії є досить важливим показником з точки зору конструкції та експлуатації автомобіля. Адже цей показник необхідний при:

- розрахунку ємності накопичувачів енергії;
- розрахунку стану (ступеня зарядки) накопичувачів енергії під час експлуатації транспортного засобу;
- оцінювання адекватності математичних моделей процесу електродинамічного гальмування автомобіля з рекуперацією енергії перед їх впровадженням у систему управління електротягою транспортних засобів.

Мета роботи полягає у розробці методики визначення кількості рекуперованої енергії під

час дорожніх випробувань транспортних засобів, обладнаних електроприводом та системою рекуперації енергії.

Будь-яка методика проведення випробувань повинна щонайменше містити: умови проведення випробувань, застосоване випробувальне устаткування, опис власне методу вимірювання та обробка результатів випробувань.

Умови проведення випробувань залежать від поставленої задачі та кінцевої мети. Однак у загальному випадку необхідно дотримуватися температурних показників навколишнього середовища, оскільки крім загального впливу на результати випробувань, вони ще визначають працездатність випробувального устаткування. Швидкість та напрям вітру може досить суттєво вплинути на кінцеві результати, тому у відповідності до Правил ЄЕК ООН № 101, швидкість вітру не повинна перевищувати 3 м/с, у будь-якому напрямку, однак допускаються пориви вітру до швидкості 5 м/с. Крім того, швидкість вітру у напрямку перпендикулярному до випробувальної ділянки не повинна перевищувати 2 м/с. Швидкість вітру вимірюється на висоті 0,7 м над рівнем дорожнього покриття.

Якщо випробування планується проводити на рівній ділянці дороги, то випробувальна ділянка повинна бути горизонтальною, прямою, та не повинна мати перешкод. Граничний поздовжній ухил ділянки не повинен перевищувати $\pm 2\%$, а у поперечному напрямку 1,5%. Місцеві поздовжні ухили між двома точками, розташованими на відстані 3 м не повинні відхилитися більше ніж на $\pm 0,5\%$ від цього поздовжнього ухилу [9].

Ваговий стан транспортного засобу, ступінь заряду акумуляторної батареї залежать від поставлених конкретних задач, які вирішуються під час проведення випробувань.

З метою отримання якомога достовірніших результатів необхідно, щоб транспортний засіб та його вузли і агрегати були обкатані у відповідності з інструкціями виробників, а також були застосовані мастильні матеріали, технічні рідини у відповідності з настановами виробників. Тиск в шинах повинен бути доведений до вимог заводу-виробника.

Випробувальне устаткування, яке застосовується під час випробувань наведено у таблиці 1. Характеристики випробувального устаткування відповідають вимогам Правил ЄЕК ООН №101.

З метою забезпечення достовірності результатів випробувань, усе устаткування, яка має суттєвий вплив на результати випробувань повинно бути відкаліброване або повірене. Однак, якщо в процесі обробки результатів випробувань виникне необхідність провести розрахунки невизначеності вимірювань, то устаткування повинно бути відкаліброване, оскільки лише в цьому випадку може бути забезпечена простежуваність вимірювання до вихідних еталонів та адекватно оцінена невизначеність вимірювань.

Таблиця 1 – Випробувальне устаткування, яке використовується для визначення кількості рекуперованої енергії, під час електродинамічного гальмування транспортного засобу.

Назва випробувального устаткування	Призначення	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювання
Програмно-апаратний комплекс на базі Autoscope II (далі USB - осцилограф) та ПК типу Notebook	Реєстрація миттєвих значення параметра, що вимірюється	Частота дискретизації (2500 ÷ 50000) Гц	0,4 %
Перетворювач вимірювальний напруги (датчик ПИНТ-2)	Вимірювання струму та напруги	(0 ÷ 75) мВ; (0 ÷ 150) В; (0 ÷ 1000) В; (0 ÷ 1500) В;	Не більше $\pm 1\%$
Шунти 250 А/ 75 мВ, 500 А/ 75 мВ, 750 А/ 75 мВ, 1000 А/ 75 мВ	Вимірювання струму	(0 ÷ 250) А; (0 ÷ 500) А; (0 ÷ 750) А; (0 ÷ 1000) А;	Клас точності 0,5
Прилад для вимірювань параметрів гальмування "STV"	Вимірювання швидкості	(3,6 ÷ 100) км/год	$\pm 1\%$

Назва випробувального устаткування	Призначення	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювання
Прилад "шлях швидкість час" VBOX III, зав. № 030820, інв. № ЛВ-041	Вимірювання швидкості, прискорення, шляху, часу	Швидкість руху (0 ÷ 999,9) км/год, прискорення ± 2 g; шлях (0 ÷ 9999) м час (0 ÷ 9999) с, дискретність індикації 0,01	±0,05%
Педометр електроконтактний	Відмітчик подій	-	-
Термометр	Температура повітря	(0 ÷ 30) °С	± 1°С
Анемометр	Швидкість вітру	(0 ÷ 7,5) м/с	± 1 %
Примітка: у даній таблиці не враховано випробувальне устаткування, яке застосовується для перевірки стану транспортного засобу перед випробуваннями: вагових параметрів, тиску повітря в шинах і т.п.			

Методика випробувань. Вимірювання кількості електроенергії, яка рекуперується електродвигуном, $E_{те}$, здійснюється непрямим методом за результатами обчислення:

$$E_{те} = \Delta t_n \sum_{n=1}^n U_{тен} \cdot I_{тен} \quad (1)$$

де, $U_{тен}$ – миттєве значення напруги на виході з двигуна транспортного засобу, В;
 $I_{тен}$ – миттєве значення струму, повернутого (рекуперованого) в накопичувачі енергії, А;
 Δt_n – крок між двома вимірюваннями миттєвих значень струму та напруги, с;
 n – кількість точок вимірювання.

Вимірювання струму $I_{тен}$, здійснюється непрямим методом, шляхом вимірювання напруги на шунті, який встановлено в електричне коло транспортного засобу, за блок-схемою, наведеною на рисунку 1.



Рисунок 1 – Блок-схема вимірювання струму електричного кола

Рекуперований струм $I_{тен}$ (А), визначається за формулою:

$$I_{тен} = 100U_b \quad (2)$$

де U_b - напруга на виході перетворювача ПИНТ-2, В.

Вимірювання напруги $U_{тен}$ здійснюється непрямим методом вимірювання напруги на виході датчика ПИНТ-2, який встановлено в електричне коло, так, щоб вимірювалася напруга на двигуні транспортного засобу, за блок-схемою, наведеною на рисунку 2.

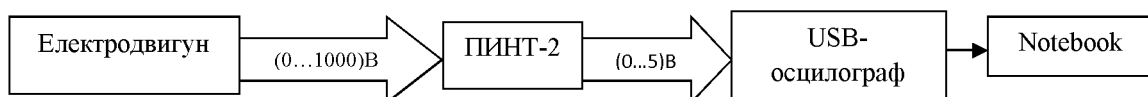


Рисунок 2 – Блок-схема вимірювання напруги електричного кола

Напряга в електричному колі $U_{тен}$, (В), визначається за формулою:

$$U_{тен} = 200U_a \quad (3)$$

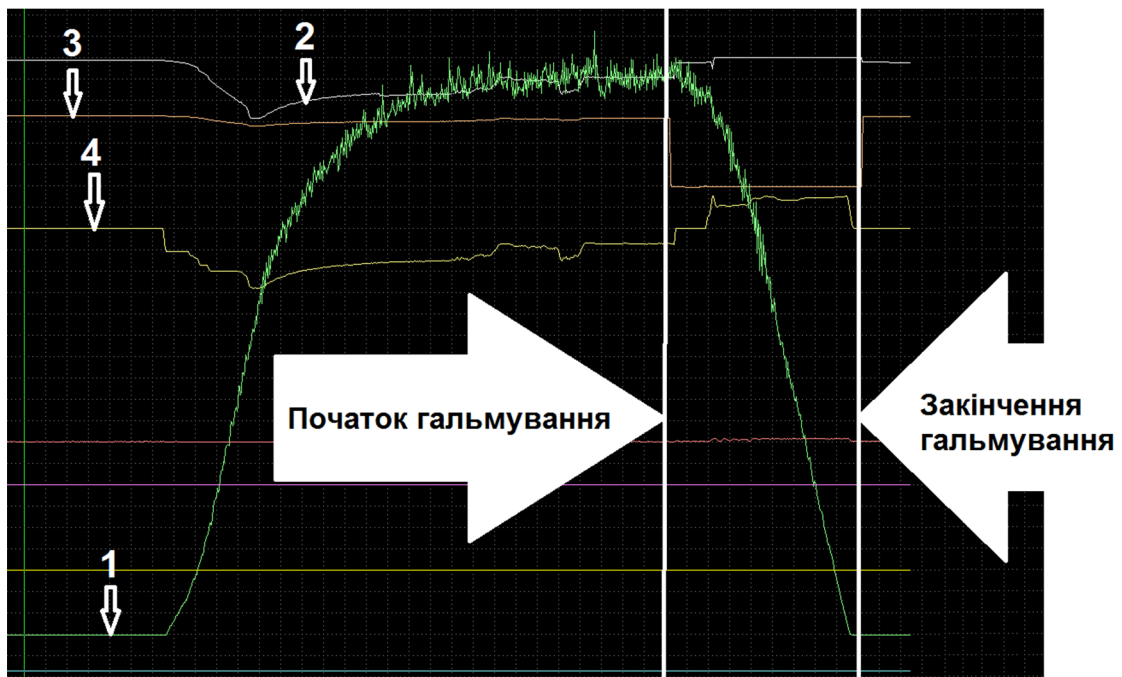
де U_a - напруга на виході перетворювача ПИНТ -2, В.

Для забезпечення достовірності результатів необхідно провести не менше трьох заїздів у обох напрямках. Якщо рух транспортного засобу у обох напрямках є неможливим, то тоді кількість заїздів збільшується до п'яти.

Обробка результатів випробувань проводиться застосовуючи програмні засоби USB-осцилографа, що дозволяє визначити:

- момент початку електродинамічного гальмування транспортного засобу;
- момент припинення рекуперації енергії за досягнення певної швидкості.

На рисунку 3 зображено приклад визначення початку та кінця процесу електродинамічного гальмування між двома точками.



Умовні позначення: 1 – швидкість, км/год; 2 – напруга, В; 3 – відмітник подій; 4 – струм, А.

Рисунок 3 – Приклад реєстрації струму, напруги та швидкості

Результатом вимірювань є значення кількості рекуперованої електричної енергії відповідно до залежності (1) із застосуванням програмних засобів USB-осцилографа.

За необхідності, визначаються стандартні відхилення, відповідно до ДСТУ ISO 2602 та/або обіцяється невизначеність вимірювання.

Висновки. В результаті проведеної роботи:

- здійснено підбір випробувального устаткування, для проведення випробувань, характеристики якого задовольняють вимоги нормативних документів стосовно визначення витрат енергії транспортних засобів;
- окреслено загальні умови проведення випробувань;
- створено загальну методику проведення робіт та обробки результатів випробувань з метою визначення енергетичних характеристик процесу електродинамічного гальмування

транспортного засобу, обладнаного електроприводом та системою рекуперації енергії;

Дана методика, після її валідації може бути застосована під час здійснення випробувань з метою визначення енергетичних характеристик транспортних засобів, обладнаних електродвигунами та системами рекуперації енергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сітовський О.П. Математичне моделювання процесу електричного гальмування макету транспортного засобу з гібридною силовою установкою / О.П. Сітовський, В.М. Дембіцький // Вісник СевНТУ. Вип. 135. – Севастополь: СевНТУ, 2012. С. 73 – 75.

2. Дембіцький В.М. Дослідження приводу гальмівної системи транспортного засобу з гібридною силовою установкою та рекуперацією енергії / В.М. Дембіцький // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 28–33.

3. Сітовський О.П. Обґрунтування та вибір критеріїв оцінки процесу електродинамічного гальмування під час руху гібридного транспортного засобу на затяжних спусках / О.П. Сітовський, В.М. Дембіцький // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 30 (1003). – С. 10–15.

4. Вильгельм А.С. Повышение энергетической эффективности рекуперативного торможения на железных дорогах постоянного тока: автореф. дисс. на соискание уч. степени кандидата технических наук: спец. 05.22.07 "Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация" / А.С. Вильгельм. - Омск, 2013. - 20 с.

5. Гулиа Н.В. Циклические испытания накопителя кинетической энергии большой мощности и энергоёмкости [Электронный ресурс] / Н.В. Гулиа, А.В. Кацай. – 2012. – Режим доступа: <http://n-t.ru/tp/ts/ci.htm>.

6. Саблін О.І. Проблеми та перспективи ефективного використання рекуперації електроенергії в системі електротранспорту / О.І. Саблін, В.Г. Кузнецов, В.В. Артемчук // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, 2013. – Том 26, № 2. - С. 126 – 130.

7. Guido Wager. Efficiency and performance testing of electric vehicles and the potential energy recovery of their electrical regenerative braking systems: PEC624 M.Sc. Renewable Energy Dissertation / Wager Guido. – Murdoch University, 2012. – 59 p.

8. Блохин А.Н. Результаты исследования электромотоцикла на шасси "ГАЗель" / А.Н. Блохин, А.М. Грошев, А.М. Козлова, А.Д. Ярмженский, М.С. Серопян // Электронный научно-технический журнал "Наука и образование", 2012. – № 12. - С. 75 – 106.

9. Единые предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, приводимых в движение только двигателем внутреннего сгорания либо приводимых в движение при помощи гибридного электропривода, в отношении измерения объема выбросов двуоксида углерода и расхода топлива и/или измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге, а также транспортных средств категорий М1 и N1, приводимых в движение только при помощи электропривода, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге: Правила ЕЭК ООН №101. - [Введены в действие 04.04.2005]. – Женева.: Европейская Экономическая комиссия Организации Объединенных наций, 2005. – 128 с.

10. Подавання результатів випробувань статичне. Оцінювання середнього значення. Довірчий інтервал (ISO 2602:1980, IDT): ДСТУ ISO 2602:2006. – [Чинний від 2007.10.01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 11 с. – (Національний стандарт України).

REFERENCES

1. Sitovsky O.P., Dembitskyj V.M. Mathematical modeling of electric braking layout hybrid vehicles // Visnyk SevNTU. No. 135. – Sevastopol: SevNTU, 2012. P. 73 – 75.

2. Dembitskyj V.M. Research about the brake system of a vehicle with hybrid propulsion and energy recovery // Visnyk NTU «KHPI». Series: Automotive and tractor, 2013. – No. 29 (1002). – P. 28–33.

3. Sitovsky O.P., Dembitskyj V.M. Justification of the choice of criteria and assess the electrodynamic braking when driving a hybrid vehicle on long descents // Visnyk NTU «KHPI». Series: Automotive and tractor, 2013. – No. 30 (1003). – P. 10–15.

4. Wilgelm A.S. Improving energy efficiency of regenerative braking on the railways DC: Author. diss. uch on competition. degree of candidate of technical sciences: special. 05.22.07 "Rolling stock of railways, draft of trains and electrification". - Omsk, 2013. – 20 p.

5. Gulia N.V., Katsai N.V. Cyclic testing of kinetic energy drive high power and energy [electronic resource]. - 2012. - Access mode: <http://n-t.ru/tp/ts/ci.htm>.

6. Sablin A.I., Kuznetsov V.G., Artemchuk V.V. Problems and prospects of efficient use of electricity in the recovery system electric // Optoelectronic Information and Energy Technologies, 2013. - Volume 26, No. 2. - P. 126 - 130.

7. Guido Wager. Efficiency and performance testing of electric vehicles and the potential energy recovery of their electrical regenerative braking systems: PEC624 M.Sc. Renewable Energy Dissertation / Wager Guido. – Murdoch University, 2012. – 59 p.

8. Blokhin A.N., Grosev A.M., Kozlov A.M., Yarmzhensky A.D., Serobyanyan M.S., Results of research on electric vehicle chassis "Gazelle" / Electronic Scientific and technical journal "Science and Education", 2012. – No. 12. - P. 75 - 106.

9. Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only, or powered by a hybrid electric power train with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption and electric range, and of categories M1 and N1 vehicles powered by an electric power train only with regard to the measurement of electric energy consumption and electric range: Regulation №101. - [Enacted 04.04.2005]. - Geneva.: Economic Commission for Europe of the United Nations, 2005. – 128 p.

10. Statistical interpretation of test results - Estimation of the mean - Confidence interval (ISO 2602:1980, IDT): DSTU ISO 2602:2006. – [Valid from 2007.10.01]. - Kyiv: State Committee of Ukraine, 2009. - 11 p. - (National Standard of Ukraine).

РЕФЕРАТ

Дембіцький В.М. Методика визначення енергетичних характеристик процесу електродинамічного гальмування під час дорожніх випробувань транспортних засобів, обладнаних електроприводом та системою рекуперації енергії / В.М. Дембіцький // Вісник НТУ. — К.: НТУ, 2014. — Вип. 30.

У статті запропоновано методику визначення енергетичних характеристик процесу електродинамічного гальмування під час дорожніх випробувань транспортних засобів, обладнаних електроприводом та системою рекуперації енергії.

Об'єктом дослідження є гальмівні властивості транспортного засобу, обладнаного системою електродинамічного гальмування та рекуперацією енергії.

Предметом дослідження є методи проведення випробувань з метою визначення кількості рекуперованої енергії під час руху транспортного засобу.

Головною проблемою під час проведення випробувань, експериментів та досліджень є той факт, що загальна методи проведення випробувань повинна коректуватися, залежно від різних чинників: випробувального устаткування, поставлених задач та запланованих цілей. З метою вирішення даної задачі проведено роботу по визначенню загальних умов випробувань, проведено підбір випробувального устаткування, а також розглянуто методику вимірювання кількості електроенергії, яка рекуперується електродвигуном під час електродинамічного гальмування транспортного засобу та порядок обробки результатів випробувань.

Дана методика, після її валідації може бути застосована під час здійснення випробувань з метою визначення енергетичних характеристик транспортних засобів, обладнаних електродвигунами та системами рекуперації енергії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕКУПЕРАЦІЯ, ВИПРОБУВАННЯ, ВИМІРЮВАННЯ, ВИПРОБУВАЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ, ЕНЕРГІЯ, КІЛЬКІСТЬ ЕНЕРГІЇ.

ABSTRACT

Dembitskyj V.M. Methodology of determination of the energetic characteristics of the process of electrical and dynamic braking during the road tests of the vehicles equipped with the electrical drive and the energy recuperation system. Kyiv. National Transport University. 2014. Vol. 30.

Methodology of determination of the energetic characteristics of the process of electrical and dynamic braking during the road tests of the vehicles equipped with the electrical drive and the energy recuperation system is proposed in the article.

The braking capacities of the vehicle equipped with the system of electrical and dynamic braking and energy recuperation are the object of the research.

The methods of carrying of the tests for the determination of the quantity of recuperated energy during the vehicle movement are the subject of the research.

The main problem during the tests, experiments and researches is the fact that the main methods of the tests should be corrected according to different factors: test equipment, set problems and planned aims. With the purpose to deal with this problem there was made a determination of the general test conditions, there was made a matching of test equipment, and there was investigated the methodology of measuring of the electrical power quantity which is recuperated by the engine during the electrical and dynamical braking of the vehicle and the order of the test results treatment.

The given methodology, after its validation, can be used during the tests for the determination of the energetic characteristics of the vehicles equipped with the electrical engines and the energy recuperation systems.

KEYWORDS: RECUPERATION, TEST, MEASURING, TEST EQUIPMENT, ENERGY, ENERGY QUANTITY

РЕФЕРАТ

Дембицкий В.Н. Методика определения энергетических характеристик процесса электродинамического торможения во время дорожных испытаний транспортных средств, оборудованных электроприводом и системой рекуперации энергии / В.Н. Дембицкий // Вестник НТУ . - К. : НТУ , 2014 . - Вып. 30.

В статье предлагается методика определения энергетических характеристик процесса электродинамического торможения во время дорожных испытаний транспортных средств, оборудованных электроприводом и системой рекуперации энергии.

Объектом исследования являются тормозные свойства транспортного средства, оборудованного системой электродинамического торможения и рекуперацией энергии.

Предметом исследования являются методы проведения испытаний, с целью определения количества рекуперированной энергии во время движения транспортного средства.

Главной проблемой при проведении испытаний, экспериментов и исследований является тот факт, что общие методы проведения испытаний должны корректироваться в зависимости от различных факторов: испытательного оборудования, поставленных заданий и запланированных целей. С целью решения данной задачи проведена работа по определению общих условий испытаний, проведен подбор испытательного оборудования, а также рассмотрены методика измерения количества электроэнергии, которая рекуперруется электродвигателем при электродинамическом торможении транспортного средства и порядок обработки результатов испытаний.

Данная методика, после ее валидации, может быть применена при испытаниях автомобилей с целью определения энергетических характеристик транспортных средств, оборудованных электродвигателями и системами рекуперации энергии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: РЕКУПЕРАЦИЯ, ИСПЫТАНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ, ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭНЕРГИЯ, КОЛИЧЕСТВО ЭНЕРГИИ .

АВТОР:

Дембіцький Валерій Миколайович, Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», завідувач лабораторії надійності і рухомого складу відділу міський електричний транспорт, e-mail: dvm2@meta.ua, тел. +380663035058, +380673611999, Україна, 45607, Волинська обл., Луцький р-н, с. Гірка Полонка, вул. Жовтнева, 1, кв.3.

AUTHOR:

Dembitskyj Valeryj M., State enterprise «Scientific, research, design and technology institute», Head of the Laboratory of reliability and rolling stock of the city electric transport, e-mail: dvm2@meta.ua, tel. +380663035058, +380673611999, Ukraine, 45607, Volyn region., Lutsk district, p. Gyrka Polonka str. Zhovtneva 1, sq. 3.

АВТОР:

Дембицкий В.Н. Государственное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт городского хозяйства», заведующий лабораторией надежности и подвижного состава отдела городской электрический транспорт, e-mail: dvm2@meta.ua, тел. +380663035058, +380673611999, Украина, 45607, Волинская обл., Луцкий р-н, с. Гирка Полонка, ул. Жовтнева, 1, кв.3.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Пустюльга С.І., доктор технічних наук, професор, Луцький національний технічний університет, декан машинобудівного факультету, Луцьк, Україна.

Матейчик В.П. доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, декан автомеханічного факультету, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Pustyulha S.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Lutsk national technical university, dean of the faculty of engineering, Lutsk, Ukraine.

Matejchuk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, dean of the faculty of engineering, Kyiv, Ukraine.