

УДК 629.341

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.98.0.86

СИНТЕЗ СИСТЕМИ НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТРАНСМІСІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА СПЕЦТЕХНІКИ

Серіков Г. С., Серікова І. О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Вирішено важливу науково-практичну задачу, що дозволяє підвищити якість випробування вузлів та агрегатів трансмісії транспортних засобів і спецтехніки на випробувальних стендах з балансирним навантаженням. Проведення експериментальних випробувань на спеціалізованих стендах дозволяє підтримувати високу стабільність факторів, що задаються і підтримуються точністю їх регулювання, можливостями поглиблених спостережень за виконавчими пристроями. Підвищена точність вимірювання та реєстрації параметрів автоматизованих вимірювань за рахунок використання мікропроцесорних систем з цифровою мережевою структурою передачі даних між керуючим модулем та периферійними агрегатами і вимірювальними модулями. Застосування запропонованого лабораторного експериментального обладнання із балансирним навантаженням дозволяє визначити та покращити конкурентні переваги енергоефективних тракторів з електротрансмісією.*

***Ключові слова:** трансмісія, балансирна машина, стендові випробування, система вимірювання навантажень, електродвигун, автоматизація вимірювань.*

Вступ

Розробка тягового привода транспортних засобів потребує натурних випробувань. Навантаження агрегатів здійснюється за допомогою випробувальних стендів. Випробування на стендах відрізняються від інших видів випробувань (полігонних, польових, експлуатаційних) високою стабільністю факторів, що задаються і підтримуються (умов навантаження, температури, вологості, запиленості та інших факторів, що впливають на функціонування конструкції), точністю їх регулювання, можливостями більш якісного контролю праці робітників, у тому числі й у важкодоступних зонах, підвищеною точністю вимірювання та реєстрації параметрів. На стендах може бути отримана інформація, яку не можуть дати інші види випробувань, наприклад, показники міцності деталей, індикаторна потужність та ін.

Аналіз публікацій

Впровадження трансмісій на основі нових типів тягового електроприводу дає безсумнівні переваги перед «класичним» у цій галузі двигуном внутрішнього згорання [1, 2]. Насамперед це стосується електротрансмісії на базі безколекторних двигунів нового покоління з гібридною магнітною системою [3].

Системи живлення та керування такими двигунами потребують ретельного опрацювання з подальшими натурними випробуваннями на стендах [4, 5].

Застосування стендових випробувань дозволяє суттєво покращити результати вимірювань, що отримуються в польових випробуваннях з вимушеним застосуванням допоміжних датчиків, наприклад, безконтактного датчика швидкості на основі ефекту Доплера [6].

Аналіз отриманих результатів можливо використовувати для синтезу систем управління електроприводом із застосуванням елементів штучного інтелекту та нечіткої логіки [7, 8].

Візуалізація результатів аналізу отриманих даних можлива за допомогою сучасних засобів відображення. Найбільше розповсюдження отримали пульти операторів із рідинно-кристалевим сенсорним дисплеєм під керуванням операційної системи високого рівня. Невід'ємною функцією в такому пульті є декілька цифрових інтерфейсів для отримання зовнішніх даних. Аналогічні властивості мають дисплеї сучасних тракторів [9]. Таким чином, візуалізація даних та керування зовнішніми пристроями можлива за допомогою як власного пульта випробувального стенда, так і за допомогою дисплею транспортного засобу.

Мета та постановка завдання

Об'єкт дослідження – енергетика електроприводу транспортних засобів та спецтехніки. Мета роботи – синтез автоматизованої системи балансирного навантаження з модулем вимірювань та аналізу отриманих даних для визначення основних характеристик тягового електроприводу транспортних засобів та спецтехніки.

Метод дослідження оснований на використанні системного підходу до проведення аналізу та синтезу системи навантаження трансмісії із застосуванням цифрової системи управління і вимірювання параметрів транспортних засобів та спецтехніки, на раціональному поєднанні теоретичних і експериментальних розробок та узагальненні наукових результатів. Предмет дослідження – фізичне моделювання та статистичний аналіз потоків потужності електротрансмісії транспортних засобів і спецтехніки.

Основні завдання дослідження:

- розглянути розвиток систем вимірювання навантаження трансмісії транспортних засобів та спецтехніки;
- визначити необхідний склад станда навантаження трансмісії транспортних засобів і спецтехніки;
- проаналізувати сучасні цифрові системи передачі інформації та управління;
- синтезувати систему управління стандом навантаження трансмісії транспортних засобів і спецтехніки;
- синтезувати систему обробки та візуалізації отриманої інформації.

Для проведення випробувань тягового приводу та трансмісії транспортних засобів і спецтехніки з потужністю до 400 кВт був розроблений та створений балансирний стенд з біговими барабанами (рис. 1).

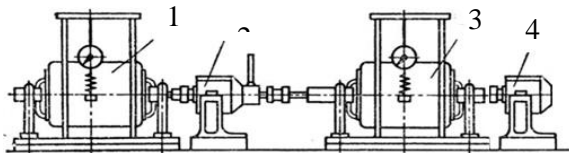


Рис. 1. Склад балансного станда: 1 – електродвигун; 2 – трансмісія; 3 – балансирне навантаження; 4 – випробувальний тяговий привод

Стенд використовується для отримання необхідних навантажувальних характеристик. Функціональна схема системи вимірювання включає в себе механічні агрегати приводу і навантаження та систему вимірювання і контролю режимів роботи силових модулів.

Привод станда здійснюється за допомогою двигуна постійного струму з незалежним збудженням потужністю 400 кВт (рис. 2). Управління обертами та обертальним моментом здійснюється за допомогою схеми живлення обмотки збудження, що регулює струм та має функції його стабілізації.



Рис. 2. Привод станда потужністю 400 кВт

Живлення електродвигуна привода станда здійснюється мережею постійної напруги, що створюється мотор-генератором в допоміжному приміщенні. Мотор – генераторна установка отримує живлення від трифазної промислової мережі. Її регулювання здійснюється струмом обмотки збудження генераторної частини установки.

Балансирне навантаження являє собою генератор, статор якого має здатність обертання (рис. 3).

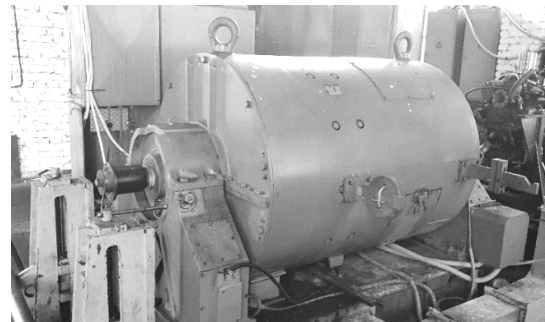


Рис. 3. Балансирне навантаження

До корпусу статора прикріпленій важіль, що взаємодіє з датчиком моменту тензорезистивного типу. Основою вимірювальної системи балансного станда з біговими барабанами є пульт управління з набором датчиків та драйверів живлення. Всі елементи системи з'єднані між собою цифровою контрольно-інформаційною шиною UART (рис. 4).



Рис. 4. Контрольно-вимірювальна система

Функціональна взаємодія елементів контролю вимірювальної частини зображена на рис. 5.

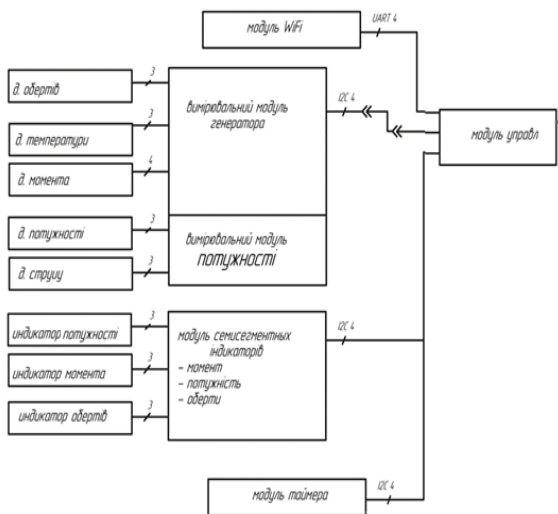


Рис. 5. Структура контрольно-вимірювальної системи

Пульт управління складається з розрахункового модуля на базі мікроконтролера, модулів індикації та модуля бездротового зв'язку Wi-Fi. Взаємодію між модулями показано на рис. 6.

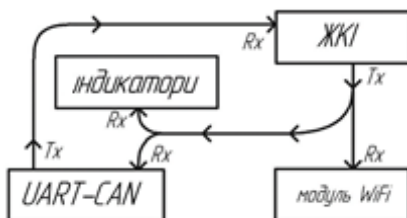


Рис. 6. Структура цифрової інформаційної мережі взаємодії між модулями

Використання бездротового зв'язку Wi-Fi для передачі отриманих значень до ноутбука або іншого мобільного пристрою дозволяє позбутись дротів та рознімів, що суттєво підвищує надійність роботи системи вимірювань в цілому. Крім того, досягається економічна ефективність за рахунок використання програмного комплексу, що розроблений для аналізу, відображення в графічному і табличному вигляді та збереження даних. Головне вікно програми зображено на рис. 7.

У ході процесу вимірювань отримуються: частота обертання, момент навантаження та супутні параметри стану вузлів стенда навантаження, такі як температура електродвигуна та температура навантаження.

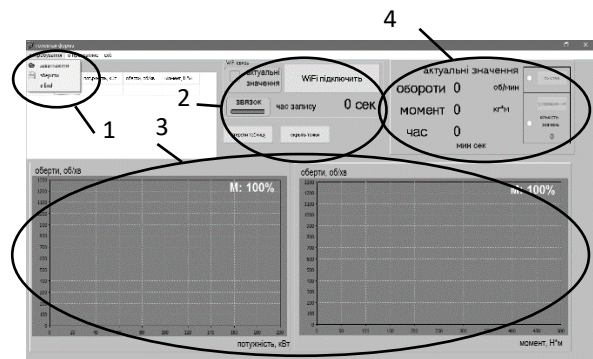


Рис. 7. Головне вікно програми обробки даних

Для підвищення точності вимірювань можливо проводити усереднення значень. Ці режими встановлюються в зоні 4. За вимірюваними значеннями частоти обертання та моменту навантаження розраховується потужність за такою формулою:

$$W = \frac{M \cdot w}{9550},$$

де M – момент, Н·м; w – частота обертання, хв⁻¹.

За отриманими значеннями програма буде необхідні графіки 3. Отримані дані можна зберігати для подальшого аналізу та архівації. За необхідності збережені дані можливо завантажити для візуалізації значень за допомогою графіків 1. Контроль за станом бездротового зв'язку здійснюється за допомогою індикатора в зоні 2. Підключення ноутбука до бездротового каналу зв'язку Wi-Fi здійснюється автоматично відповідною клавішею в зоні 2. В якості нагадування пароль та SSID вказано в інформаційному вікні.

Канал бездротового зв'язку Wi-Fi має криптографічний захист, тому при першому підключенні системи Windows необхідно вказати пароль доступу для SSID READLER (рис. 8).



Рис. 8. Інформаційне вікно системи вимірювання

У процесі роботи для зв'язку з машиністом використовується модуль «сигнали оператора» (рис. 9). Органи керування дозволяють активізувати відповідний звуковий випромінювач і світлові індикатори, розташовані на операторській стіні безпосередньо біля кабіни трактора.

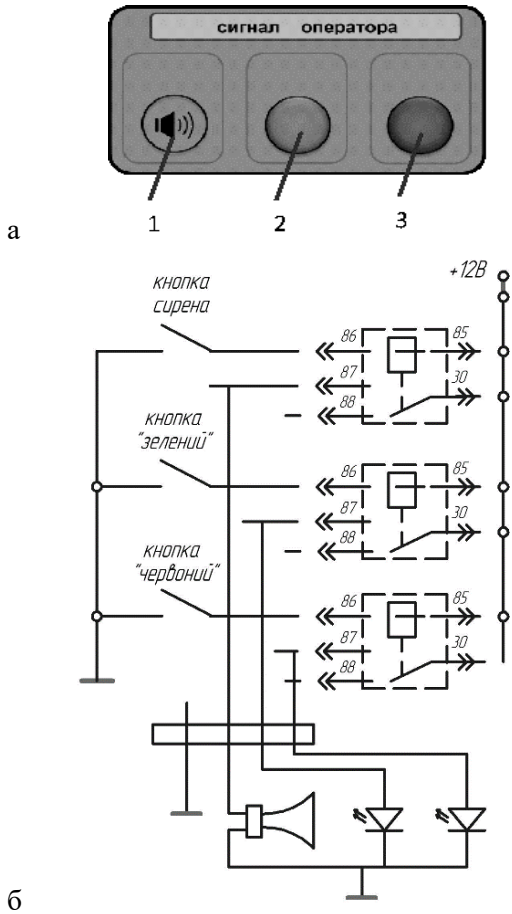


Рис. 9. Система зв'язку з машиністом: а – панель оператора; б – функціональна схема; 1 – звуковий сигнал «сирена» (не фіксується); 2 – кнопка червоного сигналу (фіксується); 3 – кнопка зеленого сигналу (фіксується)

Для підвищення безпеки та зручності проведення експериментів застосовуються допоміжні індикатори і таймер (рис. 10).

Програмне забезпечення таймера має всі необхідні функції контролю часу проведення експериментів: пуск відліку, пауза, продовження відліку, скидання в нуль. В якості модуля індикації було застосовано інтегральний семисегментний світлодіодний індикатор з вбудованим цифровим інтерфейсом послідовного зв'язку. Встановлення режимів роботи індикатора здійснюється кнопками з підтягуванням до нуля для підвищення завадостійкості.

Головний мікроконтролер фіксує момент натискання та генерує відповідні сигнали керування світлодіодний індикатором.

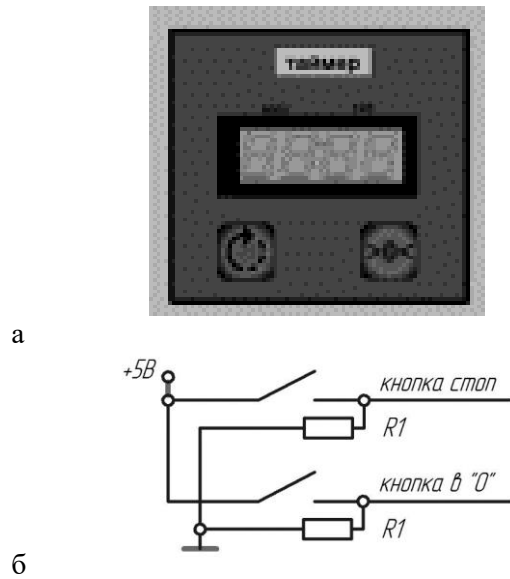


Рис. 10. Модуль таймера виконання експериментів: а – панель управління; б – підключення кнопок управління

Для встановлення рівня навантаження балансною генераторною установкою застосовується модуль регулювання струму обмотки збудження (рис. 11, 1). У процесі проведення експериментів струм встановлюється згідно з показаннями індикатора моменту (рис. 11, 2).

Загальний вигляд панелі управління системою навантаження, що була розроблена, показано на рис. 11.



Рис. 11. Розташування елементів керування та індикації на пульті управління

Практичні результати проведення експериментів навантаження

У ході проведення експериментів навантаження було отримано навантажувальні характеристики двигунів різноманітних типів та потужностей (рис. 12).

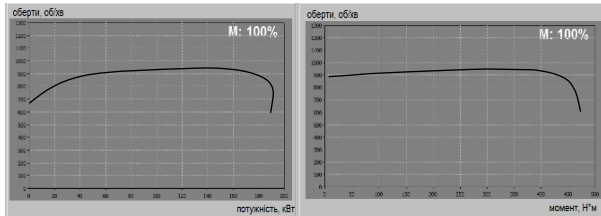


Рис. 12. Навантажувальна характеристика дизельного двигуна

Загальний вигляд результатів роботи системи показаний на рис. 13.

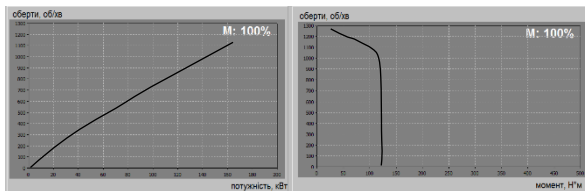


Рис. 13. Навантажувальна характеристика вентиляльного електродвигуна

Застосування розробленого стенда дозволяє проводити тестування та відбракування бракованих деталей елементів трансмісії. Приклад дефектного карданного вала, що виявлений в ході експериментів, зображено на рис. 14.

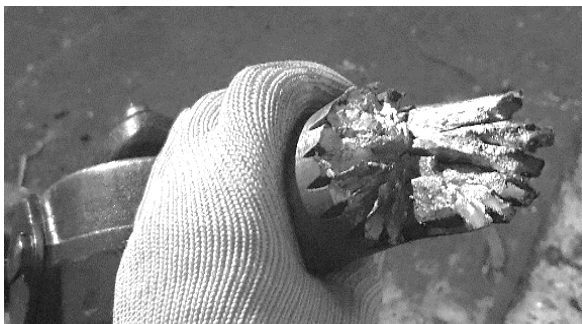


Рис. 14. Відбракований карданний вал трактора

Висновки

У результаті виконання роботи вирішено важливу науково-практичну задачу, що дозволяє підвищити енергоефективність трансмісії транспортних засобів і спецтехніки за рахунок використання фізичного моделювання.

У ході виконання науково-дослідної роботи була синтезована система управління стендом навантаження, система вимірювання та обробки отриманої інформації, що дозволяє проводити натурні випробування шляхом навантаження агрегатів й отримувати реальні характеристики.

Розроблено алгоритм обрання параметрів системи тягових електродвигунів та запропоновано схемну реалізацію системи керування.

Випробування на стенді показали ефективність фізичного моделювання та зручність встановлення необхідних параметрів навантаження. За характеристиками вони відрізняються від інших видів випробувань високою стабільністю факторів, що задаються і підтримуються, точністю їх регулювання, можливостями поглиблених спостережень за робітниками, у тому числі й у важкодоступних зонах, підвищеною точністю вимірювання та реєстрації параметрів.

Література

1. Інтернет-джерело: Електротрактори: курс на декарбонізацію агробізнесу <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/22165-elektrotraktory-kurs-na-dekarbonizatsiiu-ahrobiznesu.html>.
2. Серіков Г.С., Серікова І.О. Визначення основних характеристик тягового електроприводу для електротракторів різних тягових класів. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*: зб. наук. пр. Харків, 2022. Вип. 96. С. 151–157.
3. Murray A. Sensorless Motor Control Simplifies Washer Drives. *Power Electronics Technology*. 2006. June. P.14-21.
4. Шаповалов Ю.К., Мельник В. І., Антощенко Р. В., Антощенко В. М., Кісь В. М., Циганенко М. О., Качанов В. В., Галич І. В. Результати експериментальних досліджень тягової динаміки трактора ХТЗ-242К. *Інженерія природокористування*. 2018. №1(9). С. 6 – 15.
5. Артёмов М. П., Лебедев А. Т., Шуляк М. Л., Кулаков Ю. М. Оцінка тягово-динамічних властивостей на основі прискорення трактора. *Інженерія природокористування*. 2015. № 1 (3). С. 84 - 89.
6. Серіков Г. С., Серікова І. О. Застосування датчика Доплера в якості вимірника швидкості трактора. *Вісник ХНАДУ*. № 90, 2020.
7. Бажинов А.В., Бажинова Т.А. Нечеткий робастный метод для оценивания параметров гибридной силовой установки. Материалы XXVIII научно-технической конференции с международным участием «Транспорт, экология – устойчивое развитие» ЕКО. Варна, Болгария, 19-21 май, 2022. С. 12-17.

8. Bazhinov, A., Bazhinova, T., Podrigalo, M., Kholodov, M., et al., “ Dynamics Hybrid Vehicle Driven with Electric Motor Driving Wheels from Batteries”, SAE Technical Paper 2022-01-0667, 2022, doi: 10.4271/2022-01-0667. (Scopus).
9. Серіков Г.С., Серікова І.О., Смирнов О.П., Борисенко Г.О. Інформаційні контрольно-діагностичні системи сучасних транспортних засобів. *Автомобіль і Електроніка. Сучасні технології: електронне наукове фахове видання (друкована версія)*. 2020. № 17. С. 62-68.

References

1. Internet-dzherelo: Elektrotraktory: kurs na dekarbonizatsiyu ahrobiznesu <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/22165-elektrotraktory-kurs-na-dekarbonizatsiyu-ahrobiznesu.html>.
2. Syerikov, H. S. Syerikova I. O. Vyznachennya osnovnykh kharakterystyk tyahovoho elektroprivodu dlya elektrotraktoriv riznykh tyahovykh klasiv . *Visnyk Kharkivsk'oho natsional'noho avtomobil'no-dorozhn'oho universytetu: zb. nauk. pr.* Kharkiv, 2022. Vyp. 96. S. 151–157.
3. Murray A. Sensorless Motor Control Simplifies Washer Drives. *Power Electronics Technology*. June. 2006. P.14-21.
4. Shapovalov YU. K., Mel'nyk V. I., Antoshchenkov R. V., Antoshchenkov V. M., Kis' V. M., Tsyhanenko M. O., Kachanov V. V., Halych I. V. Rezul'taty ekspe-rymental'nykh doslidzhen' tyahovoyi dynamiky traktora KHTZ-242K. *Inzheneriya pryrodokory-stuvannya*. 2018. №1(9), s. 6 – 15.
5. Art'omov M. P., Lebedyev A. T., Shulyak M. L., Kulakov YU. M. Otsinka tyahovo-dynamichnykh vla-styvostey na osnovi pryskorenniya traktora. *Inzheneriya pryrodokorystuvannya*. 2015. №. 1 (3). S. 84 - 89.
6. Syerikov H. S., Syerikova I. O. Zastosuvannya datchyka Doplera v yakosti vymir-nyka shvydkosti traktora. *Visnyk KHNADU*. № 90, 2020.
7. Bazhinov A.V., Bazhinova T.A. Nechetkiy roblastnyy metod dlya otsenivaniya parametrov gibridnoy silovoy ustanovki. *Materialy XXVIII Nauchno-tekhnicheska konferentsiya s mezhdunarodno uchastiye «Transport, yekologiya – ustoychivo razvitiye» YEKO Varna, Bolgariya*, 19-21 may 2022. S. 12-17.
8. Bazhinov, A., Bazhinova, T., Podrigalo, M., Kholodov, M., et al., “ Dynamics Hybrid Vehicle Driven with Electric Motor Driving Wheels from Batteries”, SAE Technical Paper 2022-01-0667, 2022, doi: 10.4271/2022-01-0667. (Scopus).
9. Syerikov H.S., Syerikova I.O., Smyrnov O.P., Borysenko H.O. Informatsiyi kontrol'no-diahnostychni systemy suchasnykh transportnykh zasobiv . *Avtomobil' i Elektronika. Suchasni tekhnolohiyi: elektronne naukowe fakhove vydan-nya (drukovana versiya)*. 2020. № 17. Stor. 62-68.

Серіков Георгій Сергійович, к.т.н., доц. каф. технології машинобудування та ремонту машин, +380679478687, e-mail: georgy301212@gmail.com
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Серікова Ірина Олексіївна, к.т.н., доц. каф. метрології та БЖД, +380671085237, e-mail: sirina301212@gmail.com
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Synthesis of the loading system for the conduct of in-kind transmission tests of vehicles and special equipment

Abstract. Problem. The paper solves an important scientific and practical problem, which allows to improve the quality of testing units and aggregates of the transmission of vehicles and special equipment on test stands with a balancing load. Conducting experimental tests on specialized stands allows you to maintain high stability of the factors that are set and maintained, the accuracy of their regulation, and the possibility of in-depth observations of executive devices. The accuracy of measurement and registration of parameters of automated measurements is increased due to the use of microprocessor systems with a digital network structure of data transmission between the control module and peripheral units and measurement modules. The application of the proposed laboratory experimental equipment to the balancing load allows to determine and improve the competitive advantages of energy-efficient tractors with electric transmission. **Methodology.** The methods of theoretical basic electrical engineering have been developed in the production and calculation of circuits using circuits. Also classical methods of statistics of signals from ADC were used. **Results.** The technique of processing information from the current, voltage and temperature sensors using a mathematical apparatus without using harmonic analysis is presented. The hardware implementation of the proposed method allows the use of simplified computing tools. **Originality.** Complex analysis of the data obtained from the current, voltage and temperature sensors is carried out. During the analysis, the range of velocities with stable operation of the measurement system was determined. **Practical value.** As a result of the work, an important scientific and practical problem was solved, which allows to increase the energy efficiency of tractors. To maintain the maximum energy efficiency of the traction electric drive of the tractor in the modes of various loads, its control system must include means of displaying the current state of the energy parameters of the power plant. The electrical equipment must include an on-board computer, which helps the driver to make the optimal tasks of work, according to preliminary calculations, as well as display the information needed on the route, the state of the vehicle, means of communication. communication of the car with the external

environment, with the navigation system, etc. The on-board computer provides information to the touch screen with programmable virtual controls, and communicates with the driver's mobile systems.

Key words: *transmission, balancing machine, bench tests, load measurement system, electric motor, automation of measurements*

Sierikov Georgy Sergeevich, Ph.D., associate professor. Technologies of mechanical engineering and machine repair, +380679478687,

e-mail: georgy301212@gmail.com

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

Sierikova Iryna Alekseevna, Ph.D., associate professor. Metrology and Life Safety, +3806 71085237, e-mail: sirina301212@gmail.com

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.
