

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423-83

А. Е. ДРУБЕЦКИЙ^{1*}

^{1*}Каф. «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 55 38, эл. почта drubetskiy@mail.ru, ORCID 0000-0001-5691-0925

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО И ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТОКА

Цель. В работе необходимо: 1) ознакомить читателя с современной классификацией средств измерения и диагностики, с проблемами автоматизации измерений основных параметров при выполнении программы квалификационных испытаний тяговых электродвигателей; 2) дать рекомендации по повышению точности измерений, снижению трудоёмкости работ для проведения измерений, снижению требований к квалификации обслуживающего персонала; 3) представить практическую реализацию измерительного комплекса, построенного на основании рекомендаций, изложенных в статье. **Методика.** Приведена классификация средств измерения и диагностики. Рассмотрен перечень оборудования, которое может использоваться в измерительных комплексах, а также варианты стороннего измерительного комплекса и измерительного комплекса, использующего систему управления стендом. Предложены их функциональные схемы. Сопоставлены достоинства и недостатки данных схем для составления рекомендаций по областям их оптимального применения. **Результаты.** Проанализировав функциональные схемы измерительных комплексов, было установлено, что использование микроконтроллера системы управления в качестве измерительного комплекса целесообразно в случае, если измерения носят, в основном, функцию контроля над процессом испытаний. Использование стороннего измерительного комплекса более целесообразно в тех случаях, когда требуется: исключить зависимость от системы управления стендом, обеспечить высокую мобильность, а также снизить требования к квалификации обслуживающего персонала. **Научная новизна.** Автором произведен краткий обзор средств измерения. Разработаны функциональные схемы измерительных комплексов, использующих систему управления стендом и стороннего измерительного комплекса, предложены критерии для оценки их оптимального применения. **Практическая значимость.** На основе предложенной функциональной схемы был собран измерительный комплекс на базе аппаратного и программного обеспечения компании National Instruments. В качестве первичных преобразователей для измерений токов и напряжений были использованы датчики фирмы LEM. Благодаря компактным размерам шасси, его удалось объединить в одном корпусе с блоком питания для датчиков. Таким образом, удалось уменьшить габариты всего комплекса, упростить и ускорить его подготовку к измерениям.

Ключевые слова: квалификационные испытания; тяговые электродвигатели; стенд взаимной нагрузки; измерительный комплекс; функциональная схема

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Введение

При автоматизации приемо-сдаточных испытаний тяговых электродвигателей возникает необходимость в автоматизированном сборе и обработке данных, получаемых в процессе испытаний [2, 7].

При проведении приемо-сдаточных испытаний необходимо производить измерения [3,11]:

- тока якоря ТЭД;
- тока в обмотке возбуждения ТЭД;
- напряжения на ТЭД;
- сопротивления обмоток;
- электрической прочности межвитковой и корпусной изоляции;
- сопротивления изоляции относительно корпуса и между обмотками;
- температуры обмоток ТЭД;
- частоты вращения ТЭД;
- биения коллектора;
- вибрации.

Задача измерения может быть решена двумя способами:

1. Оборудовать стенд сторонним измерительным комплексом.

2. Использовать измерительные каналы системы управления стендом и передавать данные на ЭВМ для последующей их обработки и хранения.

В данной работе будут проанализированы оба варианта, рассмотрены их достоинства и недостатки, а также будут сделаны выводы о возможных областях их применения.

Цель

Целью данной работы является ознакомление с возможными вариантами построения измерительных комплексов, рекомендации по выбору измерительного комплекса применительно к испытаниям ТЭД, а также обзор существующего измерительного комплекса.

Методика

Классификация средств измерения и диагностики приведена на рис. 1 [1].

Ниже представлено оборудование измерительного комплекса, принадлежащее к рассмотренным выше классам средств измерения и диагностики.

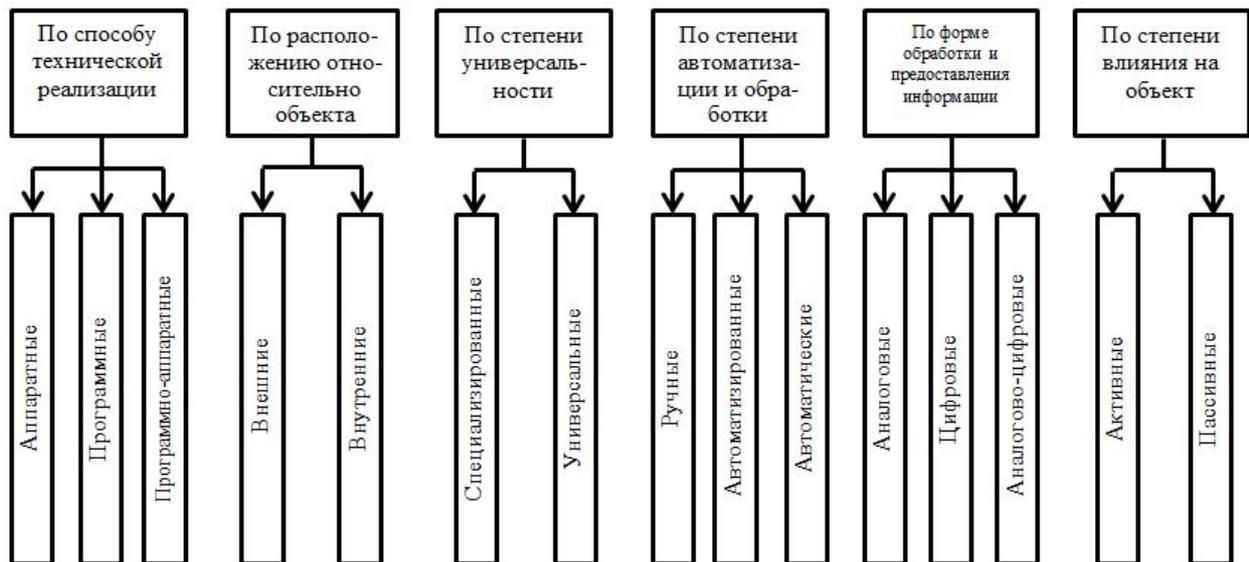


Рис. 1. Классификация средств измерения и диагностики

Fig. 1. Classification of measuring instruments and diagnostics

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

К аппаратным средствам относятся:

- датчики тока и напряжения;
- датчик частоты вращения;
- датчики температуры;
- датчики вибрации;
- видеокамеры для оценки коммутации;
- средства визуализации.

К программным средствам относятся:

- специализированные программы обработки данных;
- универсальные программы обработки данных.

К программно-аппаратным средствам относятся:

- микроконтроллеры системы управления стендом взаимной нагрузки;
- аналогово-цифровые преобразователи;
- ЭВМ для обработки отображения и хранения данных и результатов испытаний.

К внешним средствам относятся:

- датчики тока, напряжения;
- датчики вибрации.

К вмонтированным средствам относятся:

- датчики температуры;
- видеокамеры для оценки коммутации.

К специализированным средствам относятся:

- специализированные программы обработки данных;
- датчики тока и напряжения;

– датчик частоты вращения;

- датчики температуры;
- датчики вибрации.

К универсальным средствам относятся:

- универсальные программы обработки данных;

– микроконтроллеры системы управления стендом взаимной нагрузки;

– ЭВМ для обработки отображения и хранения данных и результатов испытаний;

- видеокамеры для оценки коммутации;
- аналогово-цифровые преобразователи;

– средства визуализации.

К аналоговым средствам относятся:

- аналоговые датчики.

К цифровым средствам относятся:

– ЭВМ для обработки отображения и хранения данных и результатов испытаний;

– средства визуализации.

К аналогово-цифровым средствам относятся:

- цифровые датчики;
- видеокамеры для оценки коммутации;
- микроконтроллеры системы управления стендом взаимной нагрузки.

По степени влияния на объект все вышеперечисленные чувствительные элементы являются пассивными.

На рис. 2 представлена функциональная схема стороннего измерительного комплекса.

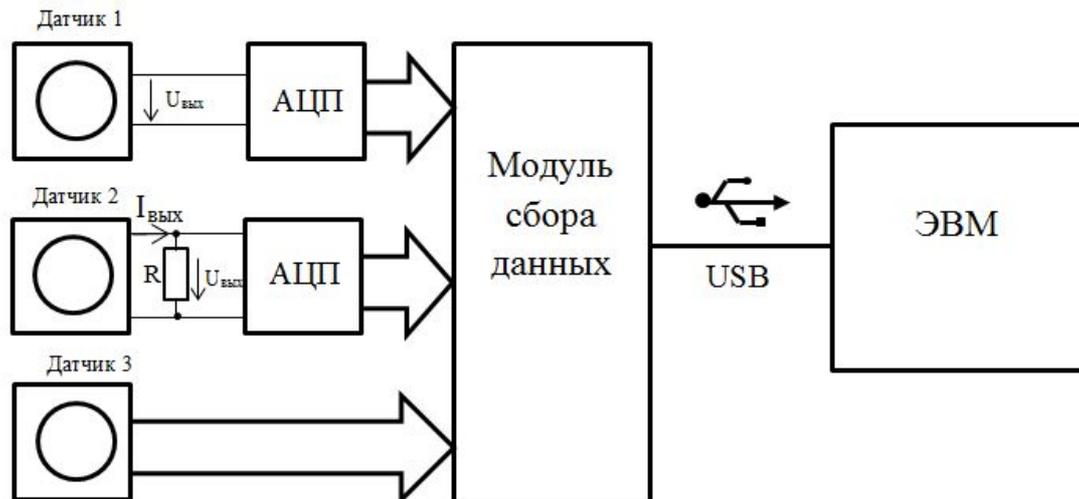


Рис. 2. Функциональная схема стороннего измерительного комплекса

Fig. 2. Functional diagram of a third-party measuring complex

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Под датчиками № 1, 2 и 3 условно обозначены датчики с выходными сигналами в виде напряжения, тока и цифрового кода. Как видно из рис. 2, все АЦП передают сигнал на модуль сбора данных, который в свою очередь по каналу USB передает данные на ЭВМ.

Данное решение обладает рядом достоинств, главными из которых являются возможность наращивания количества датчиков в пределах доступных измерительных каналов без изменений в аппаратной конфигурации и возможность подбора оптимальной частоты дискретизации для нужд измерений [5]. Для обработки и сохранения данных на ЭВМ могут применяться как специализированные программы, написанные для конкретной задачи, так и универсальные, позволяющие пользователям самим выбрать необходимые действия обработки данных.

На рис. 3 представлена функциональная схема измерительного комплекса, использующего систему управления стендом.

Данное решение позволяет использовать уже установленные датчики системы управления для измерения таких параметров, как ток якоря и ток обмотки возбуждения ТЭД [12–14]. Для измерения других параметров необходимо использовать дополнительные датчики, подключенные к микроконтроллеру системы управления. На рис. 3 указано дополнительное АЦП, которое может быть подключено к микроконтроллеру, если для измерений требуется

более высокая частота дискретизации или большая разрядность АЦП. Стоит отметить, что для работы такого измерительного комплекса требуется более сложное программное обеспечение системы управления и более сложный, а значит, и более дорогой микроконтроллер. Программное обеспечение для обработки данных из каналов системы управления, как правило, требует специальных, соответственно, для любых изменений в настройках программы глубоких знаний в программировании.

Результаты

Ниже представлен измерительный комплекс, собранный на базе аппаратного и программного обеспечения компании National Instruments.

Аппаратная платформа позволяет выполнять измерения широкого диапазона физических величин, требующих различных частот дискретизации для их правильного визуального отображения и адекватной обработки. При этом аппаратная платформа имеет модульную структуру, позволяющую при наличии одного шасси устанавливать на него модули для измерения большинства типов сигналов [9, 10]. Следует отметить, что аппаратная платформа полностью удовлетворяет нуждам приемо-сдаточных испытаний ТЭД по части измерения различных физических величин.

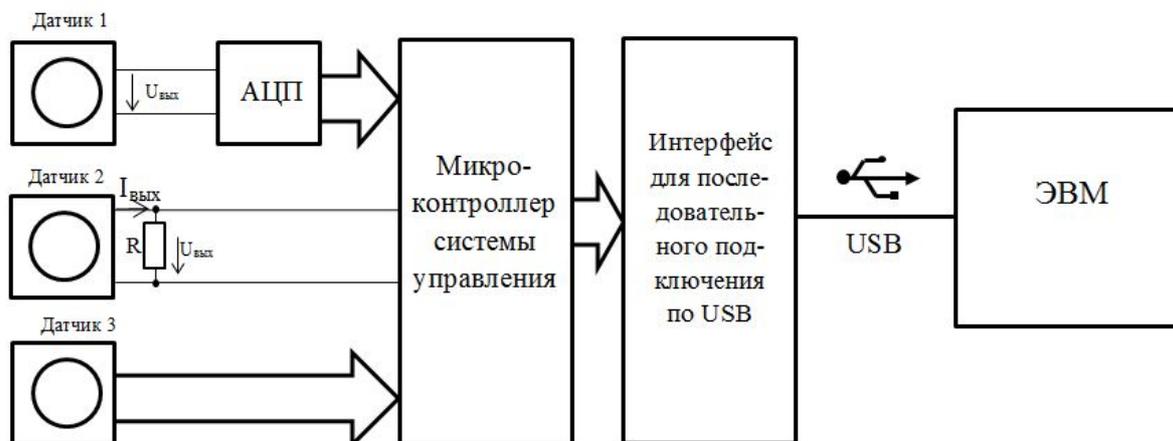


Рис. 3. Функциональная схема измерительного комплекса, использующего систему управления стендом

Fig. 3. Functional diagram of measuring complex using a stand management system

Программная платформа представлена средой графического программирования LabVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench), которая поддерживает как процедурное программирование, так и объектно-ориентированное [6]. Следует отметить, что данная среда, прежде всего, ориентирована на работу с потоками данных и имеет для этого ряд базовых функций. Кроме этого, она содержит обширные библиотеки функций, разработанных под узкоспециальные задачи (обработка звуков, видео и т.п.). LabVIEW позволяет инженерам, обладающим базовыми знаниями в программировании, легко создавать и отлаживать программы практически любой сложности. Вместе с LabVIEW пользователям предоставляется программа SignalExpress, она не требует навыков программирования и сразу дает возможность пользователю приступить к записи и обработке данных. Так как SignalExpress является программой, а не средой разработки, следовательно, она менее универсальна, чем LabVIEW, но это частично компенсируется возможностью интеграции приложений, созданных с помощью LabVIEW (так называемых виртуальных приборов) в SignalExpress. Однако для нужд приемо-сдаточных испытаний в полной мере хватает возможностей SignalExpress.

Для построения комплекса использовались:

- 4-х слотовое USB-шасси NI CompactDAQ [9];
- 32-х канальное АЦП для измерения напряжения NI 9205 [8];
- 4-х канальное АЦП для измерения тока NI 9227 [8];
- датчики LEM [4];
- встроенный регулируемый блок питания для датчиков;
- соединительные провода;
- ноутбук с установленными на него программами LabVIEW и SignalExpress.

Благодаря компактным размерам шасси, его удалось объединить в одном корпусе с блоком питания для датчиков. Таким образом, удалось уменьшить габариты всего комплекса, упростить и ускорить его подготовку к измерениям.

Научная новизна и практическая значимость

В работе проведен обзор средств измерения и диагностики. Представлены и проанализированы возможные варианты построения измерительного комплекса. В качестве примера представлен существующий измерительный комплекс.

Выводы

Сравнивая вышеуказанные решения, можно заключить, что применение стороннего измерительного комплекса имеет следующие преимущества:

- независимость от системы управления и независимость системы управления от измерительного комплекса;
- большую универсальность, благодаря модульной конструкции современных измерительных систем;
- высокую мобильность, возможность использовать не только непосредственно на стенде;
- относительно невысокие требования к подготовке обслуживающего персонала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис. – 2-е изд. – Москва : Вильямс, 2008. – 992 с.
2. Афанасов, А. М. Системы взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока : монография / А. М. Афанасов. – Днепропетровск : Маковецкий, 2012. – 248 с.
3. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 34 с.
4. Датчики LEM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lem.com/ru/ru>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
5. Кузнецов, В. Г. Експериментальне дослідження «умовних втрат» електроенергії в тяговій мережі / В. Г. Кузнецов, Т. І. Кирилюк, Ю. М. Сергатиї // Вост.-Европ.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- журн. передових технологій. – 2011. – № 4/8. – С. 29–33.
6. LabVIEW [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labview.ru/products/27/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
 7. Лоза, П. О. Покращення енергетичних властивостей стенда для випробувань колекторних тягових двигунів локомотивів / П. О. Лоза // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 22. – С. 69–71.
 8. Модули cDAQ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labview.ru/products/195/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
 9. NI CompactDAQ-законченые USB-или Ethernet-системы сбора данных, предназначенные как для измерений сигналов, так и для управления технологическими процессами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labview.ru/products/193/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
 10. NI CompactRIO – недорогая реконфигурируемая платформа управления и сбора данных для приложений, требующих вы-сокой производительности и надежности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labview.ru/products/185/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
 11. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів : ЦТ-0204. – Київ : САМ, 2012. – 286 с.
 12. Castañeda, C. E. Direct current motor control based on high order neural networks using stochastic estimation / C. E. Castañeda, P. Esquivel // The 2010 Intern. Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) (18.07–23.07.2010). – Barcelona, Spain, 2010. – P. 1515–1520.
 13. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux / C. E. Castaneda, A. G. Loukianov, E. N. Sanchez, C.-T. Bernardino // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2012. – Vol. 59. – Iss. 2. – P. 1194–1207. doi: 10.1109/TIE.2011.2161246.
 14. Hayek, El. J. Experiences with a traction drive laboratory model / El. J. Hayek, T. J. Sobczyk, G. Skarpetowski // Electromotion. – 2010. – Vol. 17. – Iss. 1. – P. 30–36.

А. Ю. ДРУБЕЦЬКИЙ^{1*}

^{1*}Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 55 38, ел. пошта drubeskiy@mail.ru, ORCID 0000-0001-5691-0925

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРИЙМАЛЬНО-ЗДАВАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО ТА ПУЛЬСУЮЧОГО СТРУМУ

Мета. У роботі необхідно: 1) ознайомити читача з сучасною класифікацією засобів вимірювання та діагностики, з проблемами автоматизації вимірювань основних параметрів при виконанні програми кваліфікаційних випробувань тягових електродвигунів; 2) дати рекомендації щодо підвищення точності вимірювань, зниження трудомісткості робіт для виконання вимірювань, зниження вимог до кваліфікації обслуговуючого персоналу; 3) надати практичну реалізацію вимірювального комплексу, побудованого на підставі практичних рекомендацій, викладених у статті. **Методика.** Наведено класифікацію засобів вимірювання та діагностики. Розглянуто перелік обладнання, яке може використовуватися у вимірювальних комплексах, а також варіанти стороннього вимірювального комплексу та вимірювального комплексу, що використовує систему управління стендом. Запропоновано їх функціональні схеми. Зіставлено переваги й недоліки цих схем для складання рекомендацій по областях їх оптимального застосування. **Результати.** Проаналізувавши функціональні схеми вимірювальних комплексів, було встановлено, що використання мікроконтролера системи управління як вимірювального комплексу доцільно в разі, якщо вимірювання мають, в основному, функцію контролю над процесом випробувань. Використання стороннього вимірювального комплексу доцільніше

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

в тих випадках, коли потрібно: виключити залежність від системи управління стендом, забезпечити високу мобільність, а також знизити вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу. **Наукова новизна.** Автор виконав стислий огляд засобів вимірювання. Розроблено функціональні схеми вимірювальних комплексів, що використовують систему управління стендом та стороннього вимірювального комплексу, запропоновані критерії для оцінки їх оптимального застосування. **Практична значимість.** На основі запропонованої функціональної схеми був зібраний вимірювальний комплекс на базі апаратного і програмного забезпечення компанії National Instruments. Як первинні перетворювачі для вимірювань струмів і напруг були використані датчики фірми LEM. Завдяки компактним розмірам шасі, його вдалося об'єднати в одному корпусі з блоком живлення для датчиків. Таким чином, вдалося зменшити габарити всього комплексу, спростити та прискорити його підготовку до вимірювань.

Ключові слова: кваліфікаційні випробування; тягові електродвигуни; стенд взаємного навантаження; вимірювальний комплекс; функціональна схема

A. YU. DRUBETSKYI^{1*}

^{1*}Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail drubetskiy@mail.ru, ORCID 0000-0001-5691-0925

AUTOMATED MEASURING COMPLEX FOR ACCEPTANCE TESTING OF DC AND UNULATED-CURRENT TRACTION MOTORS

Purpose. In the paper it is necessary: 1) to familiarize the reader with the modern classification of measurement and diagnostics, familiarize with problems of automating the measurement of basic parameters during program execution of qualification tests of traction motors; 2) to make recommendations to improve the measurement accuracy, reduce labor intensity of work for carrying out measurements, and reduce the requirements for the qualification of the staff; 3) to provide practical implementation of measurement system, built on the basis of the practical recommendations contained in the article. **Methodology.** The work presents the classification of measurement and diagnostic tools. The author considered a list of equipment that can be used in measurement systems, as well as third-party options for measuring complex and measuring complex using stand management system. Their functional schemes were proposed. The author compared the advantages and disadvantages of these schemes to make recommendations on areas of their optimal use. **Findings.** Having analyzed the functional scheme of measuring systems, it was found that the use of the control system microcontroller as a measuring complex is expedient if the measurements have largely a test process control function. The use of a third-party measuring complex is more appropriate in cases when it is required: to eliminate dependence on the stand management system, to provide high mobility and reduce the requirements for the qualification of the staff. **Originality.** The work presents a brief overview of the measurement means. The author developed the functional schemes of measuring systems using stand management system and third-party measuring complex, proposed the criteria for evaluating their optimal use. **Practical value.** Based on the proposed functional diagram, the measuring system on National Instruments hardware and software basis was set up. The sensors by LEM Company were used as primary transducers for the measurement of currents and voltages. Thanks to chassis compact size, it was united in one body with the power supply for sensors. Thus, it was possible to reduce the size of the entire complex, simplify and speed up its preparations for the measurements.

Keywords: qualification tests of traction motors; loading-back stand; measuring system; functional diagram

REFERENCES

1. Ayficher E.S., Dzhervis B.U. *Tsifrovaya obrabotka signalov: prakticheskiy podkhod* [Digital signal processing: a practical approach]. Moscow, Vilyams Publ., 2008. 992p.
2. Afanasov A.M. *Sistemy vzaimnogo nagruzheniya tyagovykh elektricheskikh mashin postoyannogo i pulsiruyushchego toka* [System of mutual loading of traction electric machines of direct and pulsating current]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2012. 248p.
3. *GOST 2582-81. Mashiny elektricheskoye vrashchayushchiesya tyagovyye. Obshchiye tekhnicheskoye usloviya.* [State Standard 2582-81. Rotating electrical machines for rail and road vehicles. General specifications]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1981. 34 p.
4. *Datchiki LEM* (Sensors LEM). Available at: <http://www.lem.com/ru/ru> (Accessed 8 November 2016).

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

5. Kuznetsov V.H., Kyryliuk T.I., Serhatyi Yu.M. Eksperymentalne doslidzhennia «umovnykh vtrat» elektroenerhii v tiahovii merezhi [Experimental study of «conditional losses» in railway traction lines]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2011, issue 4/8, pp. 29-33.
6. LabVIEW. Available at: <http://www.labview.ru/products/27/n> (Accessed 8 November 2016).
7. Loza P.O. Pokrashchennia enerhetychnykh vlastyivostei stenda dlia vyprobuvan kolekturnykh tiahovykh dvyhuniv lokomotyviv [The improved power properties of the test bench for the collector of traction engine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 22, pp. 69-71.
8. *Moduli cDAQ* (Modules). Available at: <http://www.labview.ru/products/195/> (Accessed 8 November 2016).
9. NI CompactDAQ-zakonchennyie USB-ili Ethernet-sistemy sbora dannykh, prednaznachennyie kak dlia izmereniy signalov, tak i dlia upravleniya tekhnologicheskimi protsessami (NI CompactDAQ – finished USB-or Ethernet-data collection systems used for the measurements of the signals and process control). Available at: <http://www.labview.ru/products/193/> (Accessed 8 November 2016).
10. NI CompactRIO – nedorogaya rekonfiguriruyemaya platforma upravleniya i sbora dannykh dlia prilozheniy, trebuyushchikh vysokoy proizvoditelnosti i nadezhnosti (NI CompactRIO – inexpensive reconfigurable platform of control and data collection for applications that require high performance and reliability). Available at: <http://www.labview.ru/products/185/> (Accessed 8 November 2016).
11. *Pravyla remontu elektrychnykh mashyn elektrovoziv i elektropoizdiv. TsT-0204* [Rules repair of electric machines of electric locomotives and electric trains. TsT-0204]. Kyiv, SAM Publ., 2012. 286 p.
12. Castaneda C.E., Esquivel P. Direct current motor control based on high order neural networks using stochastic estimation – Neural Networks (IJCNN). The 2010 Intern. Joint Conference on Neural Networks (IJCNNI) (18.07-23.07.2010). Barcelona, Spain, 2010, pp. 1515-1520.
13. Castaneda C.E., Loukianov A.G., Sanchez E.N., Bernardino C.-T. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2012, vol. 59, issue 2, pp. 1194-1207. doi: 10.1109/TIE.2011.2161246.
14. Hayek El.J., Sobczyk T.J., Skarpetowski G. Experiences with a traction drive laboratory model. *Electromotion*, 2010, vol. 17, issue 1, pp. 30-36.

Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. Г. К. Гетьманом (Україна); д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцом (Україна)

Поступила в редколлегию: 12.09.2016

Принята к печати: 05.12.2016