



УДК 621.3.072

СТЕНД ДЛЯ ПОСЛЕРЕМОНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

О.В. Владимиров¹, И.В. Ившин¹, М.Ф. Низамиев¹, А.Н. Цветков¹, И.К. Усманов²,
Р.Р. Гибадуллин¹

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

²ООО «ТаграС-ЭнергоСервис», г. Альметьевск, Россия

Резюме: В статье рассмотрены вопросы объективной оценки технического состояния асинхронных двигателей напряжением до 1000 В. Предложен стенд для послеремонтных испытаний. Испытательный стенд позволяет проводить испытания асинхронных двигателей, формировать объективное заключение о техническом состоянии и качестве проведенного ремонта в автоматическом режиме.

Ключевые слова: оценки технического состояния, испытательный стенд, асинхронные двигатели, программное обеспечение.

Благодарности: Работа, по результатам которой написана статья, выполнена в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по договору № 23/2015 от 30.09.2015 г., заключенному между ООО «ТаграС-ЭнергоСервис» и ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

STAND FOR AFTER REPAIR TESTS OF ASYNCHRONOUS MOTORS WITH VOLTAGE UP TO 1000 V

O.V. Vladimirov¹, I.V. Ivshin¹, M.F. Nizamiev¹, A.N. Tsvetkov¹, I.K. Usmanov²,
R.R. Gibadullin¹

¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

²ООО «Tagras-Energoservis», Almeteyevsk, Russia

Abstract: This article deals with the issues of an objective assessment of the technical condition of asynchronous motors with voltage up to 1000 V. A stand is proposed for post-repair tests. Test stand allows you to conduct induction motor tests to form an objective conclusion about the technical condition and quality of the repair carried out automatically.

Keywords: technical condition assessment, test bench, asynchronous motors, software.

Acknowledgments: The work, which resulted in an article, was performed as part of research and development work under Contract No. 23/2015 of September 30, 2015, concluded between ООО Tagras-Energoservis and Kazan State Power Engineering University.

For citation: Vladimirov O.V., Ivshin I.V., Nizamiev M.F., Tsvetkov A.N., Usmanov I.K., Gibadullin R.R. Stand for after repair tests of asynchronous motors with voltage up to 1000 V. Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS. 2019; 21(3-4):52-58. (In Russ). doi:10.30724/1998-9903-2019-21-3-4-52-58.

В настоящее время существует проблема оценки технического состояния асинхронных двигателей напряжением до 1000 В, отправляемых в ремонт и возвращаемых из капитального ремонта с целью планирования объемов ремонтных работ.

Существующие на сегодняшний момент стенды для послеремонтных испытаний двигателей до 1000 В обладают рядом существенных недостатков (высокая стоимость, ограниченная функциональность и неудовлетворение требований заказчика). Применяемые программы послеремонтной приемки двигателей, с «ручными» измерениями параметров отличаются невысокой степенью достоверности, отсутствием автоматизации и необходимостью дополнительного контроля за измерениями и правильностью заполнения протоколов испытаний.

Таким образом, целесообразно, использовать автоматизированный стенд, позволяющий определять техническое состояние асинхронных двигателей после капитального ремонта, с возможностью формирования заключения о качестве проведенного ремонта в автоматизированном режиме, исключая ошибки персонала. Проведенный анализ существующих методов испытаний асинхронных электродвигателей и требования нормативных документов [1–7] показал необходимость разработки автоматизированного стенда и программы испытаний для оценки качества выполненного капитального ремонта.

В рамках сотрудничества Казанского государственного энергетического университета и ООО «ТаграС-ЭнергоСервис» был разработан и внедрен в производственный процесс стенд для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей напряжением до 1000 В, осуществляющий комплекс испытаний, направленных на выявление дефектных узлов электродвигателей, поступающих в ремонт и прошедших капитальный ремонт, в автоматическом режиме.

Испытательный стенд состоит из следующих узлов (рис. 1):

- аппаратно-программный комплекс, включающий в себя персональный компьютер 1 и печатающее устройство 2;
- главный щит 3, включающий в себя контрольно-измерительные приборы;
- система силового питания, включающая в себя разъем 4 для подключения электродвигателей различных габаритов и обеспечения безопасности персонала, испытуемый электродвигатель 5 и испытательный стол 6;
- система датчиков.

Составные части испытательного стенда располагаются в отдельном защищенном помещении. Испытательный стол 6 располагается в зоне испытания электродвигателей. Исследуемый объект (электродвигатель) 5 крепится на испытательном столе. На электродвигатель устанавливается система датчиков. В верхней части стойки расположен главный щит 3.

Все электрические блоки соединяются друг с другом и с исполнительными элементами силовыми линиями и линиями передачи информации. Электродвигатель подключается к испытательному стенду через разъем 4, установленный на стене для обеспечения безопасности при подключении и отключении объекта испытания.

Перед проведением испытаний исследуемый электродвигатель 5 устанавливается на испытательном столе 6 и соединяется линией силового питания с главной стойкой через разъем 4. Кроме этого, на корпусе электродвигателя закрепляются датчики вибрации, датчики температуры и датчик частоты вращения вала.

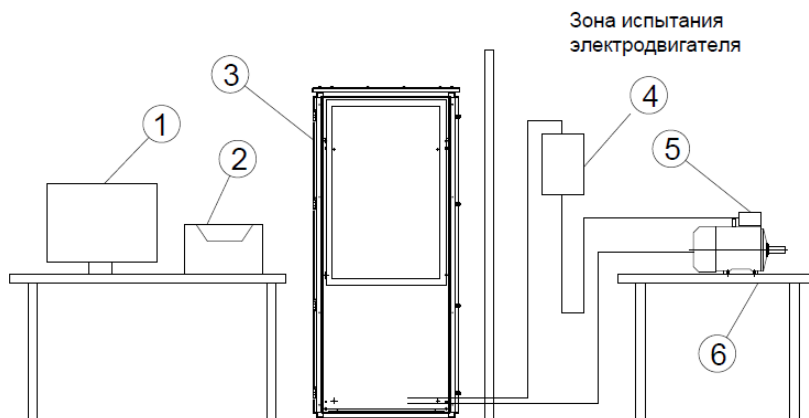


Рис. 1. Состав испытательного стенда: 1 – персональный компьютер; 2 – печатающее устройство; 3 – главный щит; 4 –разъем; 5 – электродвигатель с установленными датчиками; 6 – испытательный стол

Основные технические характеристики испытательного стенда, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики испытательного стенда

Наименование характеристики	Значение
Напряжение питания, В	380
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений СКЗ виброскорости, измеряемой датчиками ИВД-3, %	±10
Класс точности измерительных трансформаторов тока ТТИ	0,5S
Основная приведенная погрешность измерений напряжения, %	0,5
Основная приведенная погрешность измерений токов, %	0,25
Основная приведенная погрешность измерений температур, %	0,25
Пределы допускаемой погрешности измерений оборотов двигателя, об/мин	±1
Пределы допускаемой погрешности измерений сопротивления изоляции, %	±3
Пределы допускаемой погрешности измерений в режиме проверки электрической прочности изоляции, %	±3
Уровень шума не более, дБл	43
Время непрерывной работы не более, час	10
Масса испытательного стола с аппаратурой, кг	100
Наработка на отказ не менее, ч	1000

Испытательный стенд включает в себя следующие контрольно-измерительные приборы:

- мегаомметр М4122U-RS;
- микроомметр марки М4104RS;
- измеритель параметров электрической сети МЭ110-220.3М;
- модуль ввода аналоговых сигналов МВ110-8А;
- модуль вывода дискретных сигналов МУ110-16Р;
- датчик вибрации ИВД-3Ц-3 К8М0;
- тахометр ТХ01;
- термопреобразователь сопротивления ДТС 014.

Мегаомметр М4122U-RS используется для измерения сопротивления изоляции электрических цепей двигателя повышенным напряжением. Кроме этого, с помощью

мегаомметра вычисляются значения коэффициента диэлектрической абсорбции и индекса поляризации для выявления качества изоляции и ее увлажненности, что позволяет исключить из программы испытания диагностику состояния обмоток повышенным напряжением и сократить длительность испытания.

Микроомметр M4104RS применяется для измерения сопротивления обмоток двигателей постоянному току, не находящихся под напряжением, с целью определения правильности изготовления и соединения. С помощью данного прибора определяется величина и разброс сопротивления обмоток электродвигателя по фазам.

Измеритель параметров электрической сети (МЭ110-220.3М) используется для измерения напряжения, силы тока, частоты, мощности, фазового угла и коэффициента мощности, потребляемых испытываемым электродвигателем, преобразования измеренных параметров в цифровой код и передачи результатов измерений в программный комплекс для дальнейшей обработки с целью определения технического состояния электрической силовой части.

Модуль ввода аналоговых сигналов MB110-8A предназначен для преобразования в цифровой код результатов измерения температуры окружающего воздуха и основных элементов испытываемого электродвигателя, и частоты вращения вала электродвигателя, полученной от тахометра. Прибор представляет собой универсальный 16-ти разрядный аналогово-цифровой преобразователь, работает в сети RS-485 и способен обмениваться информацией со всеми элементами аппаратно-программного комплекса.

Модуль вывода дискретных сигналов ОВЕН МУ110-16Р применяется для управления исполнительными механизмами и подачи дискретных команд управления на измерительные приборы. Прибор управляется от программного комплекса стенда.

Датчик вибрации ИВД-3Ц-3 К8М0 обеспечивает измерение СКЗ виброскорости по трем взаимоперпендикулярным направлениям.

Датчик работает следующим образом:

- преобразует сигнал чувствительного элемента в напряжение и ток, пропорциональные виброускорению;
- производит низкочастотную и высокочастотную фильтрацию аналогового сигнала;
- выполняет аналого-цифровое преобразование с частотой дискретизации 25000 Гц;
- осуществляет интегрирование ускорения и расчет СКЗ виброскорости;
- оцифровывает полученные данные и преобразует их в вид, предназначенный для передачи в интерфейс RS-485 для дальнейшей обработки программным комплексом.

Тахометр ТХ01 осуществляет согласование датчика частоты вращения вала исследуемого электродвигателя и модуля ввода аналоговых сигналов MB110 для дальнейшей оцифровки измеренной величины.

Термопреобразователь сопротивления ДТС 014 используется для непрерывного измерения температуры электрического двигателя. Датчик преобразует изменение температуры в изменение электрического сопротивления постоянному току. Датчик имеет платиновый чувствительный элемент типа Pt100 и компенсацию сопротивления соединительных проводов.

Внешний вид испытательного стенда показан на рис. 2.

Система управления стендом построена на базе персонального компьютера с предустановленным программным обеспечением, необходимым для реализации уникального алгоритма управления.

Стенд работает следующим образом. Напряжение сети подается на главный щит, откуда по командам системы управления подается на исследуемый электродвигатель по каналу питания. По этому же каналу путем перекоммутации осуществляется измерение основных параметров обмотки электродвигателя. Система управления получает от

испытываемого двигателя частоту вращения вала, величину вибрации переднего и заднего подшипников, температуру переднего и заднего подшипников и обмотки.

Система управления стендом построена на программной реализации алгоритма управления. Алгоритм заложен в коде программы и позволяет запускать отдельные части программы испытания по команде оператора.

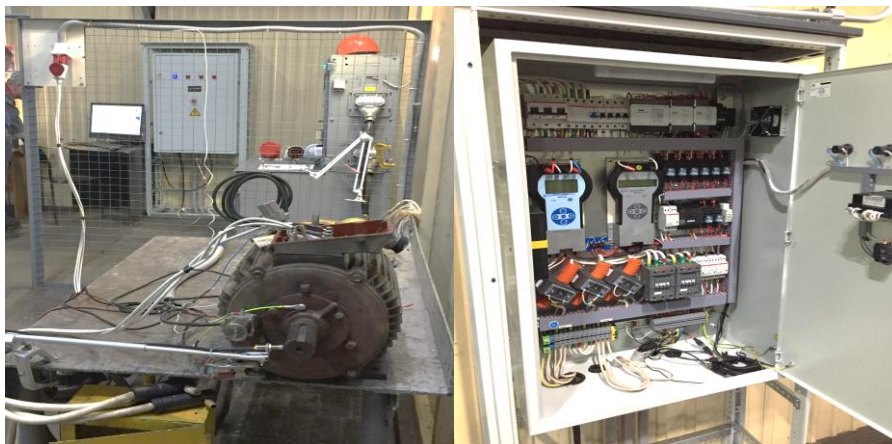


Рис. 2. Внешний вид испытательного стенда

Программное обеспечение создано в среде объектно-ориентированного программирования *VisualBasic* и представляет собой автономно функционирующий модуль с применением стандартных библиотек. Программное обеспечение имеет широкие возможности настройки процесса испытания, задания режимов работы, вычисления дополнительных величин на основе полученных данных.

Полученные данные преобразуются в вид, используемый для дальнейшей обработки, индикации и архивации. В программе реализованы решения по визуализации полученных и вычисленных данных, которые помогают оператору в кратчайшие сроки определить причину проявившихся дефектов, отображаемых в виде величин, выходящих за допустимые пределы.

В программе реализован модуль обработки ошибок, помогающий оператору оперативно отлаживать и настраивать работу системы. Модуль выдает код и расшифровку возникшей ошибки, а также рекомендации по ее устранению. Это, в свою очередь, сокращает время простоев оборудования и общую длительность испытания.

Программа работает следующим образом. Изначально производится инициализация всех требуемых процедур и устройств связи. После запуска программа осуществляет постоянный контроль портов связи и принимает поступившие в них данные. Основной частью программы является модуль обмена данными с приборами, осуществляющий прием данных и рассылку команд исполнительным устройствам.

Программа обладает мощным графическим интерфейсом, позволяющим визуализировать процесс испытания и отображать результаты в удобном для восприятия виде. Полученные данные хранятся в файле, имеющем информацию о дате и времени проведения испытания и основные данные объекта испытания. На основе полученных данных формируется протокол, содержащий результаты испытаний и заключение о состоянии объекта испытаний.

На рис. 3 показан внешний интерфейс программы во время испытания асинхронного двигателя.

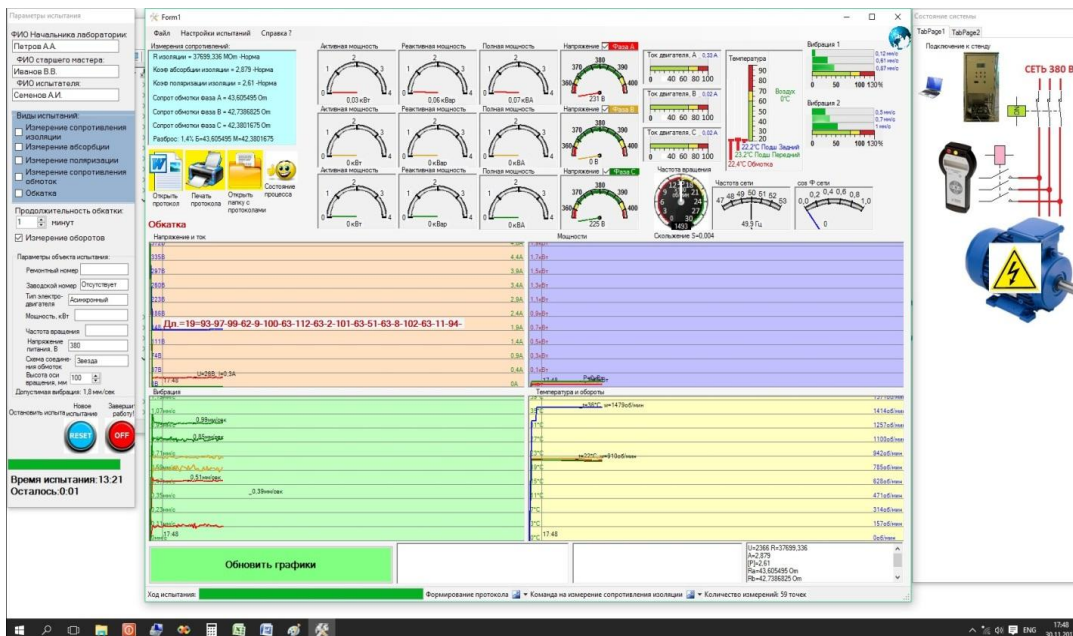


Рис. 3. Работа программы при испытании

Результатом работы программы является формирование протокола испытаний, заключения о состоянии асинхронного двигателя и вывод на печать или сохранение его в архиве протоколов.

Пример протокола испытаний двигателя с ремонтным номером AST135 мощностью 15 кВт показан на рис. 4.

Протокол испытания

дата и время: 13.12.2017 17:10:08

Параметры двигателя:
 Ремонтный номер: AST135
 Серийный номер: Отсутствует
 Тип двигателя: Асинхронный
 Мощность: 15 кВт
 Частота вращения: 1500 об/мин
 Напряжение: 380
 Длительность испытания: 33:42 мин:сек
 Длительность обкатки: 30 минут

1. Измерение сопротивления изоляции, МОм.
 Прибор: M4122U-RS №4873

Согласно РД	Фактически	Заключение
≥ 1,0 Мом	4144,961	Соотв.

2. Измерение коэффициента абсорбции.
 Прибор: M4122U-RS №4873

Согласно РД	Фактически	Заключение
≥ 1,3	2,111	Соотв.

3. Измерение коэффициента поляризации.
 Прибор: M4122U-RS №4873

Согласно РД	Фактически	Заключение
≥ 1,0	----	Не измерено

4. Сопротивление обмоток постоянному току, Ом.
 Прибор: M4104-RS №1369RS

Фаза А	Фаза В	Фаза С	Допустимый разброс	Фактический разброс	Заключение
43,375	43,557	43,095	≥2%	0,42	Соотв.

5. Обкатка электродвигателя.

Режим испытания	Ток, А	Напряжение, В	Температура статора С°	Заключение
х/х	0,31	216	22,1	Соотв.

6. Вибрация электродвигателя, мм/сек.
 Прибор: Датчики вибрации ИВД-3, зав. № 544947, 544948

Точки замеров	Передний	Задний
Y - вертикальный, мм/сек	0,49	0,28
X - горизонтальный, мм/сек	0,37	0,37
Z - осевая, мм/сек	0,84	0,68
Температура подшип. С°	23	22

Предельная вибрация 1,8 мм/сек
 Заключение Удов.летвор.

Заключение по результатам испытаний
 Общее заключение Электродвигатель годен
 Испытания проводит: Семенов А.И.
 Проверил ст. мастер Иванов В.В.
 Начальник лаборатории Петров А.А.

Рис. 4. Протокол испытания двигателя с ремонтным номером AST135 мощностью 15 кВт

Выводы

Созданный испытательный стенд позволяет проводить автоматизированные послеремонтные испытания асинхронных двигателей напряжением до 1000 В с выявлением соответствия параметров двигателя номинальным значениям и формировать протоколы испытаний и заключения о состоянии объекта с выводом на печать или сохранением его в архиве протоколов.

Литература

1. Шарипов Р.Р. Стенд для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей до 1000 В // Материалы XXXVII международной научно-практической конференции Actual scientific research 2018. 2018. С. 741–742.
2. Приходько В.М. Выявление методов послеремонтных испытаний судовых электрических машин / В.М. Приходько, В.Ю. Лучкин, И.В. Приходько // Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2017. С. 383–391.
3. Харламов В.В. Методика определения мощности и математическое моделирование физических процессов при испытании асинхронных тяговых двигателей методом взаимной нагрузки / В.В. Харламов, Д.И. Попов, А.В. Литвинов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 5 (51). С. 42–48.
4. Ремезовский В.М. Метод контроля параметров электрического двигателя на основе анализа пусковых токов / В.М. Ремезовский, А.Б. Власов, В.А. Мухалёв // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2015. № 1. С. 143–148.
5. Кочин А.Е. Система для испытания электрических машин по методу взаимной нагрузки / А.Е. Кочин, С.А. Васильченко // Транспорт: наука, образование, производство. 2017. С. 168–171.
6. Шашков И.В. Стенд для испытания асинхронного двигателя в автоколебательном режиме / И.В. Шашков, Ю.А. Рудченко // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2016. № 2 (65). С. 86–93.
7. Basak D. Fault diagnosis and condition monitoring of electrical machines / D. Basak. Industrial Technology. 2006. ICIT 2006. IEEE International Conference on. 2006. 3061. 3066 p.
8. Кузьменко Н.В. Разработка измерительного стенда для улучшения качества испытаний асинхронных двигателей / Н.В. Кузьменко, В.В. Куликов, А.А. Демин // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2017. Т.1 99–100.
9. Авилов В.Д. Модернизированный стенд для испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки / В.Д. Авилов, Д.И. Попов, А.В. Литвинов // Материалы IX Международной научно-технической конференции «Повышение эффективности эксплуатации коллекторных электромеханических преобразователей энергии». 2013. С. 137–141.
10. Харламов В.В. Универсальный энергоэффективный стенд для нагрузочных испытаний тяговых асинхронных двигателей и двигателей постоянного тока / В.В. Харламов, Д.И. Попов, А.В. Литвинов // Известия Транссиба. 2016. № 3 (27). С. 58–66.

Авторы публикации

Владимиров Олег Вячеславович – канд. техн. наук, доцент, кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Ившин Игорь Владимирович – д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Низамиев Марат Фирденатович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Цветков Алексей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Усманов Ильнур Кабирович – заместитель главного инженера – начальник производственно-технического отдела ООО «ТаграС-ЭнергоСервис».

Гибадуллин Рамил Рифатович – канд. техн. наук, доцент, кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. Sharipov R.R. Stand for post-repair testing of asynchronous motors up to 1000 V // Proceedings of XXXVII International Scientific and Practical Conference Actual scientific research 2018. 2018. P. 741–742.
 2. Prikhodko V.M. Identification of methods for post-repair testing of ship electrical machines / V.M. Prikhodko, V.Yu. Luchkin, I.V. Prikhodko // Collection of scientific works of the faculty of the State University of Maritime and River Fleet named after admiral SO Makarova. 2017. P. 383–391.
 3. Kharlamov V.V. Method of determining the power and mathematical modeling of physical processes in the testing of asynchronous traction motors by the method of mutual load / V.V. Kharlamov, D.I. Popov, A.V. Litvinov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway Academy. 2016. № 5 (51). P. 42–48.
 4. Remezovsky V.M. The method of monitoring the parameters of an electric motor based on the analysis of starting currents / V.M. Remezovsky, A.B. Vlasov, V.A. Mukhalev // Bulletin of the Murmansk State Technical University. 2015. № 1 P. 143–148.
 5. Kochi A.E. System for testing electric machines by the method of mutual load / A.E. Cochin, S.A. Vasilchenko // Transport: science, education, production. 2017. P. 168–171.
 6. Shashkov I.V. Stand for testing an asynchronous motor in self-oscillatory mode / I.V. Shashkov, Yu.A. Rudchenko // Bulletin of the Gomel State Technical University. BY. Dry. 2016. № 2 (65). P. 86–93.
 7. Basak D. Fault diagnosis and industrial machines / D. Basak. Industrial Technology. 2006. ICIT 2006. IEEE International Conference on. 2006. 3061 3066 p.
 8. Kuzmenko N.V. Development of a test bench for improving the quality of testing induction motors / N.V. Kuzmenko, V.V. Kulikov, A.A. Demin // Modern technologies and scientific and technical progress. 2017. Vol.1 P. 99–100.
 9. Avilov V.D. Modernized stand for testing asynchronous motors by the method of mutual load / V.D. Avilov, D.I. Popov, A.V. Litvinov // Proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference "Improving the efficiency of operation of collector electromechanical energy converters." 2013. P. 137–141.
- Kharlamov V.V. Universal energy-efficient stand for load testing of traction asynchronous motors and DC motors / V.V. Kharlamov, D.I. Popov, A.V. Litvinov // Transsiba JOurnal. 2016. № 3 (27). P. 58–66.

Authors of the publication

Oleg V. Vladimirov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Igor V. Ivshin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

© *О.В. Владимиров, И.В. Ившин, М.Ф. Низамиев, А.Н. Цветков, И.К. Усманов, Р.Р. Гибадуллин*

Marat F. Nizamiev – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Alexey N. Tsvetkov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Ilnur K. Usmanov – ООО «Tagras-Energoservis», Almet'yevsk, Russia

Ramil R. Gibadullin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Поступила в редакцию

14 декабря 2018 г.