



**КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ПО ВИБРАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ. ПРОВЕДЕНИЕ
ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ**

Басенко В.Р.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
vasiliybas123@mail.ru

Резюме: *АКТУАЛЬНОСТЬ.* На сегодняшний день наиболее актуальным вопросом для работы промышленных электрических машин является энергоэффективность. Энергоэффективность оценивается по потребляемой электрической мощности. Но также эффективность работы промышленных электрических агрегатов можно оценить по другим критериям. В частности, применяя метод вибрационного контроля можно повысить энергоэффективность работы электрического двигателя, за счет устранения неисправностей. Повреждения электрических двигателей (дисбаланс, повреждение подшипников, несносность валов) приводит к увеличению электрических потерь, а следовательно, снижению энергоэффективности работы двигателей. Научная новизна данного исследования заключается в сопоставлении расчетных параметров вибрационных характеристик с действительными значениями экспериментальных данных промышленного вентилятора КХЕ200. Практическая значимость данного исследования заключается в применении прибора ВАСТ СД-23 для снижения уровня вибрации промышленной мельницы на основе встроенной подпрограммы прибор «Балансировка». *ЦЕЛЬ.* Целью данной работы является вибрационный контроль промышленного агрегата с проведением работ по балансировке рабочего диска его электрического привода. *МЕТОДЫ.* Применяется метод двухплоскостной балансировки вращающегося диска электрического привода промышленной мельницы. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Проведены измерения вибрации промышленной мельницы до и после процедуры балансировки со значительным снижением виброскорости работающего оборудования. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Динамическая балансировка промышленных агрегатов с электрическим приводом находит широкое применение для устранения дисбаланса, что приводит к значительному улучшению работы промышленного оборудования. Дисбаланс является одной из наиболее распространенных проблем, поэтому устранения дисбаланса является актуальной задачей в области неразрушающего контроля.

Ключевые слова: *вибрационные параметры; программное обеспечение «DREAM v.5»; динамическая балансировка; электрический двигатель.*

Для цитирования: Басенко В.Р. Контроль технического состояния промышленного оборудования по вибрационным параметрам. Проведение динамической балансировки для повышения эффективности работы оборудования // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2025. Т. 27. № 1. С. 27-36. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-1-27-36.

**CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF INDUSTRIAL EQUIPMENT BY
VIBRATION PARAMETERS. CARRYING OUT DYNAMIC BALANCING TO
INCREASE THE EFFICIENCY OF EQUIPMENT OPERATION**

Basenko V.R.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
vasiliybas123@mail.ru

Abstract: *RELEVANCE.* Today, the most pressing issue for industrial electrical machines is energy efficiency. Energy efficiency is assessed by the consumed electrical power. But the

efficiency of industrial electrical units can also be assessed by other criteria. In particular, using the vibration monitoring method, it is possible to increase the energy efficiency of an electric motor by eliminating faults. Damage to electric motors (imbalance, bearing damage, shaft wear) leads to an increase in electrical losses, and, consequently, to a decrease in the energy efficiency of the motors. **THE PURPOSE.** The purpose of this work is vibration monitoring of an industrial unit with the implementation of work on balancing the working disk of its electric drive. The scientific novelty of this study lies in comparing the calculated parameters of vibration characteristics with the actual values of experimental data for the KXE200 industrial fan. The practical significance of this study lies in the use of the VAST SD-23 device to reduce the vibration level of an industrial mill based on the built-in subroutine of the Balancing device. **METHODS.** The method of two-plane balancing of the rotating disk of the electric drive of an industrial mill is used. **RESULTS.** Vibration measurements of the industrial mill were taken before and after the balancing procedure with a significant decrease in the vibration velocity of the operating equipment. **CONCLUSION.** Dynamic balancing of industrial units with an electric drive is widely used to eliminate imbalance, which leads to a significant improvement in the operation of industrial equipment. Imbalance is one of the most common problems, so eliminating imbalance is a pressing issue in the field of non-destructive testing.

Keywords: vibration parameters; software "DREAM v.5"; dynamic balancing; electric motor.

For citation: Basenko V.R. Control of the technical condition of industrial equipment by vibration parameters. Carrying out dynamic balancing to increase the efficiency of equipment operation. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2025; 27 (1): 27-36. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-1-27-36.

Введение (Introduction)

Для долговременной работы промышленного оборудования необходимо проводить контроль технического состояния для предотвращения потерь и поломок данного оборудования. Существует довольно большое количество методов контроля. Наиболее эффективными считаются методы неразрушающего контроля. Среди методов неразрушающего контроля одним из наиболее популярных является метод вибрационного контроля. Вибрационный контроль имеет широкий спектр применения, так как вибрацию (механические колебания около положения равновесия) испытывают практически все работающее промышленное оборудование. Основными параметрами, по которым осуществляется контроль технического состояния промышленного оборудования, являются следующие:

- виброперемещение (мм);
- виброскорость (мм/с);
- виброускорение (мм/с²).

Наиболее информативным является параметр виброскорости, так как он показывает изменение вибрационного состояния тела в зависимости от его энергетических характеристик, от внешнего механического воздействия. При этом вибрационный контроль сегодня может быть как контактным, так и бесконтактным, что также расширяет его область применения. Передовыми технологиями в области вибрационного контроля обладают сегодня производители VIBEX, ВАСТ, Dimrus. В России широкое применение сегодня находит оборудование для вибрационного контроля и диагностики производителя ВАСТ, а именно линейка приборов СД. Последняя версия прибора СД-23 широко применяется в энергетике и промышленности для проведения вибрационного контроля и диагностики вращающегося и стационарного оборудования. Граничные значения вибрационных параметров, контролируемых с помощью прибора СД-23, выделены на основе международных и национальных стандартов в области вибрационного контроля.

На основе измерений вибрации выносится заключение о работе промышленного оборудования. Руководящими документами здесь являются:

- ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения;
- ГОСТ ИСО 10816-1-97 Межгосударственный стандарт. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования;
- ГОСТ ИСО 10816-3-2002. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью от 120 до 15000 об/мин;

– ГОСТ 31350-2007 Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки.

Руководствуясь данными стандартами, были проведены измерения виброскорости промышленной мельницы с дальнейшей балансировкой ее рабочего диска.

Литературный обзор (Literature Review)

Вопросами вибродиагностики и контроля технического состояния сегодня занимается большое количество отечественных и зарубежных исследователей. Важным направлением здесь является вопросы вибродиагностики и дальнейшей балансировки ротора промышленных машин. Авторы Шостак, Гонг, Сердар, Алконз исследовали вопрос влияния дисбаланса ротора промышленных машин на энергоэффективность их работы [1-4]. В работе «IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF BALANCING ELECTRIC MACHINE ROTORS ON A BALANCING MACHINE» [1] автор резюмирует, что при возникновении дисбаланса, часть электрической энергии теряется в виде потерь на трение (вибрацию) и тепло. Данные явления приводят к снижению энергоэффективности и надежности работы промышленного агрегата. При проведении исследований эффективно проводить измерения на лабораторных стендах, прежде чем анализировать работающие промышленные агрегаты. Выявление вибрационных параметров на лабораторных стендах и их корреляционных связей рассмотрены в таких работах как «DESIGN OF LABORATORY DYNAMIC BALANCING DEVICE AND INVESTIGATION OF VIBRATIONS OF ROTATING BODIES» [3], а также «DESIGN & FABRICATION OF STATIC AND DYNAMIC VIBRATION BALANCING MACHINE» [5]. Продолжением данных исследований является вопрос компенсации неуравновешенных масс ротора. Данный вопрос рассмотрен исследователями Алексенцевой, Яковлевым, Лукьяновым и др. [6-8]. Решения задачи компенсации неуравновешенности масс ротора данными авторами сводятся к балансировке ротора в собственных опорах. Принципы балансировки ротора в собственных опорах представлены на рисунке 1.

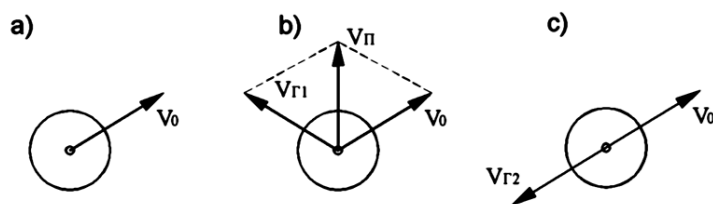


Рис. 1. Схема принципа балансировки ротора в собственных опорах

Fig. 1. Schematic diagram of the rotor balancing principle in its own supports

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

На рисунке 1 под пунктом а) изображена векторная диаграмма оборотной повышенной вибрации, под пунктом б) диаграмма направления виброскорости агрегата с добавлением пробного груза в произвольное место, под пунктом с) представленная векторная диаграмма виброскорости работающей машины с остаточным небалансом. Для снижения влияния небаланса на рабочую вращающуюся часть промышленного агрегата используется корректирующий груз. Задачами определения параметров корректирующего груза для динамической балансировки ротора в собственных опорах занимается автор Горбенко. В своей работе «АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ РОТОРА СО СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТЯМИ» [10] исследователь приходит к выводу, что основными параметрами пробного и корректирующих грузов являются масса и радиус установки на рабочее тело машины. Также необходимо знать оборотную частоту, амплитуду и фазу виброскорости механических колебаний для корректного проведения динамической балансировки вращающейся машины [6, 10].

Дисбаланс можно обнаружить путем измерения виброскорости на подшипниковых опорах промышленной машины. Принято выбирать опоры, имеющие хорошую жесткую связь с вращающимся рабочим телом. При этом виброскорость определяется при рабочих оборотах машины для достоверности проведения диагностики.

Динамическая балансировка промышленного вентилятора

Проведена промышленная балансировка работающего вентилятора модели KXE200 производителя Werra Ventilatoren. Технические характеристики данного промышленного вентилятора приведены в таблице 1.

Таблица 1
Table 1Технические характеристики промышленного вентилятора КХЕ200
Technical characteristics of the industrial fan KXE200

Тип вентилятора - КХЕ200	Данные по каталогу
Динамическое давление pd_2 , дПа	125
Динамическое давление pd_1 , дПа	66
Общий рост статичного давления, дПа	1940
Мощность на вале, кВт	132
Обороты ротора, 1/мин	2980
Рекомендуемая мощность мотора, кВт	160
Синхронное число оборотов двигателя, 1/мин	3000
Диаметр ротора, мм	1045
Окружная скорость, м/с	157
Количество лопастей	11
Масса без мотора КХЕ, кг	1194

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Вентилятор модели КХЕ200 широко применяется на промышленных предприятиях благодаря своим техническим характеристикам. Он имеет две подшипниковые опоры, которые необходимо контролировать (рис. 2).

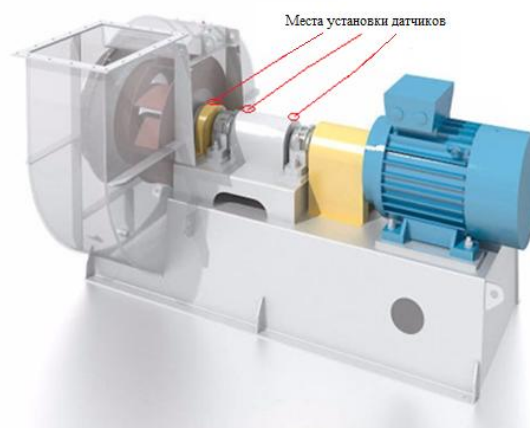


Рис. 2. Конструкция агрегата и место установки сенсоров системы вибродиагностики
Fig. 2. Unit design and installation location of vibration diagnostics system sensors

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Использован прибор для измерений СД-23 компании ВАСТ, имеющий специализированное программное обеспечение для проведения работ по измерению, анализу, проведению наладочных работ в области вибродиагностики. Приборный комплекс изображен на рисунке 3.



Рис. 3. Приборный комплекс ВАСТ СД-23
Fig. 3. Instrument complex VAST SD-23

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Алгоритм проведения 2-х плоскостной балансировки с помощью СД-23 имеет следующую последовательность:

1. Размечается балансировочная плоскость.
 2. Произвольно выбирается нулевая точка для начала отчета и измерения числа оборотов вращения балансируемого агрегата.
 3. Датчики измерительного комплекса устанавливаются в одну из плоскостей (подшипниковых опор, показанных на рисунке 3) для измерения виброскорости.
 4. Измеряется уровень виброскорости и сравнивается с референсными значениями (в данном случае со стандартами: ГОСТ ИСО 10816-3-2002. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью от 120 до 15000 об/мин., ГОСТ 31350-2007 Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки).
 5. Запускается агрегат.
 6. Измеряется амплитуда и фаза оборотной вибрации.
 7. Измеряется частота вращения.
 8. Добавляется пробный рассчитанный пробный груз в нулевую точку на известный радиус.
 9. Измеряется фаза и амплитуда вибрации после внесения пробного груза.
 10. Добавляются корректирующие массы.
 11. При снижении вибрации до допустимых значений балансировка завершается.
- Расчет параметров пробной массы производится по следующему выражению:

$$M_{пр} = 804 * ((P * A) / (R * N)) \quad (1)$$

где $M_{пр}$ – масса пробного груза (г);

P – масса ротора (кг);

A – измеренная амплитуда вибрации (мм/с);

R – радиус установки пробного груза в балансировочной плоскости;

N – число оборотов ротора (об/мин).

Расчет параметров остаточной вибрации производится по следующему выражению:

$$A_{ост} = A_o + M_1 * K_1 \quad (2)$$

где $A_{ост}$ – вектор остаточной вибрации в точке A (мм/с);

A_o – вектор исходной вибрации в точке A (мм/с);

M_1 – внесенная масса;

K_1 – поправочный коэффициент.

Число масс и поправочных коэффициентов зависит от вида балансировки, количества плоскостей, точек и направлений вибрации [11-18].

Результаты проведения балансировки промышленной мельницы

В рамках данного исследования проводилась балансировка и вибрационный контроль промышленной мельницы КХЕ200 для повышения энергоэффективности его работы и снижения общего уровня вибрации агрегата. Параметры процесса балансировки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Table 2

Балансировка машины: промышленной мельницы КХЕ200

Machine Balancing: KXE200 Industrial Fan

Частота вращения	2 987 об/мин
Количество точек измерения:	2
Количество направлений измерения:	2
Количество плоскостей установки:	1

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Контрольный замер вибрации на валу до балансировки – СКЗ виброскорости 13,5 мм/с. Способ крепления грузов – сварное соединение согласовано с главным технологом. Результаты при проведении балансировки представлены далее в таблицах.

Таблица 3
Table 3Пуск 0
Start 0

Точки измерения	В		Г	
	Амплитуда, мм/с	Фаза, градусы	Амплитуда, мм/с	Фаза, градусы
ППШ1	11.298	246	12.877	153
ППШ2	9.659	250	10.68	161

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

После нулевого пуска выявлена амплитуда виброскорости на оборотной частоте с наибольшим значением 12,877 мм/с со значением фазы 153 градуса. После этого был поставлен пробный груз массой 40 г на угол 0 градусов в балансировочной плоскости. Результаты измерений после установки пробного груза приведены в таблице 4.

Таблица 4
Table 4Пуск 1
Start 1

Точки измерения	В		Г	
	Амплитуда, мм/с	Фаза, градусы	Амплитуда, мм/с	Фаза, градусы
ППШ1	8.653	319	10.666	241
ППШ2	7.179	322	8.549	236

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

В результате установки пробного груза произошло смещение фазы механических колебаний по причине дисбаланса на 88 градусов со снижением амплитуды виброскорости на 2,21 мм/с. Так как получено снижение виброскорости, соответственно происходит компенсация дисбаланса. Дальнейшие расчеты корректирующих масс проведены в программе «Балансировка» в программном обеспечении прибора СД-23. Полученные результаты по расчету рекомендуемых масс приведены в таблице 5.

Таблица 5
Table 5Рекомендуемая массы на пуске 2
Recommended launch mass 2

Корректирующие плоскости	Корректирующая масса	
	Граммы	Градусы
М1	27.441	131

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

В итоге на сам агрегат удалось установить массу 30 г на угол 135 градусов, что является незначительным отклонением от рекомендуемых и не повлияет на результат балансировки. После установки корректирующей массы проведен пуск агрегата и измерены параметры вибрации, представленные в таблице 6.

Таблица 6
Table 6Пуск 2
Start 2

Точки измерения	В		Г	
	Амплитуда, мм/с	Фаза, градусы	Амплитуда, мм/с	Фаза, градусы
ППШ1	5.456	224	6.618	135
ППШ2	3.999	230	4.954	134

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Полученные значения амплитуды вибрации свидетельствуют о продолжении снижения небаланса, ввиду уменьшения амплитуда виброскорости до оборотной частоты до 6, 62 мм/с. Далее рассчитаны параметры следующей корректирующей массы, представленные в таблице 7.

Таблица 7
Table 7

Рекомендуемая массы на пуске 3
Recommended launch mass 3

Корректирующие плоскости	Корректирующая масса	
	Граммы	Градусы
M1	16.635	31

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

В итоге, исходя из полученных значений для второй корректирующей массы, установлена масса 18 г на угол 30 градусов. Исходя из прогноза программы «Балансировка», данная масса должна стать заключительной для установки и позволит снизить уровень виброскорости ниже значения 2,3 мм/с, что соответствует допустимым границам по ГОСТ ИСО 10816-3-2002. Проведены измерения параметров вибрации на вентиляторе КХЕ200 с установленной второй корректирующей массой. Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8
Table 8

Пуск 3
Start 3

Точки измерения	В		Г	
	Амплитуда, мм/с	Фаза, градусы	Амплитуда, мм/с	Фаза, градусы
ППШ1	0.925	129	1.099	38
ППШ2	0.849	131	1.057	40

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Полученные параметры вибрации (табл. 8) удовлетворяют требованиям международных стандартов. Балансировка завершена, достигнуты показатели по граничной зоне А, соответствующие требованиям ГОСТ. Далее произведен контрольный пуск вентилятора КХЕ200, значения СКЗ виброскорости составили 1,7 мм/с. Сводная информация по виброналадке в таблице 9.

Таблица 9
Table 9

Итоговые результаты балансировки
Final balancing results

№ п/п	Результаты измерений	СКЗ виброскорости, мм/с
1.	До балансировки	13,5
2.	После балансировки	1,7
3.	Допуск – зона А по ГОСТ	2,3

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

По итогу проведения балансировки промышленного вентилятора КХЕ200 можно заключить о снижении уровня виброскорости в 7,94 раза.

Заключение (Conclusions)

С помощью проведения вибрационного контроля и процедуры балансировки была повышена надежность и эффективность работы промышленной мельницы КХЕ200. В ходе работы были выбраны руководящие документы для проведения контроля технического состояния и балансировки, а именно «ГОСТ ИСО 10816-3-2002. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью

от 120 до 15000 об/мин», «ГОСТ 31350-2007 Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки».

При измерении СКЗ виброскорости на подшипниковой опоре контролируемого промышленного вентилятора было определено максимальное значение в 13,5 мм/с, что превышает допустимую норму более чем в 5 раз. Было принято решение о проведении двух плоскостной балансировки для устранения дисбаланса. В ходе проведения балансировки был установлен пробный груз массой 40 г. Затем в результате расчетов в программном обеспечении прибора СД-23 подпрограмме «Балансировка» были рассчитаны массы корректирующих грузов – 27 и 16 грамм, а также углы их установки – 131 и 31 градус соответственно. В итоге, при проведении контрольного измерения СКЗ виброскорости на подшипниковой опоре промышленного вентилятора КХЕ200 было получено значение в 1,7 мм/с, что на 35% ниже допустимого предела. В результате проведения вибрационного контроля и балансировки промышленного вентилятора КХЕ200 уровень вибрации был снижен почти в 8 раз, что подтверждает эффективность проведения контроля технического состояния по вибрационным параметрам. Данная работа была проведена с помощью диагностического оборудования лаборатории «Надежность и диагностика электрооборудования» Казанского государственного энергетического университета.

В рамках дальнейшего развития при проведении работ в данной области необходимо расширять спектр мощностей для контролируемого промышленного оборудования. Также большими перспективами для развития обладают исследования в области предиктивного анализа технического состояния промышленного оборудования, в том числе на основе измеренных и смоделированных вибрационных параметров.

Литература

1. Shostak Y. et al. IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF BALANCING ELECTRIC MACHINE ROTORS ON A BALANCING MACHINE //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2024. – Т. 130. – №. 7.
2. Gong Y. et al. Dynamic resource allocation for virtual machine migration optimization using machine learning //arXiv preprint arXiv:2403.13619. – 2024.
3. Serdar H., Özçelik Z. Design of laboratory dynamic balancing device and investigation of vibrations of rotating bodies //Journal of Engineering Technology and Applied Sciences. – 2021. – Т. 6. – №. 1. – С. 9-21.
4. Alconz S. C. B., Zurita G. Designing and development of a dynamic vibration balancing machine for industrial applications //Revista Investigación & Desarrollo. – 2019. – Т. 19. – №. 1.
5. Bhelsekar P. et al. Design & fabrication of static and dynamic vibration balancing machine //International Research Journal of Engineering and Technology. – 2019. – Т. 6. – №. 2. – С. 2605-2607.
6. Алексенцева Ю. Б., Мигачева Г. Н. ДИНАМИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА РОТОРОВ В СОБСТВЕННЫХ ОПОРАХ //Техническое регулирование в едином экономическом пространстве. – 2023. – С. 70-76.
7. Яковлев Л. П. БАЛАНСИРОВКА ГРЕБНЫХ ВИНТОВ //Современные проблемы логистики, экономики, управления в эпоху глобальных вызовов: сборник. – 2023. – С. 233.
8. Лукьянов А. В., Каимов Е. В. Повышение надежности вспомогательных машин электровозов на основе использования данных вибродиагностики //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2023. – №. 2 (78). – С. 115-126.
9. Ключников А. В. КОНСТРУКТИВНЫЙ ОБЛИК СТЕНДА ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАССОИНЕРЦИОННОЙ АСИММЕТРИИ ДЛИННОМЕРНЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ //Надежность и качество сложных систем. – 2023. – №. 1 (41). – С. 106-117.
10. Горбенко А. Н., Шаратов А. С. АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ РОТОРА СО СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТЯМИ //Керченского Государственного Морского Технологического Университета СЕРИЯ Морские Технологии. – С. 32.
11. Петров, Т. И. Стенд для измерения вращающего момента и частоты вращения синхронных двигателей с постоянными магнитами / Т. И. Петров, В. Р. Басенко // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике : Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции, Казань, 20–22 октября 2022 года / Редколлегия: А.Г. Арзамасова (отв. редактор). – Казань: ООО "Издательство Фолиант", 2022. – С. 203-206. – EDN KVVYKDF.
12. Разработка макета мобильной установки заряда электротранспорта и стенда для проведения испытаний / А. Р. Сафин, А. Н. Цветков, Т. И. Петров [и др.] // Естественные и технические науки. – 2023. – № 7(182). – С. 138-145. – DOI 10.25633/ETN.2023.07.09. – EDN

NZWEGG.

13. Моделирование работы оборудования мобильной зарядной установки для заряда электротранспорта с целью подтверждения соответствия группам климатического и механического исполнения / Т. И. Петров, А. Р. Сафин, Е. И. Грачева [и др.] // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 365-377. – DOI 10.21443/1560-9278-2022-25-4-365-377. – EDN JILKEG.

14. Анализ технического уровня разработок в области мобильных зарядных установок для электротранспорта / А. Р. Сафин, В. Р. Басенко, М. Ф. Низамиев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 55-64. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-3-55-64. – EDN BJTZLX.

15. 3D модель силового трансформатора для исследования его технического состояния по вибрационным параметрам / В. Р. Басенко, М. Ф. Низамиев, И. В. Ившин, О. В. Владимиров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 130-143. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-130-143. – EDN TTLTLL.

16. Laser Control and Measuring Complex for Non-contact Vibration Control of the Power Transformer Technical Condition / V. Basenko, O. Vladimirov, I. Ivshin [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 190. – P. 157-167. – DOI 10.1007/978-3-030-86047-9_17. – EDN EIGGGZ.

17. 3D модель силового трансформатора для исследования его технического состояния по вибрационным параметрам / В. Р. Басенко, М. Ф. Низамиев, И. В. Ившин, О. В. Владимиров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 130-143. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-130-143. – EDN TTLTLL.

18. Tokarev I.S. Development of parameters for an industry-specific methodology for calculating the electric energy storage system for gas industry facilities // Journal of Mining Institute. 2024. p. EDN UIZSOQ.

Авторы публикации

Басенко Василий Романович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий». Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия. vasilybas123@mail.ru

References

1. Shostak Y. et al. IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF BALANCING ELECTRIC MACHINE ROTORS ON A BALANCING MACHINE //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2024. – Т. 130. – No. 7.

2. Gong Y. et al. Dynamic resource allocation for virtual machine migration optimization using machine learning //arXiv preprint arXiv:2403.13619. – 2024.

3. Serdar H., Özçelik Z. Design of laboratory dynamic balancing device and investigation of vibrations of rotating bodies // Journal of Engineering Technology and Applied Sciences. – 2021. – Т. 6. – No. 1. – pp. 9-21.

4. Alconz S. C. B., Zurita G. Design and development of a dynamic vibration balancing machine for industrial applications //Revista Investigación & Desarrollo. – 2019. – Vol. 19. – No. 1.

5. Bhelsekar P. et al. Design & fabrication of static and dynamic vibration balancing machine //International Research Journal of Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 6. – No. 2. – P. 2605-2607.

6. Aleksentseva Yu. B., Migacheva G. N . DYNAMIC BALANCING OF ROTORS IN THEIR OWN SUPPORTS // Technical regulation in a single economic space. - 2023. - P. 70-76.

7. Yakovlev L. P. BALANCING OF PROPELLERS // Modern problems of logistics, economics, management in the era of global challenges: collection. - 2023. - P. 233.

8. Lukyanov A. V., Kaimov E. V. Improving the reliability of auxiliary of electric locomotive machines based on the use of vibration diagnostics data // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2023. - No. 2 (78). - P. 115-126.

9. Klyuchnikov A. V. DESIGN OF A STAND FOR PRECISION DETERMINATION OF MASS-INERTIAL PARAMETERS ASYMMETRIES OF LONG BODIES BY THE DYNAMIC BALANCING METHOD // Reliability and quality of complex systems. - 2023. - No. 1 (41). – P. 106-117.

10. Gorbenko A. N., Sharatov A. S. ANALYSIS OF OSCILLATIONS OF A ROTATING ROTOR WITH STATIC AND DYNAMIC INEQUILIBRIUMS // Kerch State Marine Technological University SERIES Marine Technologies. – P. 32.

11. Petrov, T. . I. Stand for measuring torque and rotation frequency of synchronous motors with permanent magnets / T. I. Petrov, V. R. Basenko // Dispatching and control in electric power

engineering: Proceedings of the XVII All-Russian open youth scientific and practical conference, Kazan, 20– October 22, 2022 / Editorial Board: A.G. Arzamasova (responsible editor). – Kazan: OOO Izdatelstvo Foliant, 2022. – P. 203-206. – EDN KVKYKDF.

12. Development of a layout of a mobile electric transport charging unit and a test bench / A. R. Safin, A. N. Tsvetkov, T. I. Petrov [et al.] // Natural and technical sciences. - 2023. - No. 7 (182). - P. 138-145. - DOI 10.25633 / ETN.2023.07.09. - EDN NZWEGG.

13. Modeling the work equipment of a mobile charging unit for charging electric transport in order to confirm compliance with climatic and mechanical performance groups / T. I. Petrov, A. R. Safin, E. I. Gracheva [et al.] // Bulletin of MSTU. Proceedings of Murmansk State Technical University.– 2022. – Vol. 25, No. 4. – P. 365-377. – DOI 10.21443/1560-9278-2022-25-4-365-377. – EDN JILKEG.

14. Analysis of the technical level of developments in the field of mobile charging installations for electric transport / A. R. Safin, V. R. Basenko, M. F. Nizamiyev [et al.] // News of higher educational institutions. Problems of energy. - 2023. - V. 25, No. 3. - P. 55-64. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-3-55-64. – EDN BJTZLX.

15. 3D model of a power transformer for studying its technical condition based on vibration parameters / V. R. Basenko, M. F. Nizamiyev, I. V. Ivshin, O. V. Vladimirov // News of higher educational institutions. Problems of energy. - 2022 . – V. 24, No. 3. – P. 130-143. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-130-143. – EDN TTLTLL.

16. Laser Control and Measuring Complex for Non-contact Vibration Control of the Power Transformer Technical Condition / V. Basenko, O. Vladimirov, I. Ivshin [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 190. – P. 157-167. – DOI 10.1007/978-3-030-86047-9_17. – EDN EIGGGZ.

17. 3D model of a power transformer for studying its technical condition by vibration parameters / V. R. Basenko, M. F. Nizamiyev, I. V. Ivshin , O. V. Vladimirov // News of higher educational institutions. Problems of energy. - 2022. - Vol. 24, No. 3. - P. 130-143. - DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-130- 143. – EDN TTLTLL.

18. Tokarev I.S. Development of parameters for an industry-specific methodology for calculating the electric energy storage system for gas industry facilities // Journal of Mining Institute. 2024. p. EDN UIZSOQ.

Authors of the publication

Vasily R. Basenko – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.
vasiliybas123@mail.ru

Шифр научной специальности: 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

Получено **19.11.2024 г.**

Отредактировано **27.01.2025 г.**

Принято **29.01.2025 г.**