

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ



УДК 331.432.4

DOI:10.30724/1998-9903-2025-27-6-3-13

ВИБРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «DREAM v.5»

Басенко В.Р., Манахов В.А.

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

Резюме: АКТУАЛЬНОСТЬ. Современное электротехническое оборудование играет ответственную роль в работе энергетической и промышленной отрасли. Наиболее актуальной проблемой эксплуатации 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. Высокие требования к работе и эксплуатации электрооборудования накладывает, в свою очередь высокие требования и на обслуживающие их системы контроля. ЦЕЛЬ. Целью является проведение вибрационного контроля электротехнического оборудования с помощью программного обеспечения «DREAM v.5». МЕТОДЫ. Применяется метод неразрушающего контроля электрооборудования на основе спектрального анализа вибрационных параметров с помощью программного обеспечения «DREAM v.5». РЕЗУЛЬТАТЫ. Проведён спектральный анализ вибрационных характеристик промышленного электрооборудования на основе программного обеспечения «DREAM v.5» и измерительного оборудования СД-23. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Внедрение «DREAM v.5» в систему вибрационного контроля позволяет повысить эффективность проведения вибрационного контроля электрооборудования. Интуитивно понятный интерфейс и визуализация данных облегчают процесс интерпретации результатов измерений, что дает возможность оперативно оценивать состояние оборудования и принимать обоснованные решения.

Ключевые слова: контроль электрооборудования; вибрационные параметры; программное обеспечение «DREAM v.5»; спектральный анализ.

Для цитирования: Басенко В.Р., Манахов В.А. Вибрационный контроль электротехнического оборудования с помощью программного обеспечения «DREAM v.5» // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2025. Т. 27. № 6. С. 3-13. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-6-3-13.

VIBRATION CONTROL OF ELECTRICAL EQUIPMENT USING THE SOFTWARE «DREAM v.5»

Basenko V.R., Manakov V.A.

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

Abstract: RELEVANCE. Modern electrical equipment plays a critical role in the energy and

industrial sectors. The most pressing problem in the operation of industrial electrical machines is energy efficiency. Energy efficiency is assessed by the electrical power consumed. But the efficiency of industrial electrical units can also be assessed by other criteria. Using the vibration monitoring method, it is possible to increase the energy efficiency of an electric motor by eliminating faults. High requirements for the operation and maintenance of electrical equipment, in turn, impose high requirements on the control systems that service them. GOAL. The goal is to conduct vibration testing of electrical equipment using the DREAM v.5 software. METHODS. The method of non-destructive testing of electrical equipment is used based on spectral analysis of vibration parameters using the DREAM v.5 software. RESULTS. Spectral analysis of vibration characteristics of industrial electrical equipment was carried out using the DREAM v.5 software and SD-23 measuring equipment. CONCLUSION. The introduction of "DREAM v.5" into the vibration control system makes it possible to increase the efficiency of vibration control of electrical equipment. An intuitive interface and data visualization facilitate the process of interpreting measurement results, which makes it possible to quickly assess the condition of equipment and make informed decisions.

Keywords: electrical equipment control; vibration parameters; software "DREAM v.5"; spectral analysis.

For citation: Basenko V.R., Manakhov V.A. Vibration control of electrical equipment using the software «DREAM v.5». *Power engineering: research, equipment, technology.* 2025; 27 (6): 3-13. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-6-3-13.

Введение (Introduction)

Программное обеспечение для вибродиагностики представляет собой высокотехнологичный инструмент, разработанный для оценки состояния и диагностики машин и механизмов на основе анализа вибрационных сигналов. Используя передовые алгоритмы обработки данных и искусственного интеллекта, данная система позволяет не только выявлять существующие неисправности, но и прогнозировать потенциальные отказы, основываясь на исторических данных и трендах.

Функционал программного обеспечения включает в себя мониторинг состояния оборудования в реальном времени, анализ спектров вибраций, а также генерацию отчетов о состоянии механизмов. Пользователи могут устанавливать индивидуальные параметры для различных типов оборудования, что делает систему универсальным решением для предприятий различных секторов.

Кроме того, программное обеспечение поддерживает интеграцию с другими системами управления производственными процессами, что значительно повышает эффективность эксплуатации оборудования. Благодаря интуитивно понятному интерфейсу и расширенным возможностям анализа, пользователи могут быстро усваивать даже самые сложные методы вибродиагностики, минимизируя время на обучение и повышая продуктивность работы. Современными разработчиками программного обеспечения для вибродиагностики являются компании ВАСТ, ДИАМЕХ, VIBEX. Программные алгоритмы данных производителей ориентированы на цифровую обработку вибрационных сигналов, измеренных от работающего электрооборудования. Обработка вибрационных сигналов электрооборудования является важной задачей в области диагностики и мониторинга состояния машин. Современные технологии позволяют эффективно анализировать вибрационные колебания, которые могут служить индикаторами различных неисправностей. Использование высокочувствительных датчиков, установленных на критических узлах оборудования, обеспечивает сбор данных о вибрациях в реальном времени.

Процесс обработки сигналов включает в себя фильтрацию, спектральный анализ и применение методов машинного обучения для выявления аномалий. Спектrogramма, полученная в результате анализа, позволяет визуализировать частотные характеристики вибраций и определить, какие из них выходят за пределы нормы. Это, в свою очередь, способствует раннему выявлению дефектов и предотвращению дорогостоящих простоев. Современное программное обеспечение, основанное на анализе вибрационных сигналов, становится неотъемлемой частью управления техническим обслуживанием. Она позволяет не только продлить срок службы оборудования, но и повысить его надежность и эффективность. В конечном счёте, комплексный подход к обработке вибрационных сигналов способствует созданию безопасной и устойчивой производственной среды.

Литературный обзор (Literature Review)

Современная промышленность предъявляет высокие требования к надежности и безопасности электротехнического оборудования. Вибрационный контроль играет ключевую роль в обеспечении бесперебойной работы и предотвращении аварийных ситуаций. В настоящее время вибрационный контроль является одним из наиболее эффективных методов диагностики состояния электротехнического оборудования. Он позволяет выявлять дефекты на ранних стадиях их развития, предотвращая серьезные аварии и снижая затраты на ремонт [1, 2]. Применение программного обеспечения значительно расширяет возможности вибрационного контроля, автоматизируя процесс сбора, обработки и анализа данных. Существующие программные комплексы, такие как LabVIEW, MATLAB и специализированные пакеты от производителей оборудования, предоставляют широкий набор инструментов для вибрационного анализа. Они позволяют выполнять спектральный анализ, вейвлет-преобразование, анализ огибающей и другие методы для выявления характерных признаков дефектов. Анализ литературных источников показывает, что эффективность вибрационного контроля существенно зависит от правильного выбора параметров датчиков, частоты дискретизации и методов обработки данных. Важным аспектом является создание эталонных моделей вибрации для оборудования в нормальном состоянии, что позволяет более точно идентифицировать отклонения [3]. Внедрение программного обеспечения для вибрационного контроля требует квалифицированного персонала, способного интерпретировать результаты анализа и принимать обоснованные решения по обслуживанию оборудования. Дальнейшие исследования направлены на разработку интеллектуальных систем, способных автоматически диагностировать состояние оборудования и прогнозировать сроки его службы.

Сравнивая «DREAM v.5» с такими универсальными платформами, как LabVIEW и MATLAB, необходимо учитывать принципиальные различия в их целевом назначении. LabVIEW, разработанный National Instruments, ориентирован на создание систем сбора и обработки данных, управления приборами и автоматизации измерений. MATLAB, от MathWorks, является средой для численных расчетов, моделирования и разработки алгоритмов. Оба эти решения предлагают широкий спектр инструментов и библиотек для решения разнообразных задач, включая анализ данных и моделирование энергоэффективности [4]. В отличие от «DREAM v.5», LabVIEW и MATLAB не являются специализированными решениями для мониторинга и управления энергопотреблением. Они требуют значительных усилий по разработке и настройке для создания полноценной системы, способной выполнять те же функции, что и «DREAM v.5». Кроме того, универсальность этих платформ может привести к избыточности функционала и усложнению процесса внедрения. «DREAM v.5», напротив, разработан специально для решения задач в области энергоэффективности и предлагает готовые инструменты для сбора, анализа и визуализации данных, а также для оптимизации режимов работы оборудования. Интегрированный подход и интуитивно понятный интерфейс позволяют пользователям быстро освоить систему и начать получать результаты, не тратя время на разработку собственных решений [5]. Выбор между «DREAM v.5» и универсальными платформами, такими как LabVIEW и MATLAB, зависит от конкретных потребностей и ресурсов организации. Если требуется специализированное решение для мониторинга и управления энергопотреблением, «DREAM v.5» является более предпочтительным вариантом. Если же необходимо решать широкий спектр задач, включая анализ данных и моделирование, LabVIEW и MATLAB могут предложить более гибкие возможности.

Программное обеспечение «DREAM v.5» представляет собой мощный инструмент для мониторинга и анализа вибрационных характеристик. Ранее проводились исследования, демонстрирующие эффективность различных методов вибрационной диагностики. Однако, «DREAM v.5» выделяется комплексным подходом, объединяющим сбор данных, анализ спектра, выявление трендов и автоматическую генерацию отчетов. Это позволяет оперативно выявлять даже незначительные отклонения от нормы. Данный программный продукт интегрирует в себе алгоритмы машинного обучения, что обеспечивает прогностическую аналитику [6]. Благодаря этому, возможно прогнозирование остаточного ресурса оборудования и планирование профилактических мероприятий, что, в свою очередь, снижает издержки, связанные с внеплановыми остановками и ремонтами. «DREAM v.5», позиционируемый как передовое решение в своей области, безусловно, демонстрирует ряд впечатляющих преимуществ [7]. Среди них стоит отметить улучшенную скорость обработки данных, более интуитивный интерфейс и расширенный набор инструментов для аналитики. Однако, несмотря на заявленную инновационность, «DREAM

v.5» не лишен недостатков, которые необходимо учитывать при выборе оптимального решения.

Одним из ключевых преимуществ является его способность интегрироваться с существующими системами предприятия без значительных перебоев в работе. Это выгодно отличает его от конкурентов, требующих сложной и дорогостоящей перенастройки инфраструктуры, например таких как «АГАТ» или «VIBROLASER». В то же время, одним из критических недостатков является высокая стоимость лицензии и технической поддержки. По сравнению с аналогами, «DREAM v.5» требует значительных инвестиций, что может стать препятствием для малого и среднего бизнеса.

«DREAM v.5» представляет собой мощный инструмент, обладающий как значительными преимуществами, так и определёнными недостатками. Окончательное решение о его внедрении должно основываться на тщательном анализе потребностей и возможностей конкретного предприятия, а также сопоставлении с альтернативными решениями, доступными на рынке. Программное обеспечение также обеспечивает возможность интеграции с другими системами управления предприятием [8]. Это позволяет создать единую информационную среду, в которой данные вибрационного контроля используются для оптимизации производственных процессов и повышения общей эффективности работы предприятия. «DREAM v.5» соответствует современным стандартам безопасности и обеспечивает защиту данных от несанкционированного доступа. Система имеет гибкие настройки, позволяющие адаптировать ее к требованиям конкретного предприятия и типу оборудования. Программное обеспечение «DREAM v.5» представляет собой передовое решение для вибрационного контроля электротехнического оборудования. Его внедрение способствует повышению надежности, безопасности и эффективности работы предприятия.

Материалы и методы (Materials and methods)

Для проведения вибрационного контроля электротехнического оборудования использовался программный комплекс «DREAM v.5». Данное программное обеспечение предназначено для сбора, обработки и анализа данных вибраций, а также для диагностики состояния оборудования на основе полученных результатов. В качестве объекта исследования был выбран электродвигатель промышленной мельницы. Выбор обусловлен широким распространением данного оборудования на промышленных предприятиях и его значительным влиянием на общую надёжность технологических процессов. Измерения вибрации проводились с помощью портативного виброметра. Датчики устанавливались на корпусах оборудования в точках, определённых в соответствии с нормативной документацией и рекомендациями производителей.

Программное обеспечение «DREAM v.5» представляет собой значительный шаг вперёд в области мониторинга и анализа энергоэффективности, превосходя такие известные аналоги, как «АГАТ» и «VIBROLASER» по ряду ключевых параметров. В отличие от аналогов, «DREAM v.5» предлагает интегрированный подход к управлению энергопотреблением, объединяя в себе расширенные возможности сбора данных, интеллектуального анализа и визуализации.

Одним из ключевых преимуществ «DREAM v.5» является улучшенная точность и детализация данных. Благодаря использованию передовых алгоритмов обработки сигналов и новых сенсорных технологий, система способна отслеживать мельчайшие изменения в энергопотреблении оборудования, выявлять скрытые потери энергии и оптимизировать режимы работы в реальном времени. Кроме того, «DREAM v.5» обладает интуитивно понятным интерфейсом, который упрощает процесс анализа данных и принятия решений. Пользователи могут легко создавать настраиваемые отчеты, визуализировать тренды энергопотребления и получать автоматические уведомления о нештатных ситуациях.

В числе новых возможностей, направленных на повышение энергоэффективности, следует выделить:

– Предиктивный анализ: «DREAM v.5» использует алгоритмы машинного обучения для прогнозирования энергопотребления и выявления потенциальных проблем до того, как они приведут к значительным потерям энергии.

– Оптимизация режимов работы: Система предлагает рекомендации по оптимизации режимов работы оборудования на основе анализа данных и моделирования различных сценариев.

– Интеграция с системами управления зданием (BMS): «DREAM v.5» легко интегрируется с существующими BMS, что позволяет централизованно управлять энергопотреблением и повышать эффективность использования ресурсов.

Работа в программном обеспечении «DREAM v.5» требует внимательного изучения интерфейса и функциональных возможностей. Необходимо ознакомиться с основными панелями инструментов, меню и настройками. Основное внимание уделяется разделам, отвечающим за ввод данных, обработку результатов и визуализацию. Важным этапом является настройка параметров моделирования в соответствии с конкретными задачами и условиями. Проведение исследований с различными значениями вибрационных параметров, позволяет понять их влияние на результаты в программном обеспечении «DREAM v.5». Необходимо сохранять резервные копии проектов перед внесением изменений. При работе с данными внимание уделяется их качеству и формату. Необходимо убедиться, что все необходимые поля заполнены корректно и соответствуют требованиям программы. Используйте инструменты валидации и очистки данных для повышения точности результатов.

Программа «DREAM v.5» предназначена для работы с переносными приборами серии СД, стационарных и стендовых системах. Основные функции программы «DREAM v.5»:

1. Вибрационный мониторинг и контроль машин и оборудования в соответствии с действующими стандартами.
2. Расширенный мониторинг состояния машин и оборудования с использованием разных видов сигналов.
3. Глубокая диагностика и прогноз технического состояния узлов роторных машин.
4. Обнаружение, идентификация и отслеживание развития дефектов, прогноз состояния таких узлов, как роторы, подшипники, зубчатые передачи, рабочие колеса, электромагнитные системы электрических машин и других.
5. Накопление и хранение информации о вибрационном и техническом состоянии отдельных узлов и машин в целом.
6. Формирование отчетов.

Функции программного обеспечения могут быть расширены с помощью дополнительных обновлений, предоставляемых на официальном сайте ООО «Ассоциация ВАСТ»: www.vibrotek.ru.

Границевые значения вибрационных параметров, контролируемых с помощью программного обеспечения «DREAM v.5», 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.

Проведение спектрального анализа промышленного электротехнического оборудования с помощью программного обеспечения «DREAM v.5»

В рамках данного исследования проведен вибрационный контроль оборудования промышленной мельницы МПС-М, предназначенной для измельчения элементов производства стекла. Внешний вид промышленной мельницы МПС-М представлен на рисунке 1.

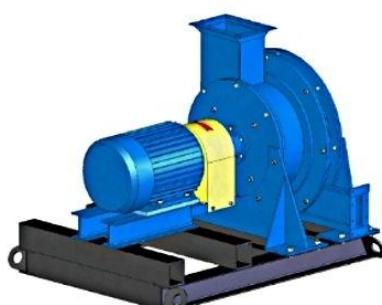


Рис. 1. Промышленная мельница МПС-М

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

Fig. 1. Industrial mill MPS-M

Технические характеристики исследуемой мельницы представлены в таблице 1.

Таблица 1
Table 1

Технические характеристики промышленной мельницы МПС-М
Technical characteristics of the industrial mill MPS-M

Параметры	Значения
Расчетная производительность, кг/ч	1000
Входящая фракция d_h , мм	5
Выходящая фракция d_k , мм	1
Электродвигатель:	
Мощность, кВт	15,0
Число оборотов, об/мин	3000
Напряжение, В	380
Масса дробилки, кг	900

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

С помощью прибора СД-23, находящегося в лабораторной базе ФГБОУ ВО «КГЭУ» кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» проведено измерение спектра виброскорости. Прибор СД-23 ВАСТ характеризуется следующими предельными значениями погрешностей при стандартных условиях эксплуатации (температура 25°C, влажность 50%):

- основная относительная погрешность виброанализатора в комплекте с акселерометрами серии 6XX, %, не более 5%;
- основная относительная погрешность виброанализатора в комплекте с вибропреобразователями типа АР20XX, %, не более 7%.

Более подробная информация о методах оценки погрешностей и факторах, влияющих на точность измерений, представлена в руководстве по эксплуатации прибора.

Результаты измерений представлены на рисунках 2 и 3. Основная амплитуда виброскорости находится на при данных измерениях определялась на частоте 38,2 Гц (2292 об/мин). Вертикальное направление – 15,7 мм/с, горизонтальное направление – 51 мм/с.

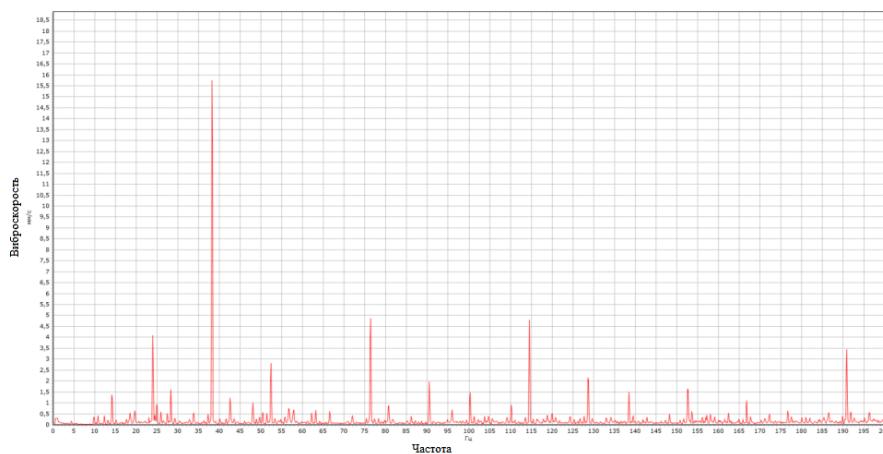


Рис. 2. Спектр виброскорости подшипника промышленной мельницы МПС-М. Вертикальное направление
Fig. 2. Vibration velocity spectrum of the bearing of the industrial mill MPS-M. Vertical direction

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

Высокие амплитуды на характерных частотах сигнализируют о прогрессирующем развитии дефекта. Важно отслеживать динамику изменения амплитуд во времени для прогнозирования остаточного ресурса подшипника. В вертикальном направлении (рис. 2) определились следующие гармонические составляющие – 2 (76 Гц, 4,9 мм/с), 3 (114 Гц – 4,8 мм/с), 4 (153 Гц – 1,5 мм/с), 5 (191 Гц – 3,5 мм/с). Частота 76 Гц часто указывает на проблемы с внешним кольцом подшипника. Дефекты, такие как сколы, трещины или износ

на внешней поверхности кольца, приводят к импульсным вибрациям при прохождении тел качения (шариков или роликов) через поврежденный участок. Эти импульсы повторяются с частотой, определяемой скоростью вращения внешнего кольца, что в свою очередь порождает гармоники в спектре вибрации. Частота 114 Гц может указывать на дефект тел качения (шариков или роликов). Повреждения, такие как сколы, трещины или локальный износ на поверхности тел качения, также вызывают импульсные вибрации при контакте с дорожками качения. Частота этих импульсов связана со скоростью вращения тел качения, что создает гармоники в спектре вибрации. Важно отметить, что точная идентификация источника дефекта требует детального анализа спектра вибрации, а также учета других факторов, таких как скорость вращения вала, тип подшипника и условия эксплуатации. Однако, обнаружение гармоник на частотах 76 Гц и 114 Гц является веским основанием для проведения дополнительной диагностики подшипника и принятия мер по предотвращению его дальнейшего повреждения и возможного выхода из строя. Своевременная замена подшипника может предотвратить более серьезные поломки оборудования и избежать дорогостоящих простоев.

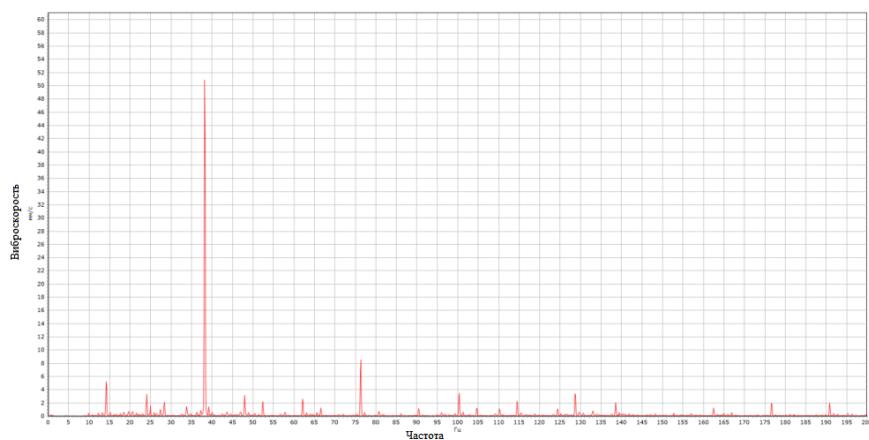


Рис. 3. Спектр виброскорости подшипника промышленной мельницы МПС-М. Горизонтальное направление
Fig. 3. Vibration velocity spectrum of the bearing of the industrial mill MPS-M. Horizontal direction

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

По результатам спектрального анализа подшипника промышленной мельницы МПС-М получены следующие результаты: вертикальное направление, возникли гармоники – 2 (76 Гц, 4,9 мм/с), 3 (114 Гц – 4,8 мм/с), 4 (153 Гц – 1,5 мм/с), 5 (191 Гц – 3,5 мм/с). Поперечное направление возникли гармоники – 2 (76 Гц, 8,5 мм/с), 3 (114 Гц – 2,2 мм/с), 5 (191 Гц – 2 мм/с). В результате принято следующее заключение о состоянии подшипника: необходима диагностика подшипников и двигателя после укрепления фундамента, также проведение измерений контурных характеристик представленного оборудования (согласно РД 34.21.306-96, пункт 3.4.5.). Дополнительно необходимо проверить параметр разгон-выбег для электродвигателя промышленной мельницы МПС-М.

ГОСТ 10816-3, в частности, предоставляет классификацию вибрационного состояния машин, разделяя их на зоны: А (нормальная работа), В (удовлетворительная работа), С (неудовлетворительная работа) и D (недопустимая работа). Эта классификация основывается на среднеквадратичном значении виброскорости и позволяет инженерам оперативно оценивать состояние оборудования. Сравнение с нормами ГОСТ 10816-3 позволяет классифицировать уровень вибрации оборудования по нескольким категориям, от «отличного» до «недопустимого», что облегчает принятие решений о планировании профилактических мероприятий и сроках замены изношенных компонентов. Это особенно важно для критически важного оборудования, выход из строя которого может привести к серьезным последствиям, таким как остановка производственного процесса или аварийные ситуации. В данной работе результаты показали вхождение агрегата на границу зон В и С, что говорит об удовлетворительной работе, но необходимом дополнительном контроле. Для подшипников, работающих в тяжелых условиях эксплуатации, таких как высокая запыленность, повышенная температура или переменные нагрузки, рекомендуется установить более высокую частоту измерений (как в данной работе, 5 измерений на одну точку, с дисперсией не более 3). Также, если мельница МПС-М используется в критически важных производственных процессах, остановка которых приводит к значительным

убыткам, целесообразно проводить измерения чаще, чтобы минимизировать риск внезапных поломок. При определении частоты измерений необходимо учитывать доступность оборудования и квалификацию персонала. Если для проведения измерений требуется остановка мельницы, то необходимо учитывать время простоя и связанные с этим затраты. В этом случае, возможно, целесообразно использовать системы непрерывного мониторинга вибрации, которые позволяют получать данные в режиме реального времени и выявлять дефекты на ранних стадиях развития.

Заключение (Conclusions)

Проведение спектрального анализа промышленного электротехнического оборудования с помощью программного обеспечения «DREAM v.5» позволило выявить ключевые гармонические составляющие в сигналах виброскорости исследуемого промышленного оборудования. Полученные данные дают возможность оценить степень технического состояния элементов электротехнического оборудования и оценить потенциальное негативное воздействие на работу оборудования. Сформированы рекомендации по внедрению процедур обслуживания электротехнического оборудования на основе спектрального анализа для повышения качества работы. Результаты исследования могут быть использованы для разработки мер по оптимизации энергопотребления и предотвращению аварийных ситуаций, связанных с гармоническимиискажениями в электросетях предприятия. Дальнейшие исследования должны быть направлены на моделирование работы фильтров и оценку их эффективности в реальных условиях эксплуатации. Одним из ключевых улучшений, привнесенных «DREAM v.5», является повышение точности. Алгоритмы машинного обучения, используемые в системе, обучаются на обширных наборах данных, что позволяет им с большей точностью выявлять проблемные места и предсказывать потенциальные сбои. Это приводит к сокращению количества ложных срабатываний и ложных отрицаний, что, в свою очередь, повышает эффективность диагностики и снижает затраты, связанные с ненужными исправлениями. «DREAM v.5» значительно ускоряет процесс диагностики. Автоматизация позволяет системе анализировать данные гораздо быстрее, чем это возможно при ручном анализе. Это особенно важно в ситуациях, когда требуется быстрое выявление и устранение проблем, например, в критически важных инфраструктурах или производственных процессах. Быстрая диагностика позволяет минимизировать время простоя и предотвратить серьезные последствия.

Для углубленного изучения и расширения практического применения вибрационного контроля электротехнического оборудования с использованием программного обеспечения «DREAM v.5» рекомендуется сосредоточиться на следующих направлениях:

1. Разработка специализированных алгоритмов анализа. Необходимо создание алгоритмов, адаптированных под специфику различных типов электротехнического оборудования, учитывающих их конструктивные особенности и типичные дефекты.

2. Интеграция с системами предиктивной аналитики. Интеграция «DREAM v.5» с системами предиктивной аналитики позволит перейти от констатации текущего состояния оборудования к прогнозированию его будущего состояния и заблаговременному планированию ремонтных работ.

3. Создание базы данных эталонных вибрационных сигналов. Формирование обширной базы данных, содержащей эталонные вибрационные сигналы исправного и дефектного оборудования, значительно повысит точность и надежность диагностики.

4. Автоматизация процесса формирования отчетов. Разработка функционала автоматического формирования отчетов о результатах вибрационного контроля позволит сократить время на обработку данных и облегчить процесс принятия решений.

Реализация этих рекомендаций позволит значительно повысить эффективность вибрационного контроля электротехнического оборудования, снизить риски аварий и повысить надежность работы энергосистем.

Проведенный анализ и практическое применение программного обеспечения «DREAM v.5» продемонстрировали его высокую эффективность в диагностике и мониторинге вибрационного состояния электротехнического оборудования. Внедрение системы позволяет своевременно выявлять дефекты на ранних стадиях, предотвращая аварийные ситуации и снижая затраты на ремонт. «DREAM v.5» обеспечивает комплексный подход к вибрационному контролю, объединяя сбор данных, анализ спектральных характеристик и формирование отчетов. Целесообразно провести исследования по интеграции программного обеспечения «DREAM v.5» с другими системами мониторинга и управления, используемыми на предприятиях. Это позволит

создать комплексную систему диагностики и управления электротехническим оборудованием, обеспечивающую повышение надежности и эффективности его работы. Важным аспектом является разработка интерфейсов для обмена данными с SCADA-системами и другими платформами. Следует уделить внимание разработке специализированных модулей для анализа вибрации конкретных типов электротехнического оборудования, таких как трансформаторы, выключатели, генераторы и электродвигатели. Это позволит учитывать специфические особенности каждого типа оборудования и повысить точность диагностики его состояния. Необходимо также изучить возможность применения новых методов анализа вибрации, таких как вейвлет-анализ и анализ огибающей, для выявления дефектов на ранних стадиях их развития.

Литература

1. Редников С. Н. и др. Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования: эффективность комплексного подхода //Агроинженерия. – 2024. – Т. 24. – №. 2. – С. 71-77.
2. Скворцов О. Б., Сташенко В. И. Динамические механические нагрузки на проводящие элементы электромеханического оборудования, связанные с воздействием электрических и магнитных полей //ББК 22.9 М 39 Редакционная коллегия: д-р физ.-мат. наук, профессор ВЕ Громов, д-р. техн. наук, доцент ДВ Загуляев. – 2023. – Т. 13. – С. 91.
3. Губарев В. А. Современные методы вибрационного контроля высоковольтных трансформаторов // Инновационный путь развития как ответ на вызовы нового времени. – 2021. – С. 23-26.
4. Зеленина А. И. Проектирование Ярнемской ГЭС на реке Онега. Система вибрационного контроля гидроагрегата : дис. – Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал СФУ, 2023.
5. Зайниев А. В., Шайдуллин В. Ф., Хакимьянов М. И. Анализ современных методов диагностирования газопоршневых агрегатов с синхронными генераторами на объектах добычи нефти //Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2023. – Т. 19. – №. 3. – С. 133-144.
6. Li J. Y., Zhu S. Self-powered active vibration control: concept, modeling, and testing //Engineering. – 2022. – Т. 11. – С. 126-137.
7. Пивень И. С. Обеспечение надежности и диагностика дефектов гидроэнергетического оборудования: анализ неисправностей и методы вибрационной диагностики //Вестник науки. – 2025. – Т. 4. – №. 1 (82). – С. 1215-1223.
8. Crocker M. J., Arenas J. P. Engineering acoustics: noise and vibration control. – John Wiley & Sons, 2021.
9. Zhao Q. et al. Vibration control of a rotor system by shear thickening fluid dampers //Journal of Sound and Vibration. – 2021. – Т. 494. – С. 115883.
10. Jin X. et al. Robust vibration control for active suspension system of in-wheel-motor-driven electric vehicle via μ -synthesis methodology //Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. – 2022. – Т. 144. – №. 5. – С. 051007.
11. 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.
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. 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.
14. 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.
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. Wen B. et al. Vibration utilization engineering. – Cham : Springer, 2022. – C. 57.

Авторы публикации

Басенко Василий Романович – преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия.
vasiliybas123@mail.ru

Манахов Валерий Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия.

References

1. Rednikov S. N. et al. Diagnostics of electrical components of hydraulic equipment: the effectiveness of an integrated approach // Agroengineering. - 2024. - Vol. 24. - No. 2. - P. 71-77.
2. Skvortsov O. B., Stashenko V. I. Dynamic mechanical loads on conductive elements of electromechanical equipment associated with the impact of electric and magnetic fields // BBK 22.9 M 39 Editorial board: Dr. of Phys. and Mathematics, Professor V. E. Gromov, Dr. of Engineering Sciences, Associate Professor D. V. Zagulyaev. – 2023. – V. 13. – P. 91.
3. Gubarev V. A. Modern methods of vibration control of high-voltage transformers // Innovative path of development as a response to the challenges of the new time. – 2021. – P. 23-26.
4. Zelenina A. I. Design of the Yarnemskaya HPP on the Onega River. Vibration control system of a hydraulic unit: dis. – Siberian Federal University; Sayano-Shushensky branch of SFU, 2023.
5. Zayniev A. V., Shaidullin V. F., Khakimyanov M. I. Analysis of modern methods of diagnostics of gas piston units with synchronous generators at oil production sites // Electrical and information complexes and systems. - 2023. - Vol. 19. - No. 3. - P. 133-144.
6. Li J. Y., Zhu S. Self-powered active vibration control: concept, modeling, and testing // Engineering. - 2022. - Vol. 11. - P. 126-137.
7. Piven I. S. Ensuring reliability and diagnostics of defects in hydropower equipment: fault analysis and vibration diagnostics methods // Science Bulletin. - 2025. - Vol. 4. - No. 1 (82). - P. 1215-1223.
8. Crocker M. J., Arenas J. P. Engineering acoustics: noise and vibration control. - John Wiley & Sons, 2021.
9. Zhao Q. et al. Vibration control of a rotor system by shear thickening fluid dampers //Journal of Sound and Vibration. - 2021. - Vol. 494. - P. 115883.
10. Jin X. et al. Robust vibration control for active suspension system of in-wheel-motor-driven electric vehicle via μ -synthesis methodology //Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. – 2022. – Vol. 144. – No. 5. – P. 051007.
11. Modeling the operation of mobile charging station equipment for charging electric vehicles in order to confirm compliance with climatic and mechanical performance groups / T. I. Petrov, A. R. Safin, E. I. Gracheva [et al.] // Bulletin of Moscow State Technical University. Transactions 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.
12. Development of a mock-up of a mobile electric transport charging unit and a test rig / 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. Analysis of the technical level of developments in the field of mobile charging units for electric transport / A. R. Safin, V. R. Basenko, M. F. Nizamiyev [et al.] // News of higher educational institutions. Problems of energy. - 2023. - Vol. 25, No. 3. - P. 55-64. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-3-55-64. – EDN BJTZLX.
14. 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.
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 power engineering. - 2022. - Vol. 24, No. 3. - P. 130-143. - DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-130-143. - EDN TTLTLL.
16. Wen B. et al. Vibration utilization engineering. - Cham : Springer, 2022. - P. 57.

Authors of the publication

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

Valery A. Manakov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

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

Получено

19.03.2025 г.

Отредактировано

12.08.2025 г.

Принято

01.10.2025 г.