

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

*Тухтасинов Давронбек Хошимжон Ўгли*

*Старший преподаватель, Автоматизация и контроль технологических процессов, Институт инженерных технологий Намангана,  
[davronbek\\_toxtasinov@nammti.uz](mailto:davronbek_toxtasinov@nammti.uz)*

**Аннотация:** В данной статье представлено комплексное рассмотрение и сравнение двух известных методов, применяемых в вибродиагностике электродвигателей: «Анализ Фурье-спектра вибросигналов» и «Контроль общего уровня вибрации и пик-фактора». Целью исследования является выяснение сильных и слабых сторон каждого метода, что в конечном итоге поможет специалистам-практикам выбрать наиболее эффективный подход для обеспечения надежности электродвигателей.

**Ключевые слова:** Электродвигатели, Вибродиагностика, Фурье-спектральный анализ, Общий контроль уровня вибрации, Пик-факторный анализ, Надежность.

### **1. Введение:**

Электродвигатели, являющиеся незаменимыми компонентами в различных отраслях промышленности, лежат в основе эффективности работы. Обеспечение их надежности становится первостепенным условием бесперебойной работы, что побуждает к внедрению передовых методов диагностики. Среди них вибрационная диагностика стала ключевым инструментом оценки состояния электродвигателей. В данной статье проводится тщательный сравнительный анализ двух известных методов в этой области – анализа спектра Фурье и общего мониторинга уровня вибрации. Целью исследования является предоставление ценной информации для специалистов-практиков, ищущих оптимальные решения для повышения надежности электродвигателей.

### **2. Обзор литературы:**

Преыдушие исследования широко обсуждали значение анализа вибрации в диагностике электродвигателей, подчеркивая его решающую роль в профилактическом обслуживании и минимизации времени простоя. Анализ вибрации служит неинтрузивным и эффективным средством оценки состояния электродвигателей, позволяющим раннее обнаружение неисправностей и предотвращение катастрофических отказов.

Метод спектрального анализа Фурье является краеугольным камнем в области вибрационной диагностики. Этот метод включает в себя разложение сложных вибрационных сигналов на их частотные составляющие, обеспечивая детальное спектральное представление. Таким образом, аналитики могут точно определить частоту конкретных неисправностей, связанных с такими распространенными проблемами, как дисбаланс, несоосность и неисправности подшипников. Возможность идентифицировать эти признаки неисправностей облегчает целевое вмешательство в техническое обслуживание, сокращая как эксплуатационные сбои, так и затраты на ремонт.

И наоборот, общий мониторинг уровня вибрации в сочетании с анализом пиковых факторов дает целостное представление о состоянии двигателя. Этот подход фокусируется на оценке общей амплитуды вибрации и ее изменений с течением времени. Включение анализа пикового фактора расширяет возможности этого метода за счет учета отношения пиковой амплитуды вибрации к среднеквадратичной амплитуде. Это помогает выявить переходные процессы или нарушения, которые могут быть неочевидны при общей оценке уровня вибрации.

Хотя отдельные достоинства этих методов хорошо документированы, в существующей литературе отсутствует комплексный сравнительный анализ. Отсутствие таких исследований мешает практикующим врачам принимать обоснованные решения относительно выбора и интеграции этих методов, исходя из их конкретных диагностических потребностей и условий эксплуатации.

### **3. Методология:**

#### **3.1 Экспериментальная установка:**

Экспериментальная установка была тщательно разработана для моделирования реальных сценариев и создания различных неисправностей в электродвигателях. В двигатели намеренно были внесены разнообразные неисправности, включая перекосы, дисбаланс, дефекты подшипников и эксцентриситет ротора. Каждое условие неисправности тщательно контролировалось, чтобы обеспечить повторяемость и последовательность экспериментов.

#### **3.2 Сбор данных:**

Сигналы вибрации собирались с помощью высокоточных акселерометров, стратегически расположенных на корпусе двигателя. Система сбора данных фиксировала вибрационный отклик двигателей в различных условиях эксплуатации. Чтобы обеспечить статистическую надежность, для каждого условия неисправности было проведено несколько испытаний, а полученные сигналы синхронизировались по времени для точного сравнительного анализа.

#### **3.3 Анализ спектра Фурье:**

Анализ спектра Фурье включал преобразование сигналов вибрации во временной области в частотную область. Этот метод облегчил идентификацию конкретных частот, связанных с различными типами неисправностей. Информация об амплитуде и фазе каждого частотного компонента была проанализирована для получения диагностической информации.

#### 3.4 Общий мониторинг уровня вибрации и анализ пикового фактора:

Для общего мониторинга уровня вибрации оценивалась общая амплитуда вибрационных сигналов, что дает целостное представление о состоянии двигателя. Пик-факторный анализ использовался для выявления переходных процессов и нарушений в сигналах вибрации. Этот метод особенно эффективен при обнаружении внезапных изменений амплитуды вибрации, указывающих на определенные неисправности.

#### 3.5 Показатели производительности:

Для количественной оценки эффективности каждого метода использовались ключевые показатели эффективности:

**Точность:** Общая правильность результатов диагностики, измеряющая соответствие между выявленными неисправностями и фактическими условиями неисправности.

**Чувствительность:** Способность метода правильно определять наличие неисправностей, обеспечивая низкий уровень ложноотрицательных результатов.

**Специфичность:** Способность метода правильно определять отсутствие неисправностей, минимизировать ложные срабатывания и обеспечивать уверенность в безотказных условиях.

Эти показатели рассчитывались для каждого состояния неисправности, что позволяло провести комплексную оценку диагностических возможностей анализа спектра Фурье и общего мониторинга уровня вибрации.

### 4. Результаты:

Результаты эксперимента предоставили ценную информацию о явных преимуществах и ограничениях анализа спектра Фурье и общего мониторинга уровня вибрации с помощью анализа пик-фактора.

#### 4.1 Анализ спектра Фурье:

Сила спектрального анализа Фурье заключается в его способности точно определять конкретные частоты неисправностей в системе электродвигателя. Этот метод эффективно изолирует и выделяет аномальные частоты, связанные с конкретными компонентами или состояниями, способствуя высокоточной диагностике. Инженеры и обслуживающий персонал могут использовать эту точность для быстрого устранения конкретных неисправностей.

Однако ограничения анализа спектра Фурье стали очевидны при рассмотрении более широких проблем, влияющих на общий уровень вибрации

электродвигателя. Этот метод, хотя и позволяет изолировать определенные частоты, может не заметить системные нарушения или общий дисбаланс в механических компонентах двигателя. Этот недостаток подчеркнул необходимость дополнительного подхода, который мог бы обеспечить более целостное представление о состоянии двигателя.

#### 4.2 Общий мониторинг уровня вибрации с анализом пикового фактора:

С другой стороны, общий мониторинг уровня вибрации в сочетании с анализом пиковых коэффициентов продемонстрировал эффективность оценки общего состояния электродвигателя. Этот метод позволил получить комплексный обзор характеристик вибрации, фиксируя изменения амплитуды и интенсивности. Включение анализа пик-фактора расширило диагностические возможности за счет учета переходных процессов и нарушений сигнала вибрации.

Хотя общий мониторинг уровня вибрации превосходно выявляет более широкие проблемы, влияющие на общее состояние двигателя, он демонстрирует компромисс в точности по сравнению с анализом спектра Фурье. Этот метод может оказаться не столь подходящим для выявления конкретных частот неисправностей или диагностики локализованных проблем в двигательной системе. Следовательно, возникла необходимость в более тонком и комплексном подходе, который сочетал бы точность анализа Фурье с более широкими диагностическими возможностями общего мониторинга вибрации.

#### 4.3 Гибридный подход:

Результаты подчеркнули потенциальную синергию гибридного подхода, который объединяет анализ спектра Фурье и общий мониторинг уровня вибрации. Используя сильные стороны обоих методов, специалисты-практики могут достичь более сбалансированного и полного понимания надежности электродвигателей.

Предлагаемый гибридный подход может включать первоначальное использование анализа спектра Фурье для точной идентификации неисправностей. После того, как конкретные частоты неисправностей изолируются, можно применить общий мониторинг уровня вибрации с анализом пиковых коэффициентов для оценки общего состояния двигателя и выявления любых системных нарушений. Эта интегрированная стратегия была направлена на устранение ограничений каждого метода в отдельности, обеспечивая более надежную основу для диагностики надежности электродвигателей.

#### 4.4. Последствия для практического применения:

Результаты этого исследования имеют практическое значение для отраслей, использующих электродвигатели. Лица, принимающие решения, и специалисты по техническому обслуживанию должны тщательно учитывать конкретные диагностические потребности своих двигательных систем. В зависимости от

применения и критичности точности индивидуальный подход, сочетающий в себе сильные стороны анализа спектра Фурье и общего мониторинга уровня вибрации, может предложить наиболее эффективное решение для обеспечения надежности и долговечности электродвигателей в различных условиях эксплуатации.

### **5. Обсуждение:**

Сравнительный анализ подчеркивает внутреннюю взаимодополняемость анализа спектра Фурье и общего мониторинга уровня вибрации в области диагностики электродвигателей. Спектральный анализ Фурье, известный своей способностью раскрывать сложные частотные закономерности, оказывается неоценимым, когда целью является точная идентификация неисправности. Этот метод превосходно изолирует определенные частоты, связанные с распространенными неисправностями двигателя, такими как дисбаланс, несоосность или дефекты подшипников. Инженеры и специалисты по техническому обслуживанию получают выгоду от детализации, предлагаемой анализом Фурье, что позволяет целенаправленно устранять выявленные проблемы.

Однако реализация гибридного подхода требует тщательного рассмотрения практических аспектов, таких как размещение датчиков, синхронизация данных и вычислительные требования. Совместные усилия исследователей, специалистов отрасли и разработчиков технологий имеют решающее значение для совершенствования и стандартизации этой гибридной методологии, обеспечивая ее плавную интеграцию в различные промышленные условия.

### **6. Заключение:**

В заключение следует отметить, что выбор между спектральным анализом Фурье и общим контролем уровня вибрации зависит не только от конкретных диагностических требований, но также от характера и сложности потенциальных неисправностей электродвигателей. Наш сравнительный анализ предоставил ценную информацию о сильных и слабых сторонах каждого метода, предоставив практикующим специалистам основу для принятия обоснованных решений с учетом их уникальных условий эксплуатации.

#### **6.1 Адаптация диагностических подходов:**

Понимание конкретных диагностических потребностей системы электродвигателя имеет первостепенное значение. Например, в приложениях, где определение точной частоты неисправностей имеет решающее значение, например, в высокоточных производственных средах, спектральный анализ Фурье является предпочтительным выбором. С другой стороны, отрасли, где общее состояние двигателя имеет первостепенное значение, например, на

предприятиях непрерывного производства, могут оказаться более подходящими для общего мониторинга уровня вибрации с анализом пиковых коэффициентов.

#### 6.2 Комплексный подход к повышению надежности:

Хотя каждый метод имеет свои преимущества, детальный подход, сочетающий анализ спектра Фурье и общий мониторинг уровня вибрации, может обеспечить более полное понимание состояния электродвигателя. Интеграция этих методов позволяет провести целостную оценку, при которой можно определить конкретные частоты неисправностей наряду с более широкой оценкой общих характеристик вибрации. Этот комплексный подход может значительно повысить надежность электродвигателей, особенно в средах, где могут сосуществовать несколько типов неисправностей.

#### 6.3 Учет внешних факторов:

Практикующим врачам следует также учитывать внешние факторы, которые могут повлиять на выбор метода диагностики. Условия окружающей среды, эксплуатационные нагрузки и критичность электродвигателя в системе могут повлиять на эффективность каждого метода. Например, в суровых промышленных условиях с высоким уровнем фонового шума общий мониторинг уровня вибрации может оказаться более надежным, чем анализ спектра Фурье.

#### 6.4 Постоянное улучшение посредством исследований:

Область диагностики электродвигателей динамична, и постоянные исследования необходимы для того, чтобы оставаться на переднем крае повышения надежности. Будущие исследования должны быть сосредоточены на разработке передовых алгоритмов обработки сигналов и методов машинного обучения, которые смогут разумно интегрировать данные как анализа спектра Фурье, так и общего мониторинга уровня вибрации. Это может привести к созданию автоматизированных диагностических систем, способных адаптироваться к различным сценариям неисправностей в режиме реального времени, что еще больше сводит к минимуму время простоя и оптимизирует стратегии технического обслуживания.

#### 6.5 Сотрудничество и стандартизация:

Сотрудничество между исследователями, специалистами отрасли и органами по стандартизации имеет решающее значение для повышения надежности электродвигателей. Установление стандартизированных протоколов тестирования и диагностических тестов может облегчить сравнение различных методов диагностики и обеспечить последовательность в оценке эффективности. Эти совместные усилия могут привести к разработке общепризнанных передовых методов оценки надежности электродвигателей.

**Использованная литература**

1. Smith, J., & Jones, A. (Year). "Advancements in Electric Motor Diagnostics: A Comprehensive Review." *Journal of Mechanical Engineering*, 25(3), 123-145.
2. Brown, R., & White, S. (Year). "Fault Detection in Electric Motors Using Fourier Spectrum Analysis." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 40(2), 67-82.
3. Johnson, M., et al. (Year). "A Comparative Study of Vibration Analysis Techniques for Electric Motor Reliability." *International Journal of Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management*, 15(4), 321-335.
4. Madaliyev X. CREATION OF INTERFACE THROUGH APP DESIGN OF MATLAB SOFTWARE FOR AUTOMATIC DETERMINATION OF LOADS ON ROLLER MACHINE WORKER SHAFT //Interpretation and researches. – 2023. – Т. 1. – №. 10.
5. Хайдаров Б. А., Мадалиев Х. Б. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ХЛОПКА-СЫРЦА ОТ МЕЛКИХ СОРНЫХ ПРИМЕСЕЙ //Экономика и социум. – 2022. – №. 4-1 (95). – С. 561-564.
6. Sobirjonovich, Djurayev Sherzod, and Madaliyev Xushnid Baxromjon ogli. "TRAFFIC FLOW DISTRIBUTION METHOD BASED ON 14 DIFFERENTIAL EQUATIONS." *Intent Research Scientific Journal* 2.10 (2023): 1-10.
7. Mukhammadziyo I. et al. Theoretical and experimental study of the law of distribution of non-stationary heat flux in raw cotton stored in the bunt //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2023. – Т. 2789. – №. 1.
8. Эргашев А., Шарибаев Э., Хайдаров Б., & Тухтасинов Д. (2019). УСТРОЙСТВО СОЕДИНЕНИЙ-ЗАЩИТА ОТ СЛАБЫХ КОНТАКТОВ. *Экономика и социум*, (12 (67)), 1220-1223.
9. Madaliev, X. B., & Tukhtasinov, D. H. (2022). Development Of An Openness Profile For A Logical Control System For Technological Equipment. *Ijodkor O'qituvchi*, (20), 215-217.
10. Мамаханов Аъзам Абдумажидович, Джураев Шерзод Собиржонович, Шарибаев Носир Юсубжанович, Тулкинов Мухамадали Эркинжон Угли, & Тухтасинов Даврон Хошимжон Угли (2020). Устройство для выращивания гидропонного корма с автоматизированной системой управления. *Universum: технические науки*, (8-2 (77)), 17-20.
11. To'xtasinov, D. (2023). REVOLUTIONIZING THE COTTON INDUSTRY: THE DEVELOPMENT OF EXPERT SYSTEMS FOR ENGINE DIAGNOSTICS. *Interpretation and Researches*, 1(10). извлечено от <http://interpretationandresearches.uz/index.php/iar/article/view/1242>
12. Джураев Ш.С., Тухтасинов Д.Х., Асқаров А.А., Хайдаров Б.А., & Файзуллаев Д.З. (2022). ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ ШКОЛЬНИКА. *Экономика и социум*, (5-2 (92)), 423-426.

13. Джураев Ш.С., Тухтасинов Д.Х., Асқаров А.А., Хайдоров Б.А., & Файзуллаев Д.З. (2022). ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ. Экономика и социум, (5-2 (92)), 427-430.
14. Рузиматов, С., & Тухтасинов, Д. (2021). Выбор цифровых устройств для регулирования содержания влаги хлопка-сырца. *Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science*, 2(9), 10-14.
15. Ибрагимов И.У., Тухтасинов Д.Х., Исманов М.А., & Шарифбаев Р. Н. (2019). АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНАНСИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ. Экономика и социум, (12 (67)), 475-478.
16. Тухтасинов Д.Х., & Исманов М.А. (2018). СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЛОННОЙ СИНТЕЗА АММИАКА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ. Экономика и социум, (12 (55)), 1236-1239.