

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ В СИСТЕМЕ АТЭД СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Курилкин Дмитрий Николаевич

Кандидат технических наук, доцент

Хамидов Отабек Рустамович

Доктор технических наук, профессор, ТГТУ

Исомов Зиёджон Тошпулат угли

Магистрант ТГТУ

АННОТАЦИЯ

Данное исследование посвящено изучению методов вибродиагностики асинхронных тяговых электродвигателей (АТЭД), применяемых на современных электровозах. Основное внимание уделено анализу вибрационных сигналов, возникающих в процессе работы электродвигателей, с целью определения их технического состояния. В исследовании подробно рассматриваются характеристики спектра вибрации, особенно в случае наличия дефектов на внутреннем или внешнем кольце подшипников, а также динамика их изменений. С помощью спектрограмм наглядно показаны различия между исправными и повреждёнными состояниями. Анализ указывает на то, что, несмотря на наличие изменений в области высокочастотной вибрации, это не всегда является однозначным признаком дефекта. Поэтому в диагностике необходимо применять комплексный подход, включающий спектральный анализ, логическую фильтрацию и установление порогов отклонений. Результаты исследования имеют важное прикладное значение для точной оценки состояния АТЭД, раннего выявления неисправностей и повышения эксплуатационной надёжности.

Ключевые слова: Асинхронный тяговый электродвигатель (АТЭД), вибрационная диагностика, электровоз, дефект подшипника, спектральный анализ, высокочастотная вибрация, оценка технического состояния, спектрограмма.

DETERMINATION OF BEARING DEFECTS IN THE ATEM SYSTEM OF MODERN ELECTRIC LOCOMOTIVES BASED ON SPECTRAL ANALYSIS.

Kurilkin Dmitriy Nikolayevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Xamidov Otabek Rustamovich

Doctor of Technical Sciences, Professor at TSTU

Isomov Ziyodjon Toshpo'lat o'g'li

Master's Student at TSTU

ABSTRACT

This study is devoted to the investigation of vibration diagnostic methods for asynchronous traction electric motors (ATEM) used in modern electric locomotives. The main focus is on the analysis of vibration signals generated during the operation of electric motors in order to determine their technical condition. The study examines in detail the characteristics of the vibration spectrum, especially in the case of defects on the inner or outer ring of the bearings, as well as the dynamics of their changes. Spectrograms clearly show the differences between serviceable and damaged conditions. The analysis indicates that, despite the presence of changes in the high-frequency vibration range, this is not always a clear sign of a defect. Therefore, a comprehensive approach must be used in diagnostics, including spectral analysis, logical filtering, and the establishment of deviation thresholds. The results of the study are of great practical importance for the accurate assessment of the condition of the ATED, early detection of malfunctions, and improvement of operational reliability.

Keywords: *Asynchronous traction electric motor (ATED), vibration diagnostics, electric locomotive, bearing defect, spectral analysis, high-frequency vibration, technical condition assessment, spectrogram.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время обеспечение энергетической эффективности и эксплуатационной надежности в железнодорожном транспорте требует постоянного контроля технического состояния тяговых электродвигателей. Особенно актуальным является применение вибрационной диагностики для оценки технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей (АТЭД), широко используемых на современных электровозах. В данной статье особое внимание уделено принципам раннего выявления неисправностей подшипников

АТЭД на основе анализа вибрационных сигналов, а также оценке их технического состояния. На основе спектрального анализа изучены частотные характеристики дефектов, подчеркнута важность комплексного подхода при диагностике, включая анализ сложных случаев, логическую фильтрацию и установление диагностических порогов. Результаты исследования способствуют повышению эксплуатационной надежности АТЭД.

Принципы проведения вибродиагностики асинхронных электродвигателей, применяемых на современных электровозах, основаны на систематическом анализе вибрационных сигналов, генерируемых этими двигателями во время работы [1-7]. Специализированные датчики и сенсоры устанавливаются на электродвигателях для непрерывного мониторинга и регистрации параметров вибрации. Результаты испытаний включают в себя анализ спектра вибрации, выявление характерных частотных составляющих, оценку уровня вибрации и изменений его динамики в течение времени. На основе этих данных формируются отчеты о текущем техническом состоянии электродвигателей [2-4]. Применение вибродиагностики позволяет оперативно выявлять потенциальные неисправности и предупреждать о возможных проблемах с оборудованием. Это улучшает надежность и безопасность работы электровозов, а также оптимизирует процессы обслуживания. Основные методы и процедуры вибродиагностики используются для оценки состояния АТЭД, описанная ранее, направлена на определение реального состояния электродвигателя через анализ параметров вибрационного сигнала. Эта методика направлена на определение состояния электродвигателя по его принадлежности к двум категориям: нормальному или неисправному. Выбраны обобщенные состояния, которые включают неуравновешенность ротора, неравномерность воздушного зазора и дефекты подшипников.

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ результатов вибрации трех асинхронных электродвигателей локомотива с короткозамкнутым ротором и их влияние на подшипники. [5-8]. Спектрограмма подшипника без дефектов, изображенная на рисунке 1.4, демонстрирует характеристики вибрации в нормальном состоянии. Однако на рисунках 1.1 и 1.2 представлены спектры вибрации для подшипников с дефектами внутреннего и внешнего кольца соответственно. Эти спектры позволяют выявить изменения в характере вибрации, связанные с наличием дефектов в структуре подшипника, что может быть ключевым при диагностике и предотвращении возможных поломок. Анализ таких спектров позволяет выявить характерные частоты, связанные с различными типами дефектов в подшипниках [9-17]. Это помогает оперативно обнаружить проблемы и

предпринять соответствующие меры по их устранению, что важно для обеспечения безопасной и эффективной работы локомотивов.

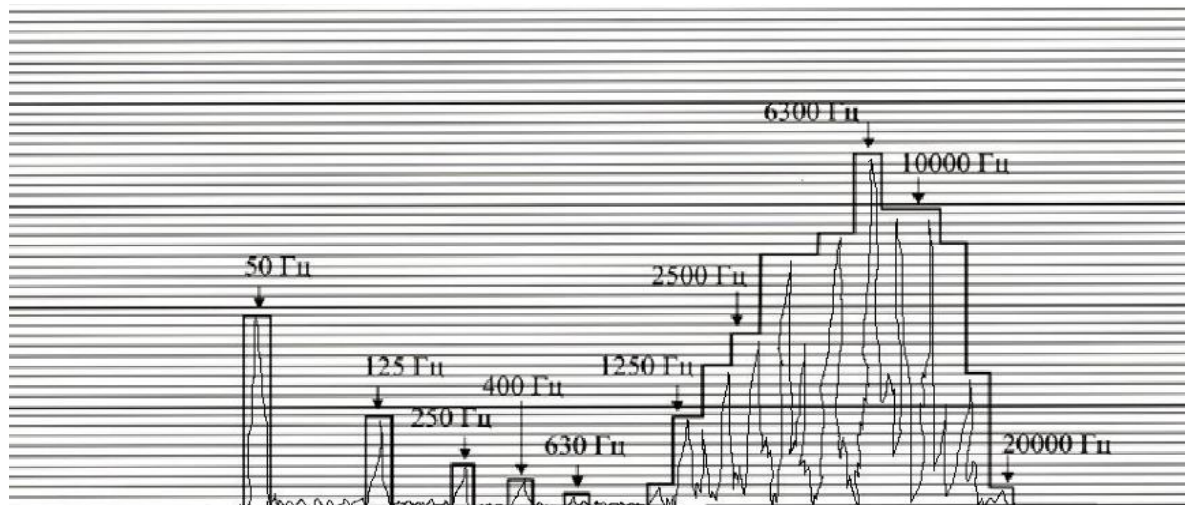


Рис.1.1. На спектрограмме представлены колебания исправного электродвигателя

Анализ спектрограммы указывает на то, что определение присутствия дефекта может быть затруднено, даже при наблюдаемом увеличении вибрации в высокочастотной области. Это означает, что даже если наблюдаются изменения в высокочастотной составляющей вибрации, они не всегда являются определенным признаком наличия дефекта. Для точного выявления дефектов в подшипниках требуется комплексный подход, включающий не только анализ спектрограммы, но и другие методы диагностики и оценки состояния оборудования.

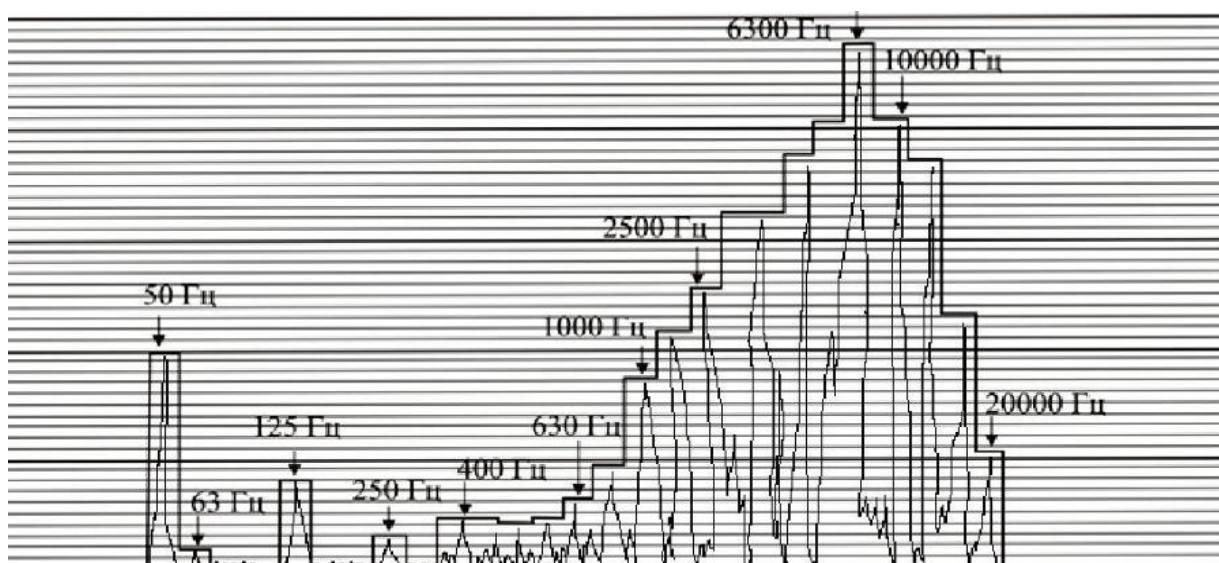


Рис.1.2. Характеристики колебаний электродвигателя с дефектом внутреннего кольца подшипника.

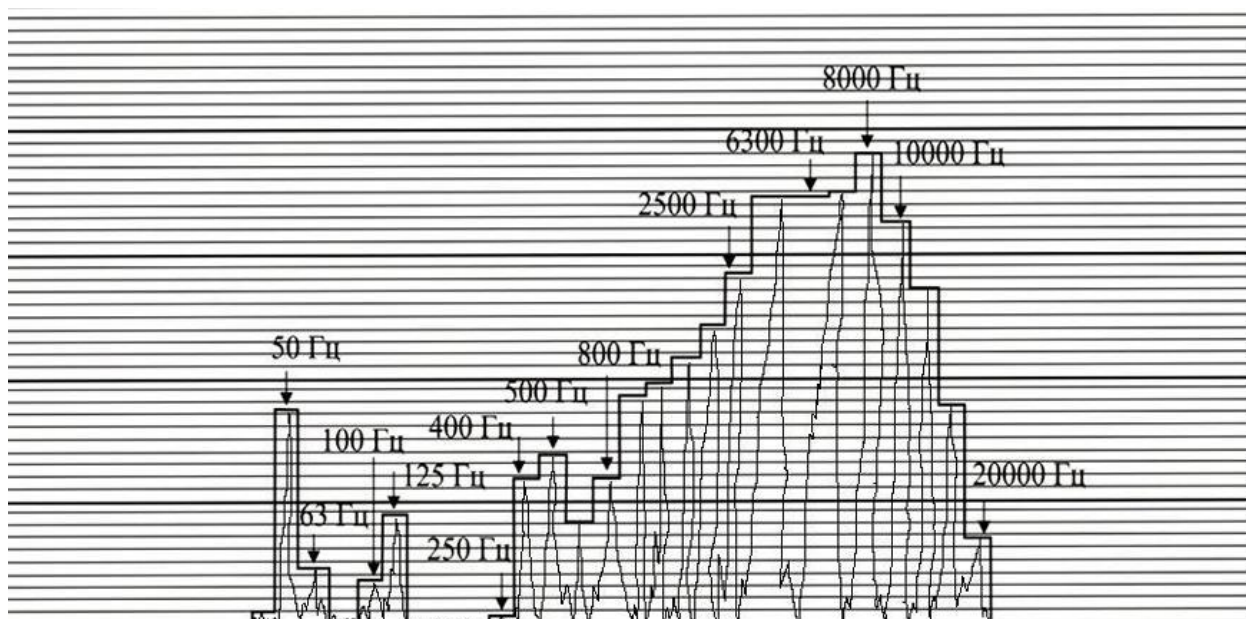


Рис. 1.3. Колебания электродвигателя с дефектом во внешнем кольце подшипника.

Рисунки 1.1 – 1.3 демонстрируют спектры вибрации, зарегистрированные с помощью узкополосного анализатора типа 3348 в пределах частот от 0 до 1000 Гц. Из анализа спектрограмм видно увеличение интенсивности конкретных компонентов вибрации. Тем не менее, точное определение наличия и типа дефекта затруднено из-за того, что интенсивность указанных компонентов, связанных с подшипником на частотах перекачивания тел качения, остается почти неизменной [14-18].

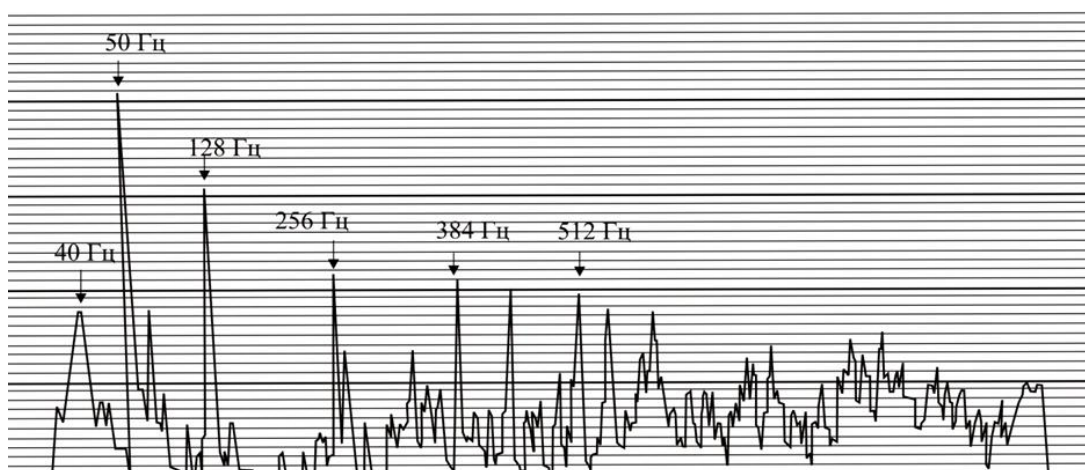


Рис.1.4. Характеристика вибрации для исправного электродвигателя

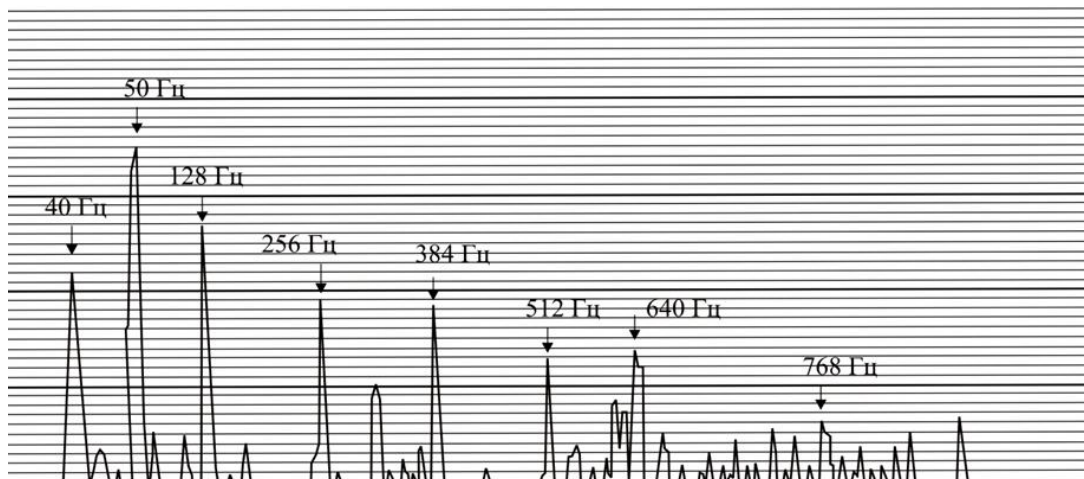


Рис. 1.5. Характеристика вибрации для электродвигателя с дефектом

Характеристики на рисунках 1.4 – 1.5 содержат ключевую информацию о типе дефекта. На спектрограмме вибрации локомотивного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и бездефектными подшипниками наблюдается только дискретная компонента с частотой перекачивания тел качения, что характерно для исправного подшипника. [19-24].

Важно учитывать, что, даже если наблюдается модуляция высокочастотного спектра вибрации на определенной частоте, что иногда возможно даже при исправном подшипнике, нужно устанавливать достаточно высокие пороги для глубины модуляции в существующих методах диагностики, как отмечено в литературе [25-29]. Это подчеркивает сложность обнаружения дефектов, которые могут проявиться модуляцией с недостаточной глубиной, таких как начальные стадии развития дефектов. Это описание относится к анализу спектра вибрации асинхронного электродвигателя, который используется с подшипником, страдающим от дефекта на его внутреннем или внешнем кольце. Появление высоко выраженных компонентов с кратными частотами в спектре указывает на нарушение, вызванное дефектом подшипника. Например [30], при дефекте на внешнем кольце помимо основной частоты вибрации могут возникать гармоники или кратные ей частоты, что указывает на проблему. Аналогично, при дефекте на внутреннем кольце появляются компоненты с частотой 222 Гц и их кратные, что также свидетельствует о наличии проблемы этого типа. Неравномерность при установке подшипника может вызвать дополнительные пики в спектре огибающей вибрации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Вибродиагностические методы играют важную роль в оценке технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей (АТЭД), используемых на современных электровозах. Данная технология диагностики реализуется путем измерения вибрационных сигналов, возникающих во время работы двигателя, и их спектрального анализа. На основании данных, полученных с помощью специальных датчиков, делаются выводы о техническом состоянии электродвигателя. Результаты исследований показывают, что дефекты подшипников во внутренних и наружных кольцах обладают характерными вибрационными спектрами, по которым можно на ранней стадии выявить неисправности. Особенно наглядной является модуляция компонентов вибрации в области высоких частот, что позволяет обнаружить дефекты даже на начальной стадии их развития. Однако такой подход требует высокой точности, поскольку в отдельных случаях вибрационные изменения могут быть недостаточно выраженными. Поэтому рекомендуется применять вибродиагностику в комплексе с другими методами оценки состояния оборудования. Данная технология способствует обеспечению безопасной и надежной эксплуатации электровозов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Yusufov, A. (2023). ANALYSIS OF THE STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE LOCOMOTIVE FLEET JSC “O‘ZBEKISTON TEMIR YO‘LLARI” . Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent, 13(1), 16–21. Retrieved from <https://acta.polito.uz/index.php/journal/article/view/181>
2. Abdurasulov, S. X., Zayniddinov, N. S. O. G. L., & Yusufov, A. M. O. G. L. (2023). SANOAT LOKOMOTIVLARINING XIZMAT MUDDATINI UZAYTIRISHDA BAJARILADIGAN ASOSIY ISHLAR. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 3(10), 29-36.
3. Abdurasulov, S. X., Zayniddinov, N. S., Yusufov, A. M., Jamilov, Sh. F., & Keldibekov, Z. O. (2023). O ‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI TOG_KON SANOATIDA FOYDALANILAYOTGAN TORTISH AGREGATLARI PARKINING TAHLILI. Academic research in educational sciences, 4(8), 146-157.
4. Yusufov, A., Khamidov, O., Zayniddinov, N., & Abdurasulov, S. (2023). Prediction of the stress-strain state of the bogie frames of shunting locomotives using the finite element method. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 03041). EDP Sciences.

5. Abdurasulov, S., Zayniddinov, N., Yusufov, A., & Jamilov, S. (2023). Analysis of stress-strain state of bogie frame of PE2U and PE2M industrial traction unit. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 04022). EDP Sciences.
6. Abdulaziz, Y., Otabek, K., Nuriddin, Z., Shukhrat, J., & Sherzamin, A. (2023). APPLICATION OF COMPUTER-AIDED DESIGN (CAD) SYSTEMS WHEN SOLVING ENGINEERING SURVEY TASKS. *Universum: технические науки*, (3-5 (108)), 5-9.
7. Хамидов, О. Р., Юсуфов, А. М. У., Зайниддинов, Н. С. У., Жамилов, Ш. Ф. У., & Абдурасулов, Ш. Х. (2023). ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЛОКОМОТИВОВ. *Universum: технические науки*, (2-3 (107)), 48-53.
8. Кодиров, Н. С., Юсуфов, А. М., & Хамидов, О. Р. (2022). КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СОВРЕМЕННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ. «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение, 236.
9. Кодиров, Н. С., Юсуфов, А. М., Хамидов, О. Р., & Валиев, М. Ш. (2022). Разработка метода для определения динамической нагруженности узлов подвижного состава с применением неразрушающего контроля. In Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте (pp. 98-105).
10. Yusufov, A. (2022). О ‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI TEMIR YO‘LLARIDAGI MANEVR LOKOMOTIVLARINI TAHLILI VA RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI. *Science and innovation*, 1(A8), 943-950.
11. Yusufov, A. M. O. G. L. (2022). “О ‘ZBEKISTON TEMIR YO ‘LLARI” AJ LOKOMOTIV PARKI TAHLILI. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(11), 251-258.
12. Хамидов, О. Р., Кодиров, Н. С., Юсуфов, А. М., & Абдулатипов, У. И. (2022). Виды повреждений несущих конструкций и технологические аспекты их возникновения. *Инновационные подходы, проблемы, предложения и решения в науке и образовании*, 1(1), 142-147.
13. Абляимов, О. С., Юсуфов, А. М., & Вохидов, А. П. (2016). Обоснование параметров перевозочной работы локомотивов дизельной тяги в эксплуатации. *Вестник транспорта Поволжья*, (4), 15-20.
14. Khamidov, O. R., Yusufov, A. M., Kodirov, N. S., & Abdurasulov, S. X. (2023). DETERMINATION OF THE RESOURCE OF PARTS AND ASSEMBLY OF THE TRACTION ROLLING STOCK USING NON-DESTRUCTIVE TESTING

METHODS. In Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы (pp. 510-514).

15. Khamidov, O. R., Yusufov, A. M., Abdurasulov, S. X., & Jamilov, S. F. (2023). INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE BOGIE FRAME OF SHUNTING LOCOMOTIVES USING THE FINITE ELEMENT METHOD. In Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы (pp. 504-509).

16. Grishchenko, A. B., Yusufov, A. M., & Kurilkin, D. N. (2023). Forecasting the residual service life of the main frame and extending the service life of shunting locomotives JSC "UTY". In E3S Web of Conferences (Vol. 460, p. 06032). EDP Sciences.

17. Abdurasulov, S., Zayniddinov, N., Yusufov, A., & Jamilov, S. (2023). Analysis of stress-strain state of bogie frame of PE2U and PE2M industrial traction unit. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 04022). EDP Sciences.

18. Кодиров, Н. С., Юсуфов, А. М., Хамидов, О. Р., & Валиев, М. Ш. (2022). Разработка метода для определения динамической нагруженности узлов подвижного состава с применением неразрушающего контроля. In Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте (pp. 98-105).

19. Jamilov, S. F., Samatov, S. A., Yusufov, A. M., Azimov, S. M., & Abdurasulov, S. X. (2023). ANALYSIS OF RELIABILITY INDICATORS OF LOCOMOTIVE TRACTION MOTORS. In Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы (pp. 145-150).

20. Khamidov, O. R., Yusufov, A. M., Abdurasulov, S. X., & Jamilov, S. F. (2023). INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE BOGIE FRAME OF SHUNTING LOCOMOTIVES USING THE FINITE ELEMENT METHOD. In Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы (pp. 504-509).

21. ABDURASULOV, S., & ZAYNIDDINOV, N. (2023). PE2M VA PE2U TORTISH AGREGATLARI RAMA KONSTRUKSIYALARI PARAMETRLARI VA O 'ZIGA XOSLIKLARINING TAHLILI. Journal of Research and Innovation, 1(10), 8-19.

22. Abdurasulov, S. X., Zayniddinov, N. S., Yusufov, A. M. O. G. L., Jamilov, S. F. O. G. L., & Keldibekov, Z. O. (2023). O 'ZBEKISTON RESPUBLIKASI TOG _ KON SANOATIDA FOYDALANILAYOTGAN TORTISH AGREGATLARI PARKINING TAHLILI. Academic research in educational sciences, 4(8), 146-157.

23. Abdulaziz, Y., Otabek, K., Nuriddin, Z., Shukhrat, J., & Sherzamin, A. (2023). APPLICATION OF COMPUTER-AIDED DESIGN (CAD) SYSTEMS WHEN SOLVING ENGINEERING SURVEY TASKS. *Universum: технические науки*, (3-5 (108)), 5-9.
24. Хамидов, О. Р., Юсуфов, А. М. У., Зайниддинов, Н. С. У., Жамилов, Ш. Ф. У., & Абдурасулов, Ш. Х. (2023). Оценка долговечности сварных несущих конструкций локомотивов. *Universum: технические науки*, (2-3 (107)), 48-53.
25. Zayniddinov, N., & Abdurasulov, S. (2022). Durability analysis of locomotive load bearing welded structures. *Science and innovation*, 1(A8), 176-181.
26. Abdurasulov, S. X., Zayniddinov, N. S. O. G. L., & Yusufov, A. M. O. G. L. (2023). SANOAT LOKOMOTIVLARINING XIZMAT MUDDATINI UZAYTIRISHDA BAJARILADIGAN ASOSIY ISHLAR. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(10), 29-36.
27. Yusufov, A. M. O. G. L. (2022). “O ‘ZBEKISTON TEMIR YO ‘LLARI” AJ LOKOMOTIV PARKI TAHLILI. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(11), 251-258.
28. Хамидов, О. Р., Кодиров, Н. С., Юсуфов, А. М., & Абдулатипов, У. И. (2022). Виды повреждений несущих конструкций и технологические аспекты их возникновения. *Инновационные подходы, проблемы, предложения и решения в науке и образовании*, 1(1), 142-147.
29. Абдулазиз, Ю. М. Ё., Жўраев, А. К., Вохидов, А. П., & Рахимназаров, Р. Т. (2022). Прогнозирование технического состояния дизель-генераторной установки (ДГУ) тепловозов с помощью аппаратно-программного комплекса «БОРТ». *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(9), 573-579.
30. Хамидов, О. Р., Юсуфов, А. М. У., Зайниддинов, Н. С. У., Жамилов, Ш. Ф. У., & Абдурасулов, Ш. Х. (2023). Оценка долговечности сварных несущих конструкций локомотивов. *Universum: технические науки*, (2-3 (107)), 48-53.