

DOI 10.58351/2949-2041.2025.20.3.002

УДК 681.5.08: 620.179.17

Полетаев Александр Александрович,
аспирант ФГБОУ «Росбиотех», Москва
Poletaev Alexander Alexandrovich
Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

Яблоков Александр Евгеньевич
д.т.н., профессор, ФГБОУ «Росбиотех», Москва
Yablokov Alexander Evgenyevich,
Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ
ВИБРОДИАГНОСТИКИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В СИСТЕМЕ АТЛАНТ
EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SPECTRAL VIBRATION
DIAGNOSTICS OF GEARS IN THE ATLANT SYSTEM**

Аннотация: В статье проведена оценка технического состояния зубчатых передач и подшипников качения методом натурного моделирования дефектов на лабораторной установке и обработкой полученных результатов с помощью системы Атлант.

Abstract: The article evaluates the technical condition of gears and rolling bearings by the method of full-scale modeling of defects in a laboratory installation and processing the results obtained using the Atlant system.

Ключевые слова: автоматизация производства, вибродиагностика, сигнал, спектральный анализ, техническое обслуживание.

Keywords: automation of production, vibration diagnostics, signal, spectral analysis, maintenance.

Современные агропромышленные предприятия в условиях шестого технологического уклада и четвертой промышленной революции сложно представить без автоматизированной системы диагностики имеющегося оборудования по его фактическому состоянию [1,5,6]. Анализ вибраций механизмов оборудования с помощью датчиков виброметров (акселерометров) является неотъемлемой частью комплексов мониторинга производственных машин и агрегатов и позволяет получить необходимую информацию о состоянии узлов машины [2,3]. Контроль вибрации позволяет выявить повышенную вибрацию и предупредить преждевременный вибрационный износ механизма, диагностировать опасные развивающиеся состояния, которые могут привести к серьезным повреждениям, проводить безразборный анализ состояния агрегата применяя общую теорию распознавания образов и прогнозировать отказ с помощью искусственных нейронных сетей [4,7,9]. Низкочастотным анализом вибраций до 1000Гц такими системами можно выявить, например, дефект зубчатой передачи, дисбаланс ротора, люфт подшипника, несоосность валов, дефекты шкивов и ремней, ударные нагрузки и другие. При высокочастотном виброанализе 1кГц-10кГц система увидит появление отклонений в спектрах вибраций характерных для состояний отсутствия смазки в подшипнике, появления люфтов в опорной системе, резонансных явлений, акустической эмиссии при трещинах и прочих. Некоторые дефекты могут проявляться в обоих диапазонах частот, для точной диагностики необходимо использовать комплексный подход, сочетающий анализ вибрации в разных диапазонах частот с другими методами диагностики [8,10].



В качестве объекта исследований выступают семь смоделированных состояний зубчатых передач на лабораторном стенде ФГБОУ «Росбиотех» представленном на рисунке 1. Результаты исследований получены с помощью применения комплексной автоматизированной системы Атлант, включающей в себя программное обеспечение с базой агрегатов и узлов различных производственных установок, синхронного регистратора-виброанализатора «Диамех» АУ-014, датчика вибрации (акселерометра). На испытательном стенде состоянию 1 (норма) соответствовало радиальное биение ведущей шестерни 10мкм, ведомой 15мкм, межосевое состояние валов 88,75мм; при состоянии 2 (дефект зуба) биение составляло 18мкм; при состоянии 3 (эксцентриситет шестерни)- 0,045мм; состоянию 4 (перекос вала) угол перекоса составил 2.6 градуса; при состоянии 5 (увеличенный зазор) между валами зазор был увеличен на 2 мм; состоянию 6 (подшипник с колотой обоймой) зазоры между валами соответствовали состоянию «норма», как и в случае состояния 7 (подшипник без смазки). Ведомая шестерня имеет 26 зубьев, а ведущая 45, испытание проводилось при постоянном 500 об/мин вращения двигателя, с усилием динамического тормоза 2,25 Нм (0,3А).

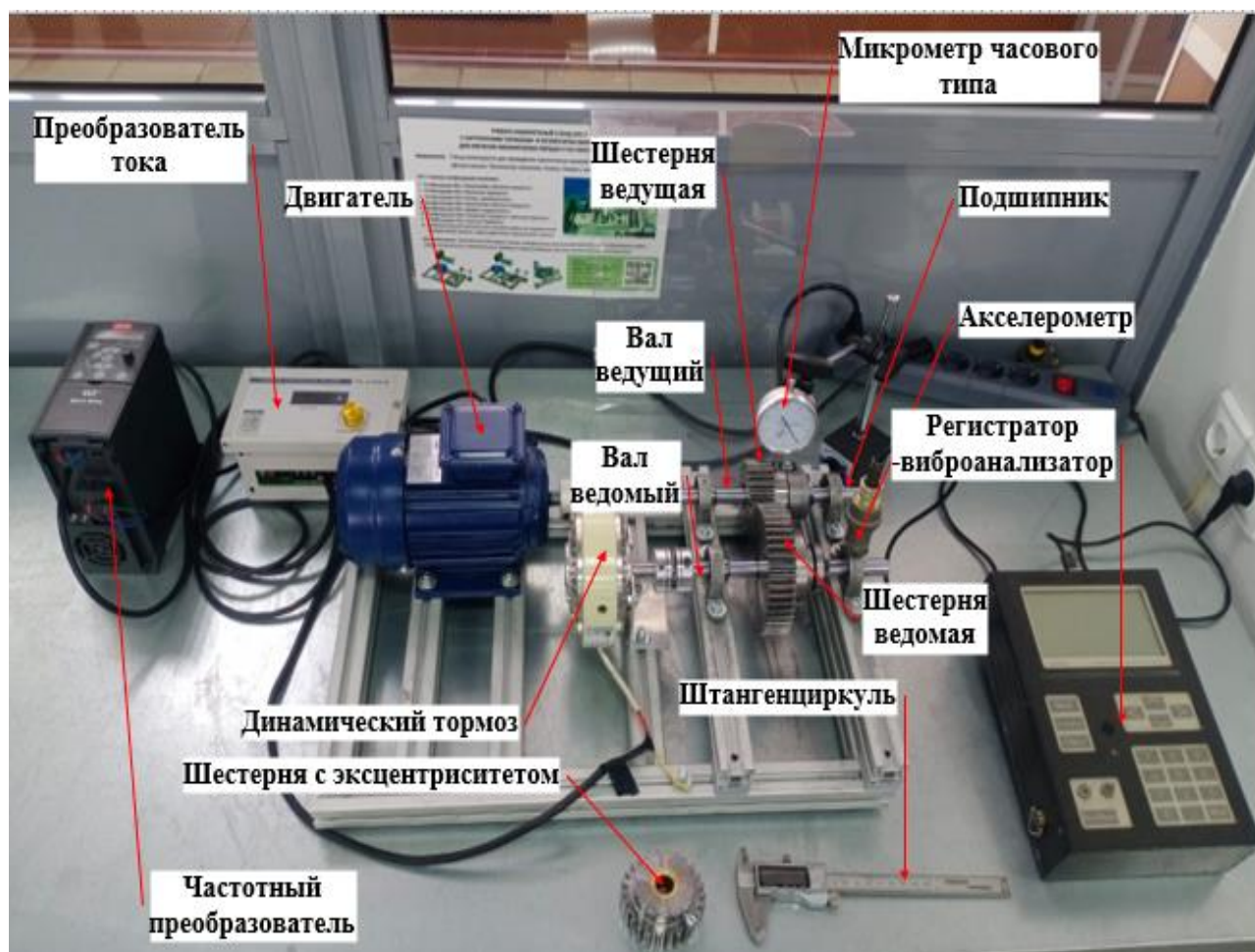


Рис. 1 – Испытательная установка

Результаты вибродиагностики графически представлены на рисунке 2. Состояния 1-5 проанализированы по виброскорости при частоте 10Гц-1кГц, состояние 6,7 по ускорению при 1-10кГц.

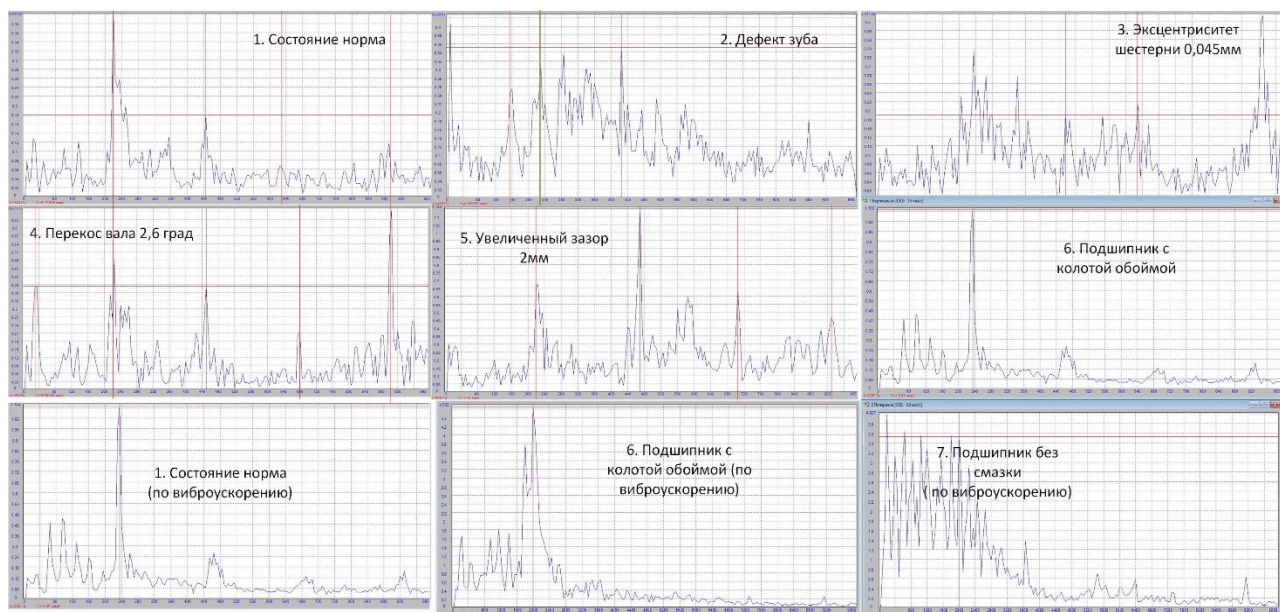


Рисунок 2 – Спектры вибраций подшипникового узла

В результате исследований частота вращения ведущего вала составила $f_1=9,4$ Гц, ведомого вала $f_2=6,4$ Гц. Состоянию «норма» соответствует всплеск амплитуды виброскорости до $0,39$ мм/с происходит при $f_3=216,6$ Гц, эта частота соответствует частоте пересопряжения зубьев на частотах 205 Гц и 235 Гц. При состоянии «дефект зуба» всплеск амплитуды виброскорости значительно возрастает до $0,3$ мм/с на частоте 340 Гц, повторяется на 425 Гц до $0,35$ мм/с, при 510 Гц и при 580 Гц. При состоянии 3 «эксцентриситет шестерни» и увеличенный зазор появляется значительное увеличение амплитуды до $0,28$ мм/с на частоте 340 Гц, также наблюдаются скачки амплитуд от 545 Гц-660 Гц и значительное ее увеличение на частоте 930 Гц до $0,41$ мм/с. При состоянии 4 «перекос вала» скачки амплитуд проявляются уже с низких частот 30 Гц- $0,38$ мм/с, 225 Гц- $0,48$ мм/с, 450 Гц- $0,38$ мм/с, 680 Гц- $0,21$ мм/с, 905 Гц- $0,66$ мм/с. При состоянии 5 «увеличенный зазор» скачки амплитуд начинаются с низких частот 10 Гц- $0,29$ мм/с, 220 Гц- $0,66$ мм/с, 470 Гц- $1,15$ мм/с, 585 Гц- $0,59$ мм/с, 705 Гц- $0,62$ мм/с, 930 Гц- $0,46$ мм/с. Состояние 6 «подшипник с дефектной обоймой» на всем диапазоне частот и при анализе по спектрам виброскорости и при анализе по спектрам виброускорения в 2 раза выше чем при состоянии «норма» что характерно предельно высокому уровню вибрации. При состоянии 7 «подшипник без смазки» анализ частот по спектрам виброускорения показал значительный всплеск амплитуд на всем диапазоне частот.

В заключение по результатам исследований и изучению литературных источников можно утверждать, что эффективность вибродиагностики дефектов зубчатых передач и подшипников системой Атлант имеет высокую эффективность и её целесообразно применять на оборудовании АПК. Для соответствия шестому технологическому укладу большое значение имеет использование нейронных сетей для анализа и прогнозирования во времени отказов узлов оборудования по их фактическому состоянию.

Список литературы:

1. Вибро-Центр [Электронный ресурс]: Виброконтроль. Мониторинг. – Режим доступа: [http:// www.vibrocenter.ru/vdr.htm](http://www.vibrocenter.ru/vdr.htm). – Загл. с экрана.
2. Гольдин-А.С.-1999-Вибрация-роторных-машин. М. Машиностроение, 1999, 344с.
3. Датчики: измерение перемещений, деформаций и усилий: учебное пособие для вузов/ В. Л. Зудин, Ю. П. Жуков, А. Г. Маланов. – 2е изд. Москва: изд. Юрайт; Ярославль: издат дом ЯГТУ, 2020. – 199 с. – (Высшее образование). – Текст: непосредственный.
4. Орешина, М. Н. Применение искусственного интеллекта в инновационной деятельности промышленных предприятий / М. Н. Орешина // E-Management. – 2021. – Т. 4, № 1. – С. 29-37. – DOI 10.26425/2658-3445-2021-4-1-29-37. – EDN VMGGPA.



5. Полетаев А. А, Яблоков А. Е.. Метрологическое обеспечение обслуживания и диагностирования предприятия по производству пищевых концентратов/Полетаев А.А., Яблоков А.Е.// Метрологическое обеспечение инновационных технологий: VI Междунар. форум: сб. ст. / под ред. академика РАН В. В. Окрепилова. – СПб.: ГУАП, 2024. – 550 с.

6. Сироткин Р. О, Полетаев А. А, Яблоков А. Е.. Информационные технологии для удаленного мониторинга и управления оборудованием на производстве пищевых концентратов / Полетаев А. А. и др.// материалы III Международной научно-практической конференции «Теория и практика экономики гражданской защиты на страже безопасности жизнедеятельности современного общества». 26 декабря 2023 г.-М.:ФГБОУ «Финансовый университет при правительстве РФ», 2023.

7. Яблоков, А. Е. Научно-практические основы создания автоматизированных систем технического мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий на базе нейросетевых методов анализа данных: специальность 23.30.00: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Яблоков Александр Евгеньевич, – Москва, МГУПП, 2022. – 377 с. – EDN UUXKVH.

8. Яблоков А. Е. Вибродиагностика основного технологического оборудования размольного отделения мельницы: автореф. дис.... канд. техн. наук. – М., МГУПП, 2021. – 24 с.

9. Яблоков А. Е [и др.]. Вибродиагностика оборудования зерноперерабатывающих предприятий с использованием методов нейросетевого анализа данных // Наука и бизнес: пути развития. 2019. (№ 7 (97)). С. 10-13.

10. Яблоков А. Е., Федоренко Б. Н., Латышев М. А. Технический мониторинг, диагностика и защита оборудования // Комбикорма. 2018. № 6. – С. 32-34.

