

УДК 681.518:66.045.53
DOI: 10.14489/td.2026.07.pp.018-024

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ВИБРОДИАГНОСТИКЕ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ



С. В. Антонычев,
ООО «Энергопромсервис»,
Москва, Россия.
E-mail: 25111976@list.ru

Рассматриваются системные проблемы внедрения вибродиагностики на промышленных предприятиях Российской Федерации, среди которых ключевыми являются дефицит квалифицированных специалистов и отсутствие унифицированного методического обеспечения. В качестве решения этих проблем предложено использование автоматизированных экспертных систем. На практическом примере виброобследования и виброналадки дымососа котла мусоросжигательного завода продемонстрированы возможности портативной диагностической экспертной системы «ДИЭС». Система автоматически идентифицировала комплекс дефектов, включая дисбаланс рабочего колеса, дефект подшипника ходовой части и отсутствие жесткости крепления опоры. В течение одной рабочей смены большая часть дефектов была устранена: выполнена обтяжка анкерных болтов и динамическая балансировка ротора, что привело к снижению уровня вибрации более чем в 5 раз. Последующее разрушение подшипника, предсказанное системой, подтвердило высокую достоверность диагностики. Таким образом, экспертные системы типа «ДИЭС» являются эффективным инструментом для перехода к обслуживанию по фактическому состоянию, позволяя компенсировать недостаток опыта персонала и повышая надежность оборудования.

Ключевые слова: вибродиагностика, экспертные системы, техническое состояние, обслуживание по фактическому состоянию, динамическая балансировка, диагностика.

S. V. Antonychev (Energopromservice LLC, Moscow, Russia)

A MODERN APPROACH TO VIBRATION DIAGNOSTICS OF ROTARY EQUIPMENT IN THE CONTEXT OF A SHORTAGE OF QUALIFIED PERSONNEL

The article discusses the systemic problems of implementing vibration diagnostics at industrial enterprises in the Russian Federation, including the lack of qualified specialists and the absence of unified methodological support. The use of automated expert systems is proposed as a solution to these problems. The article uses the example of a portable diagnostic expert system called DIES to demonstrate the capabilities of vibration diagnostics and vibration adjustment of a boiler smoke exhaust fan at a waste incineration plant. The system automatically identified a range of defects, including imbalance of the impeller and loose support mounting. During one work shift, most of the defects were eliminated: the anchor bolts were tightened, and the rotor was dynamically balanced, resulting in a reduction of the vibration level by more than 5 times. The subsequent bearing failure predicted by the system confirmed the high accuracy of the diagnostics. Thus, expert systems such as DIES are an effective tool for transitioning to actual condition-based maintenance, compensating for the lack of personnel experience and increasing equipment reliability.

Keywords: vibration diagnostics, expert systems, technical condition, actual condition maintenance, dynamic balancing, diagnostics.



Статья поступила в редакцию 18.11.2025
Статья принята к публикации 23.01.2026

Received 18.11.2025
Accepted for publication 23.01.2026

Вибрационные сигналы несут в себе исчерпывающую информацию о динамическом состоянии роторных машин (насосов, вентиляторов, компрессоров, турбоагрегатов и др.) и являются ключевым параметром для оценки их технического состояния [1]. Несмотря на это, на многих промышленных предприятиях Российской Федерации вибродиагностике не уделяется должного системного внимания. Наблюдается значительный разброс в уровне развития служб диагностики – от их полного отсутствия и решения возникающих проблем по мере их возникновения до высокоразвитых подразделений, занимающихся диагностикой объектов критической инфраструктуры предприятия и прогнозированием их отказов на постоянной основе.

При этом актуальность развития служб диагностики обусловлена растущей потребностью промышленности в переходе от устаревшей системы *планово-предупредительных ремонтов* (ППР) к стратегии *обслуживания по фактическому состоянию* (ОФС). В этом контексте вибромониторинг выступает в роли основного инструмента, обеспечивающего объективную оценку состояния оборудования без его остановки и разборки [2].

Основная сложность в развитии служб диагностики на предприятиях заключается в наличии нескольких взаимосвязанных системных ограничений, препятствующих эффективному внедрению и эксплуатации систем вибромониторинга.

Во-первых, ключевым вызовом является острая нехватка на предприятиях готовых специалистов в области вибродиагностики. Как показывает практика, краткосрочные курсы по программам подготовки вибродиагностов I и II уровня (например, в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 18436-2–2015 [3]) представляют собой необходимое, но недостаточное условие для формирования полноценного эксперта. Глубокое понимание физических основ вибрационных процессов и диагностических признаков дефектов формируется в течение нескольких лет практической работы с разнотипным оборудованием. Решение таких задач, как балансировка роторов, центровка агрегатов, устранение недостатков крепления механизма («мягкой лапы») и отстройка от резонансных частот, составляет основу для профессионального становления специалиста [4].

Во-вторых, на рабочих местах диагностиков зачастую используются разрозненные инструкции, брошюры и технические описания, поставляемые производителями виброизмерительной техники, отличающиеся противоречивостью в интерпретации диагностических признаков однотипных дефектов, затрудняющей усвоение информации. Подготовка специалистов в одной из самых интеллект-

туальных областей неразрушающего контроля и технической диагностики – вибродиагностике – требует доступной для понимания научно-технической литературы [5].

Недостаточный уровень квалификации специалистов и несовершенство методического обеспечения напрямую ведут к значительным производственным издержкам. Ошибки в диагностике становятся причинами как ложных остановок оборудования, так и пропуска критических дефектов, что влечет за собой масштабные аварии и снижение объемов выпуска продукции [6].

В этом контексте разработка автоматизированных экспертных систем, способных формализовать и применять знания опытных диагностов, представляет значительный практический интерес. Одной из таких систем является портативная диагностическая экспертная система «ДИЭС» (АО «ПромСервис», Димитровград), предназначенная для автоматизированной оценки технического состояния широкой номенклатуры оборудования [7].

Принцип работы системы «ДИЭС» основан на сопоставлении измеренных виброакустических сигналов с расчетными моделями дефектов. Специализированное *программное обеспечение* (ПО) системы реализует методику диагностирования, позволяющую на основании паспортных данных агрегата построить математическую модель его механических и электромагнитных дефектов, определяемых по генерируемым объектом виброакустическим шумам. После измерения вибрации система в автоматическом режиме сравнивает полученные характеристики с расчетными и формирует заключение о наличии дефектов.

Аппаратная часть системы включает анализатор для измерения, обработки и хранения виброакустических сигналов и спектров. Уникальность системы «ДИЭС» заключается в совместимости с широким парком измерительных приборов.

Процедура диагностики с использованием системы диагностики «ДИЭС» включает следующие действия: выбор схемы агрегата из библиотеки эталонных конфигураций, внесение таких данных, как марка подшипников, передаточное число и число лопаток, построение измерительного маршрута и проведение измерений вибрации корпусов подшипников в трех взаимно перпендикулярных направлениях в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 20816-1–2021 [8].

Практические возможности экспертной системы «ДИЭС» были испытаны при виброобследовании и последующей виброналадке дымососа котла № 2 на мусоросжигательном заводе МСЗ-4 (Московская область), работавшего с повышенным уровнем вибрации после замены подшипников

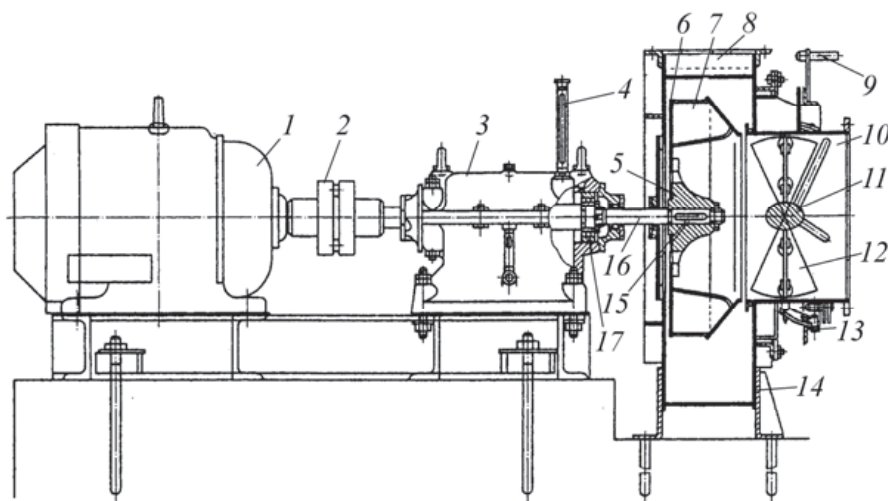


Рис. 1. Кинематическая схема дымососа котла № 2:

1 – электродвигатель; 2 – муфта упругая втулочно-пальцевая; 3 – ходовая часть дымососа; 4 – термометр; 5 – ротор; 6 – диск рабочего колеса дымососа; 7 – лопатки (крыльчатка) рабочего колеса дымососа; 8, 10 – выходной и входной патрубки соответственно; 9 – рукоятка поворота лопастей; 11 – центральный рассекаватель; 12 – поворотные лопасти; 13 – поворотное кольцо; 14 – улиткообразный корпус; 15 – втулка; 16 – вал; 17 – подшипник

1. Маршрут замеров для дымососа котла № 2

Параметр	Частота диапазона, Гц	Количество линий спектра	Средняя частота 1/3-октавного фильтра, кГц	Число усреднений
Спектр виброскорости	2...200 нч	800	–	8
Спектр виброускорения	2...10 000 вч	2048	–	8
Спектр огибающей виброускорения	2...500 нч	2048	6,4	8

ходовой части, проведенной 25 июля 2025 г. В рассмотренном случае вместе с экспертной системой «ДИЭС» использовался анализатор «АГАТ-М» (зав. № 1086, № 29452-05 в Государственном реестре средств измерений).

Кинематическая схема обследуемого агрегата (исполнение 3) представлена на рис. 1. Рабочее колесо вентилятора соединяется с электродвигателем через подшипниковый узел (ходовая часть) посредством упругой втулочно-пальцевой муфты.

Измерения выполнялись в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 20816-1-2021 [8] по трем взаимно перпендикулярным направлениям на опорах подшипников, проходящих через ось вращения: вертикальному, горизонтальному и осевому. Маршрут обследования включал регистрацию спектров виброскорости в низкочастотном (2...200 Гц) и высокочастотном (2...10 000 Гц) диапазонах, а также спектров огибающей виброускорения (табл. 1).

Первичное виброобследование, проведенное 25 июля 2025 г., выявило неудовлетворительное состояние агрегата. Программное обеспечение «ДИЭС» автоматически сформировало протокол

диагностирования (рис. 2), в котором с высокой достоверностью (95 %) были идентифицированы следующие сильные дефекты:

- повышенный уровень вибрации на опорах 3 и 4;
- дисбаланс рабочего колеса;
- отсутствие жесткости крепления опоры 4 («мягкая лапа»).

Среди средних дефектов с высокой долей вероятности (95 %) был выявлен дефект подшипника 3.

Частота вращения агрегата, вычисленная ПО «ДИЭС», на момент первичного виброобследования составляла 1496,36 об./мин (24,94 Гц).

Сопоставление общего уровня вибрации (см. рис. 2) с нормами ГОСТ 31350-2007 (табл. 2) показало, что состояние агрегата соответствует зоне «Останов», что требовало немедленного вмешательства. Задержка с приведением уровня вибрации к допустимому уровню может повлечь за собой повреждение подшипников, появление трещин в роторе и в местах сварки корпуса вентилятора и в конечном итоге разрушение вентилятора [9].

Мусоросжигательный завод

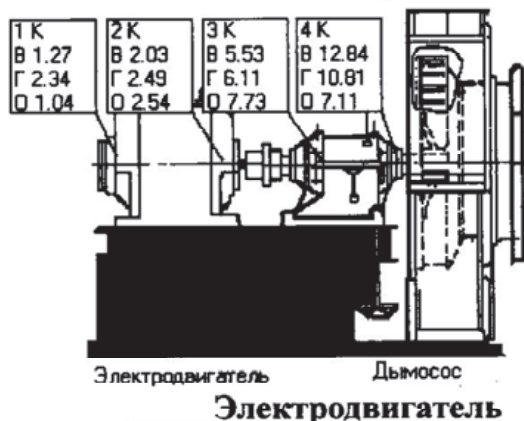
Протокол диагностирования

Цех: МСЗ-4
Агрегат: Дымосос котла №2

Дата диагноза: 25.07.2025 10:44:03 Прогноз остаточного ресурса: 25.07.2025 10:44 (0 дн.)

Частота вращения: 1 496.36 об/мин.

Схема агрегата



Исправен

Дымосос

Вероятн.,%	Сила	Название дефекта
95	Сильный	Повышенная вибрация на опоре 3
95	Сильный	Повышенная вибрация на опоре 4
95	Сильный	Дисбаланс рабочего колеса
95	Средний	Дефект подшипника 3
95	Сильный	Отсутствие жесткости крепления опоры 4

Виброскорости (мм/с) на опорах

Опора	V _{max}	V _{вер.}	V _{гор.}	V _{ос.}
1	7.10	1.270	2.341	1.045
2	7.10	2.032	2.493	2.537
3	7.10	5.527	6.106	7.728
4	7.10	12.839	10.812	7.112

Примечание: * - признак нестандартного диагностического состояния

Диагностирование выполнил: Антонычев С.В.



Рис. 2. Протокол диагностирования дымососа котла № 2, сформированный автоматически диагностической экспертной системой «ДИЭС» по результатам первичного виброобследования

2. Нормы вибрации при эксплуатации тягодутьевых машин по ГОСТ 31350–2007 [9]

Вибрационное состояние вентилятора	Вибрация (жесткая опора), мм/с
Пуск в эксплуатацию	До 4,5
Эксплуатация	От 4,6 до 7,0
Предупреждение	От 7,1 до 8,9
Останов	Свыше 9,0

Опрос технического персонала подтвердил выводы системы: при монтаже подшипников использовался ударный инструмент (кувалда) в результате отсутствия гидравлических съемников и индукционных нагревателей, необходимых для снятия и посадки крупногабаритных подшипников, что указывало на высокую вероятность повреждения подшипников качения при установке.

Для исправления сложившейся ситуации были последовательно проведены два мероприятия по устранению выявленных дефектов.

Сначала была выполнена проверка анкерных болтов опоры 4, которая подтвердила ослабление анкерных болтов, обуславливающее наличие дефекта «мягкая лапа». Спектральный анализ вибрации показал, что максимальный уровень вибрации был зафиксирован на опоре 4, а в спектре (рис. 3) доминирует амплитуда первой оборотной частоты (12,84 мм/с на частоте вращения 24,94 Гц), что свидетельствует о дисбалансе. Обтяжка анкерных болтов позволила исключить влияние ослабленного крепления на вибрационное состояние агрегата.

В 13 ч 00 мин того же дня была проведена одноплоскостная балансировка рабочего колеса методом векторных построений в собственных опорах [10] с использованием ПО «Балансировочный калькулятор». В результате установки двух корректирующих грузов массами 80 и 260 г вибрация на опоре 4 на оборотной частоте была снижена с 437 до 18 мкм (табл. 3). В табл. 3 представлены виды пусков в процессе балансировки: нулевой пуск агрегата, отражающий исходное вибрационное состояние и необхо-

димость проведения балансировки; пробный пуск, позволяющий с установкой пробного груза в определенной плоскости коррекции (А) определить, как внесение известного дисбаланса влияет на параметры вибрации, и рассчитать массу и место установки уравнивающего груза; балансировочный пуск, который проводится для устранения дисбаланса с уравнивающим грузом.

Сравнительный анализ спектров виброскорости (рис. 4) и общего уровня виброскорости (рис. 5) до и после мероприятий показал снижение уровня вибрации более чем в 5 раз – с 12,84 до 2,40 мм/с. После выполнения работ виброактивность агрегата стала соответствовать зоне «Пуск в эксплуатацию» по ГОСТ 31350–2007 [9].

Повторная диагностика, проведенная в 15 ч 33 мин, зафиксировала в протоколе только один остаточный дефект – дефект подшипника 3, что было объяснено его повреждением при некачественном монтаже. Было принято решение продолжить эксплуатацию под наблюдением.

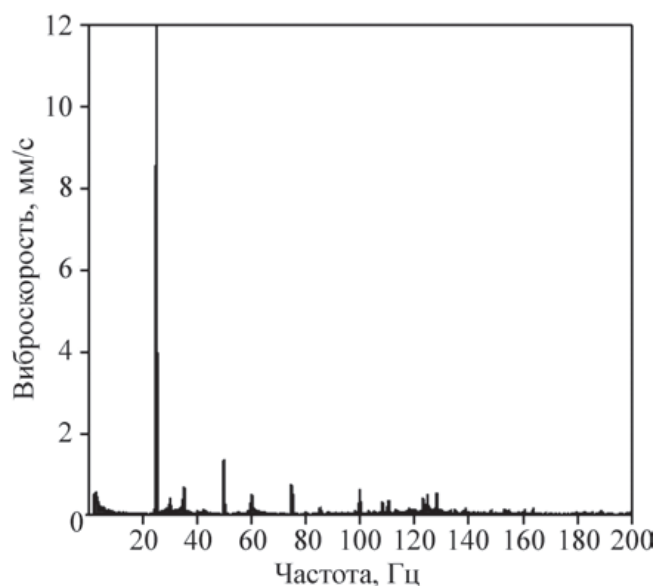


Рис. 3. Спектр виброскорости, зафиксированный на опоре 4 (в вертикальном направлении) дымососа котла № 2, до обтяжки крепления опоры 4 и динамической балансировки рабочего колеса

3. Данные о балансировочных пусках

Вид пуска	Нагружение по плоскости А*	Опора 3В	Опора 3Г	Опора 4В	Опора 4Г
		S**, мкм	S, мкм	S, мкм	S, мкм
Нулевой	—	73	248	437	322
Пробный	80 г в 0°	52	205	355	257
Балансировочный	260 г в 328°	17	19	18	22

*Для балансировки выбрана одна плоскость А.

**S, мкм – динамическую балансировку проводят в размерности виброперемещения, потому что этот параметр позволяет оценить максимальные границы перемещения контролируемой точки в процессе вибрации.

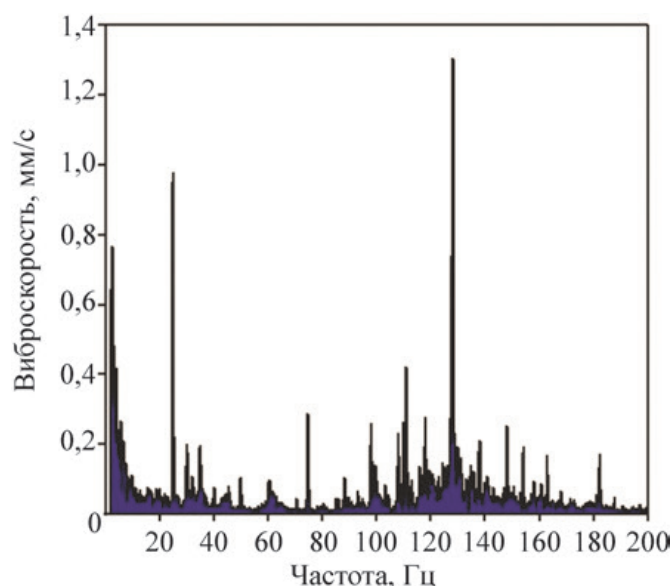


Рис. 4. Спектр виброскорости, зафиксированный на опоре 4 (в вертикальном направлении) дымососа котла № 2 после обтяжки крепления опоры 4 и динамической балансировки рабочего колеса

Последние измерения:

■ 25.07.2025 15:33:48
 ■ 25.07.2025 10:44:03

Значения виброскорости, мм/с:

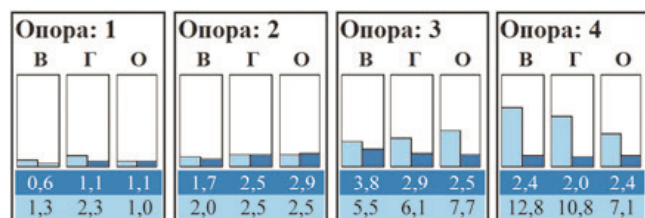


Рис. 5. Гистограммы значений виброскорости дымососа котла № 2, полученные до и после обтяжки крепления опоры 4 и динамической балансировки



Рис. 6. Фотография фрагментов (сепаратор, шарик) разрушенного подшипника 32332 дымососа котла № 2

Спустя 19 дней (12 августа 2025 г.) на опоре 4 дымососа произошло резкое увеличение температуры с последующим разрушением подшипника качения 32332 (рис. 6). Данный отказ подтвердил первоначальный диагноз, поставленный системой «ДИЭС», о наличии дефекта в подшипнике.

Закключение

Практическое применение портативной экспертной системы «ДИЭС» позволило оперативно и с высокой достоверностью диагностировать комплекс дефектов дымососа, большая часть из которых была успешно устранена в течение одной рабочей смены. Последующее разрушение подшипника, предсказанное системой, наглядно демонстрирует возможности автоматизированной вибродиагностики не только для оперативного устранения неисправностей, но и для прогнозирования отказов.

Результаты работы подтверждают, что подобные экспертные системы являются эффективным инструментом для реализации стратегии обслуживания по фактическому состоянию, позволяя повышать надежность и снижать эксплуатационные затраты на промышленных предприятиях, в том числе и в условиях недостаточного уровня квалификации специалистов и несовершенства методического обеспечения по вибродиагностике.

Библиографический список

1. **Randall R. B.** Vibration-Based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications. Hoboken: Wiley, 2011. 312 p.
2. **Иванов В. А., Фещенко А. А.** Особенности подходов к техническому обслуживанию и ремонту оборудования в непрерывном производстве // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2018. № 3. С. 82 – 89.
3. **ГОСТ Р ИСО 18436-2-2015.** Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. М.: Стандартинформ, 2016. 33 с.
4. **Scheffer C., Girdhar P.** Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Amsterdam: Elsevier, 2004. 272 p.
5. **Колобов А. Б.** Вибродиагностика: теория и практика: учеб. пособие. 2-е изд. М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. 250 с.
6. **Правда О. Ю., Яроцкая Н. А.** Влияние высокоточной диагностики состояния оборудования на экономику промышленных предприятий // Станкоинструмент. 2022. № 2(027). С. 78 – 81.
7. **Переносная система** автоматического диагностирования динамического оборудования «ДИЭС» [Электронный ресурс] // ПромСервис. URL: <https://www.promservis.ru/vibro/produkcziya/perenosnye-sistemyi-monitoringa-i-diagnostirovaniya-dies/osnovnyie-funkczii-perenosnoj-sistemyi-dies.html> (дата обращения 06.11.2025 г.).
8. **ГОСТ Р ИСО 20816-1-2021.** Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 1. Общее руководство. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 30 с.
9. **ГОСТ 31350-2007.** Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки. М.: Стандартинформ, 2007. 38 с.
10. **Антонычев С. В.** Балансировка лопастей вентилятора градирни // Электрические станции. 2019. № 12(1061). С. 38 – 41.

References

1. Randall, R. B. (2011). *Vibration-based condition monitoring: Industrial, aerospace and automotive applications*. Wiley.
2. Ivanov, V. A., & Feshchenko, A. A. (2018). Features of approaches to maintenance and repair of equipment in continuous production. *Vestnik PNIPU. Mashinostroyeniye, materialovedeniye*, (3), 82–89. [in Russian language].
3. GOST R ISO 18436-2-2015: *Condition monitoring and diagnostics of machines. Requirements for qualification and assessment of personnel*. (2016). Standartinform. [in Russian language].
4. Scheffer, C., & Girdhar, P. (2004). *Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance*. Newnes (Elsevier).
5. Kolobov, A. B. (2024). *Vibration diagnostics: Theory and practice* (2nd ed.). Infra-Inzheneriya. [in Russian language].
6. Pravda, O. Yu., & Yarotskaya, N. A. (2022). Influence of high-precision equipment condition diagnostics on the economy of industrial enterprises. *Stankoinstrument*, (2), 78–81. [in Russian language].
7. PromServis. (n.d.). *Portable automatic diagnostics system for dynamic equipment "DIES"*. <https://www.promservis.ru/vibro/produkcziya/perenosnye-sistemyi-monitoringa-i-dagnostirovaniya-dies/osnovnyie-funkczii-perenosnoj-sistemyi-dies.html> [in Russian language].
8. GOST R ISO 20816-1-2021: *Vibration. Vibration measurement and assessment of machinery vibration condition. Part 1. General guidance*. (2022). Russian Institute of Standardization. [in Russian language].
9. GOST 31350-2007: *Vibration. Industrial fans. Requirements for produced vibration and balancing quality*. (2007). Standartinform. [in Russian language].
10. Antonychov, S. V. (2019). Balancing of cooling tower fan blades. *Elektricheskie stantsii*, (12), 38–41. [in Russian language].

Для цитирования статьи:

Антонычев С. В. Современный подход к вибродиагностике роторного оборудования в условиях дефицита квалифицированных кадров // Контроль. Диагностика. 2026. Т. 29, № 7. С. 18 – 24. DOI: 10.14489/td.2026.07.pp.018-024

Antonychev, S. V. (2026). A Modern Approach to Vibration Diagnostics of Rotary Equipment in the Context of a Shortage of Qualified Personnel. *Kontrol'. Diagnostika*, 29(7), 18–24. [in Russian language]. <https://doi.org/10.14489/td.2026.07.pp.018-024>



**ООО "ЭНЕРГОПРОМСЕРВИС" -
виброналадка и балансировка
на месте эксплуатации**

Без демонтажа. Работаем по всей России

Предлагаем услугу по виброналадке и динамической балансировке вентиляторов и другого вращающегося оборудования на месте эксплуатации без демонтажа.

Если у вас появились проблемы с вибрацией на оборудовании, ЗВОНИТЕ. Мы с радостью ответим на все ваши вопросы, оперативно прибудем на объект, и гарантировано по результатам вибродиагностики определим и ликвидируем причину повышенной вибрации.

**Адрес: 117624, г. Москва, ул. Изюмская, д. 46
Телефон: +7 (925) 585-31-78 E-mail: 25111976@list.ru**