

*Черкасов А.С.,
ассистент кафедры «Атомные и тепловые электрические станции»
Казанский государственный энергетический университет*

Россия, г. Казань

*Шеронова О.Д.,
студент,*

*3 курс, факультет «Атомной и тепловой энергетики»
Казанский государственный энергетический университет
Россия, г. Казань*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

***Аннотация:** В статье рассматриваются современные методы диагностики насосных агрегатов, применяемые для выявления дефектов на ранней стадии и повышения надежности эксплуатации. Особое внимание уделено комплексной интерпретации диагностических индикаторов и применению цифровой обработки сигналов.*

***Ключевые слова:** насосный агрегат, техническая диагностика, вибродиагностика, тепловизионный контроль, параметрический анализ, электрические методы, прогнозирование состояния.*

***Annotation:** The article examines modern diagnostic methods for pump units, employed for early-stage defect detection and enhanced operational reliability. Particular attention is devoted to the comprehensive interpretation of diagnostic indicators and the application of digital signal processing.*

***Keywords:** pump unit, technical diagnostics, vibration diagnostics, thermal imaging, parametric analysis, electrical methods, condition forecasting.*

Насосные агрегаты относятся к числу наиболее ответственных видов технологического оборудования, работающего в энергетике, нефтегазовой отрасли, водоснабжении и химическом производстве. Их надежность определяет устойчивость технологического процесса, а отказ нередко приводит к остановке всей производственной линии. В этих условиях особое значение приобретает своевременная диагностика технического состояния, позволяющая выявлять дефекты на ранней стадии и предотвращать аварийные ситуации [1, с. 209].

Современная диагностика насосных агрегатов основывается на регистрации и анализе различных физических параметров, отражающих состояние механической, гидравлической и электрической частей оборудования. На практике наибольшее распространение получили вибродиагностика, тепловизионный контроль, анализ рабочих параметров и электрическая диагностика. Использование этих методов в комплексе повышает достоверность оценки состояния и позволяет локализовать источник неисправности с высокой точностью.

Современный подход к обслуживанию насосного оборудования все в большей степени ориентирован на переход от планово-предупредительных ремонтов к ремонту по фактическому состоянию. Это особенно важно для агрегатов, работающих в непрерывных технологических циклах, где незапланированная остановка приводит к значительным экономическим потерям.

Вибродиагностика относится к числу наиболее информативных методов контроля насосных агрегатов. Она основана на регистрации колебаний корпуса, подшипниковых узлов и сопряженных элементов с последующим спектральным и временным анализом сигнала. Поскольку большинство механических дефектов сопровождается изменением вибрационного состояния, данный метод позволяет выявлять дисбаланс ротора, расцентровку валов, износ подшипников, ослабление креплений, кавитацию и другие неисправности [2, с. 30].

Преимущество вибродиагностики заключается в возможности раннего обнаружения дефектов без остановки оборудования. Вибрационные параметры изменяются еще до того, как дефект становится заметным по технологическим показателям, что делает метод особенно ценным для непрерывно работающих насосных установок. Для повышения точности анализа применяются спектральное разложение, анализ огибающей, вейвлет-преобразование и другие методы цифровой обработки сигналов [3, с. 112].

Для электроцентробежных насосов вибродиагностика имеет дополнительное значение, поскольку позволяет косвенно оценивать не только механическое состояние агрегата, но и изменения гидравлического режима. При нарушении нормальной работы могут наблюдаться характерные гармоники, рост амплитуды колебаний и изменение формы спектра. Это делает метод важным инструментом при контроле насосных установок, работающих в сложных эксплуатационных условиях.

Тепловизионный контроль используется для выявления зон локального перегрева, возникающих в подшипниках, муфтах, электродвигателях, уплотнениях и других элементах насосного агрегата. Метод основан на регистрации инфракрасного излучения и построении температурного поля поверхности оборудования. Повышение температуры может свидетельствовать о недостаточной смазке, повышенном трении, нарушении центровки или электрических потерях.

Достоинство тепловизионной диагностики заключается в ее бесконтактности и высокой скорости обследования. Она позволяет выполнять экспресс-оценку состояния оборудования без остановки технологического процесса и без демонтажа элементов. В сочетании с вибродиагностикой тепловизионный контроль значительно повышает достоверность диагностики, особенно в тех случаях, когда дефект проявляется одновременно в механической и тепловой формах.

Параметрическая диагностика основывается на анализе эксплуатационных характеристик насоса, таких как расход, напор, мощность,

КПД и давление на выходе. Сравнение фактических значений с паспортными или нормативными данными позволяет оценивать степень износа и отклонения от нормального режима работы. Данный метод особенно эффективен для выявления гидравлических нарушений, связанных с засорением проточной части, износом рабочего колеса, нарушением герметичности или кавитацией [4, с. 31].

Электрические методы диагностики основаны на анализе токов, напряжений, мощности и других параметров, характеризующих работу электродвигателя насосного агрегата. Наиболее распространенным подходом является анализ электрической сигнатуры, позволяющий выявлять отклонения, связанные с механическими неисправностями, перекосом фаз, повреждением обмоток, неравномерностью нагрузки и нарушениями в системе питания.

Преимущество электрической диагностики заключается в том, что она может применяться даже в тех случаях, когда доступ к механической части ограничен. Это особенно важно для погружных насосов и установок, работающих в труднодоступных условиях. Электрические параметры часто отражают состояние агрегата косвенно, но в сочетании с вибрационными и параметрическими данными позволяют получить достаточно полную картину технического состояния [5, с. 56].

При эксплуатации электроцентробежных насосов электрические методы особенно удобны для мониторинга в режиме реального времени, поскольку дают возможность отслеживать изменение нагрузки и выявлять отклонения от устойчивого режима работы.

Развитие современных систем диагностики насосных агрегатов связано с применением цифровой обработки сигналов и методов интеллектуального анализа данных. Преобразование Фурье, вейвлет-анализ, кепстральный анализ, методы выделения огибающей и другие алгоритмы позволяют извлекать информативные признаки из шумных и нестационарных сигналов.

Особое значение приобретают методы машинного обучения, которые используются для классификации дефектов, прогнозирования остаточного ресурса и выявления скрытых закономерностей в многомерных данных. Такие технологии особенно полезны при эксплуатации насосов в переменных режимах, когда традиционные пороговые методы диагностики оказываются недостаточно эффективными [6, с. 88].

Интеллектуальная аналитика позволяет перейти от фиксации уже возникших неисправностей к прогнозированию их развития. В результате повышается точность принятия решений по техническому обслуживанию и сокращаются непроизводительные простои оборудования.

Современные методы диагностики насосных агрегатов представляют собой совокупность взаимодополняющих подходов, ориентированных на своевременное выявление и анализ дефектов. Наиболее значимыми среди них являются вибродиагностика, тепловизионный контроль, параметрический и электрический анализ. Каждый из этих методов имеет собственную область применения и диагностическую чувствительность, однако наибольшую эффективность обеспечивает их комплексное использование.

Интеграция традиционных измерительных методов с цифровой обработкой сигналов и интеллектуальными алгоритмами повышает точность диагностики, снижает вероятность ложных решений и создает основу для обслуживания насосного оборудования по техническому состоянию. Это особенно важно для современных промышленных объектов, где надежность насосных агрегатов напрямую влияет на устойчивость технологического процесса и экономическую эффективность производства.

Список литературы:

1. Биби Р. С. Прогностическое обслуживание насосов на основе мониторинга технического состояния / Р. С. Биби. — Лондон : Elsevier, 2004. — 209 с.

2. Меньшиков С. С. Методы параметрической диагностики грунтовых насосов систем гидротранспорта // Записки Горного института. — 2012. — Т. 195. — С. 30–34.

3. Реализация алгоритма БПФ для вибродиагностики УЭЦН на основе анализа сигналов вибрации // Молодой ученый. — 2020. — № 5 (296). — С. 123–127. — URL: <https://moluch.ru/archive/296/67103/> (дата обращения: 21.04.2026).

4. Диагностика УЭЦН при эксплуатации в условиях осложненного фонда скважин // Вестник УГНТУ. Серия «Нефтегазовое дело». — 2021. — № 1. — С. 45–52. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44348801> (дата обращения: 21.04.2026).

5. Износ и вибрация насосных секций УЭЦН // Бурение и нефть. — 2025. — № 2. — URL: https://burneft.ru/archive/issues/detail.php?ELEMENT_ID=62105 (дата обращения: 21.04.2026).

6. Сравнительный анализ виброакустических методов оценки технического состояния насосного оборудования атомных электростанций // Наука и образование. — 2012. — № 2. — С. 77–82. — URL: <https://na-journal.ru/2-2012-tehnicheskie-nauki/77-sravnitelnyj-analiz-vibroakusticheskikh-metodov-ocenki-tehnicheskogo-sostojani> (дата обращения: 21.04.2026).

7. ГОСТ Р 7.0.5–2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления : национальный стандарт. — Введ. 01.07.2009. — М. : Стандартинформ, 2009. — 19 с.

8. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения : межгосударственный стандарт. — М. : Изд-во стандартов, 1996. — 10 с.