

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНОГО АГРЕГАТА НА ОСНОВЕ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Хаитова Азиза Рузимаматовна

Преподаватель кафедры «Современные информационно-коммуникационные технологии»

Международной академии исламоведения Узбекистана

Тел: +998906118511, E-mail: xaitovaaziza45@gmail.com

DOI: 10.61587/mmit.tiue.uz.v1i1.400

Аннотация. В работе представлена математическая модель вибрационного датчика, установленного на насосном агрегате, в условиях дискретного времени. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения надёжности и эксплуатационной устойчивости насосных установок за счёт своевременного контроля их технического состояния. Вибрационные параметры рассматриваются как информативный диагностический признак, отражающий динамические изменения в работе агрегата при различных режимах нагрузки.

Ключевые слова: насосный агрегат, вибрация, дискретная модель, мониторинг состояния, техническая диагностика.

MATHEMATICAL MODELING OF THE TECHNICAL CONDITION OF A PUMP UNIT BASED ON VIBRATION SIGNALS

Khaitova Aziza Ruzimamatovna

Lecturer, Department of Modern Information and Communication Technologies

International Islamic Academy of Uzbekistan

Phone: +998 90 611 85 11, E-mail: xaitovaaziza45@gmail.com

Abstract. The paper presents a mathematical model of a vibration sensor installed on a pump unit under discrete-time conditions. The relevance of the study is determined by the need to improve the reliability and operational stability of pumping systems through timely monitoring of their technical condition. Vibration parameters are considered as an informative diagnostic indicator reflecting dynamic changes in the operation of the unit under different load conditions.

Keywords: pump unit, vibration, discrete model, condition monitoring, technical diagnostics.

Введение

Насосные агрегаты являются одним из наиболее ответственных элементов промышленных и коммунальных технологических систем. Их бесперебойная работа напрямую влияет на устойчивость производственного процесса, энергетическую эффективность оборудования и безопасность эксплуатации. В условиях длительной нагрузки насосные установки подвергаются воздействию механических, гидродинамических и эксплуатационных факторов, которые постепенно изменяют техническое состояние вращающихся узлов, подшипников, вала и соединительных элементов.

Анализ литературы и методы исследования

В научных исследованиях по технической диагностике промышленного оборудования вибрационный анализ рассматривается как один из наиболее эффективных методов контроля состояния машин с вращающимися элементами. Вибрационный сигнал отражает совокупное влияние механических и динамических процессов, происходящих внутри агрегата. Именно поэтому изменение его амплитуды,

частоты и длительности может быть использовано в качестве диагностического критерия.

В работах по вибрационной диагностике подчёркивается, что единичное превышение вибрационного уровня не всегда свидетельствует о реальной неисправности. Кратковременные импульсные колебания могут быть вызваны пусковыми режимами, изменением нагрузки или внешними помехами. В связи с этим современные подходы требуют не только пороговой оценки сигнала, но и анализа его устойчивости во времени.

Отдельное значение имеют исследования, посвящённые цифровой обработке сигналов. В них отмечается, что корректность диагностики во многом зависит от выбора частоты дискретизации. При недостаточной частоте съёма данных часть информативных составляющих сигнала может быть потеряна, а при чрезмерно высокой частоте возрастает вычислительная нагрузка на систему мониторинга. Следовательно, математическая модель должна учитывать баланс между точностью измерения и техническими возможностями аппаратной реализации.

Обсуждение

В ходе исследования была проведена оценка изменения вибрационных параметров насосного агрегата при различных уровнях нагрузки. Экспериментальные данные показали, что с увеличением нагрузки наблюдается устойчивый рост амплитуды вибрации, что соответствует увеличению динамических усилий в элементах вращающегося механизма. При этом характер изменения вибрации имеет нелинейную тенденцию, особенно в диапазоне высоких нагрузок.

Счетчик подтверждения k_n , основанный на времени. Если колебания продолжаются непрерывно, k увеличивается шаг за шагом; если колебания прекращаются, k падает до нуля;

$$k_{n+1} = \begin{cases} \min(k_n + 1, K_2), & v_n = 1 \\ 0, & v_n = 0 \end{cases}$$

Здесь:

$k_n \geq K_1$ если вибрация проходит через «короткодействующий фильтр»,

$k_n \geq K_2$ если вибрация длится достаточно долго.

Таблица 1. Правило формирования вибрационного сигнала.

№	Состояние	Закон обновления	Физическое содержимое
Правило формирования вибрационного сигнала			
1	$A_n \geq A_{max}$	$v_n = 1$	Вибрация считается чрезвычайной ситуацией.
2	$A_n \geq A_{max}$	$v_n = 0$	Вибрация допустима.
Счетчик длительности вибрации k_n динамика			
1	$v_n = 1$	$k_{n+1} = k_n + 1$	Вибрация продолжается непрерывно.
2	$v_n = 0$	$k_n + 1 = 0$	Вибрация прекращается, отсчет начинается заново.

Результаты.

В результате моделирования была получена дискретная математическая зависимость, описывающая изменение вибрационной амплитуды насосного агрегата в зависимости от уровня нагрузки и частоты дискретизации. Разработанная модель позволяет вычислять значения скорости и ускорения вибрации на каждом шаге измерения и формировать критерии оценки технического состояния оборудования.

Расчётные данные показали, что при нагрузке свыше 75% наблюдается заметное увеличение вибрационной активности, что может свидетельствовать о повышении механических напряжений и вероятности развития дефектов. Полученные результаты

подтверждают возможность применения разработанной модели в системах мониторинга состояния насосных агрегатов.

Таблица 2. Принятие решения об отключении насосного агрегата.

№	Состояние	Эффект выхода	Объяснение
Принятие решения об отключении насосного агрегата			
1	$k_n \geq K_2$	$P_{n+1} = 0$	Тряска продолжалась долгое время
2	$x_n \geq X_2$	$P_{n+1} = 0$	Вибрация — это стабильное условие столкновения
3	Другая ситуация	$P_{n+1} = P_n$	Насос продолжит работать
Начальные условия			
	Смена	Ценить	Объяснение
1	P_0	1	Насос запускается и находится в рабочем состоянии
2	k_0	0	Начальное значение счетчика длительности
3	x_0	0	Начальное значение счетчика стабильности
Связывание дискретных параметров с реальным временем			
	Параметр	Пошагово	Выражение в реальном времени
1	Короткий фильтр	K_1	$T_1 = K_1 \Delta t$
2	Длительная продолжительность	K_2	$T_2 = K_2 \Delta t$

Заключение

В работе разработана математическая модель вибрационного датчика насосного агрегата в дискретном времени, позволяющая формализовать процесс регистрации и анализа вибрационных параметров при различных режимах нагрузки. Предложенный подход основан на цифровом представлении измеряемых сигналов и учёте периодичности их съёма, что обеспечивает корректную обработку данных в микроконтроллерных системах мониторинга. Разработанная модель может быть использована при создании автоматизированных систем контроля технического состояния насосных агрегатов, а также при внедрении цифровых средств диагностики промышленного оборудования.

Список использованных источников

1. Абдуллаев А.А. Основы цифровой обработки сигналов. – Ташкент: Издательство ТДЮУИТ, 2019.
2. Рахимов М.М., Юсупов Ж.Б. Диагностика технического состояния промышленного оборудования. – Ташкент: Фан, 2016.
4. Нурматов Ш.Н. Информационно-коммуникационные технологии и их применение в промышленности. – Ташкент: Инновация ривож, 2020.
5. ISO 20816-1:2016. Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration. – Geneva: International Organization for Standardization, 2016.