

## ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ВИБРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Воронцов А.Г, Ярошенко О.А.

Донецкий государственный технический университет, кафедра АТ

E-mail: vag@fcita.donetsk.ua

### Abstract

*Vorontsov A., Yaroshenko O. Increase specific information of vibrometrical data in machine monitoring systems. The issue on using an analog nonlinear processing a signal of vibrations for reducing an amount of bits at the presentation of this signal in the numerical type without changing overall inaccuracy of transformation is addressed in the article.*

Технология современного виброакустического мониторинга и диагностики машин предусматривает промежуточное хранение собираемых виброметрических данных. Буферная память средств сбора данных информационно измерительных систем (ИИС), используемых для этих целей может иметь значительный объем [1]. Предварительная обработка вибросигналов, предшествующая их оцифровке и рациональная реализация аналого-цифрового преобразования позволяет повысить информативность виброметрических данных и в определённой мере снизить требования к объёму буферной памяти.

Данная работа посвящена решению вышеуказанной задачи для класса ИИС, использующих в качестве информационных признаков состояния механического узла машины оценки параметров огибающей высокочастотных вибраций.

Типовая процедура аналоговой обработки вибросигнала в такой ИИС включает узкополосную полосовую фильтрацию и выделение огибающей профильтрованного вибросигнала [2], что позволяет рассматривать квантуемый сигнал, поступающий на вход АЦП, как узкополосный случайный процесс, распределённый по обобщённому закону Релея [3].

$$P_x(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } -\infty < x < 0 \\ \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + a^2}{2\sigma^2}\right) \cdot I_0\left(\frac{ax}{\sigma}\right), & \text{при } 0 \leq x < \infty \end{cases} \quad (1)$$

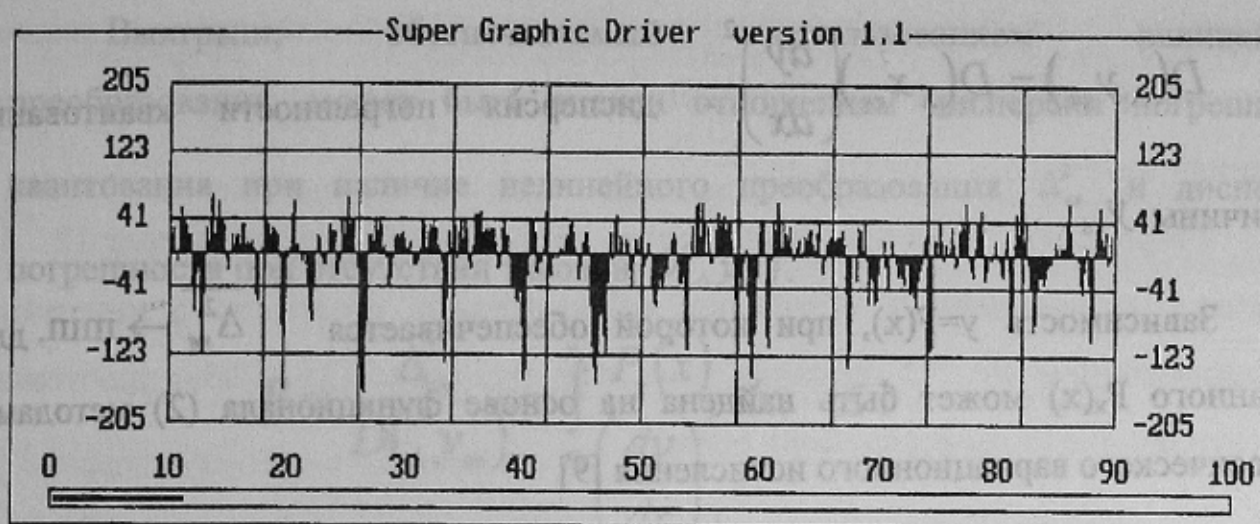
где  $\sigma^2$  - дисперсия шумовой компоненты сигнала на входе детектора огибающей;

$a$  - параметр, физически трактуемый как амплитуда регулярной гармонической компоненты случайного входного сигнала детектора огибающей;

$I_0(*)$  - модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

График рис. 1 представляет типичную форму вибросигнала, подлежащую квантованию, для которого характерно наличие кратковременных и нерегулярных выбросов значительной амплитуды. Данный сигнал получен для виброанализатора ВАМ-4 [4], входящего в состав системы мониторинга шахтных вентиляторов главного проветривания. В аналоговой части данного виброанализатора производится подавление постоянной составляющей протектированного сигнала, что нашло отражение на графике. Дальнейшая обработка вибросигнала в ИИС состоит в получении периодограммы Уэлча [5] с последующей пороговой оценкой спектра для каждой информационной частоты [6, 7].

Релеевский характер распределения сигнала, подлежащего квантованию по уровню, наличие в нем нерегулярных кратковременных и значительных по величине выбросов, которые порождают спектральные компоненты, подлежащие подавлению при формировании периодограммы, позволяют сделать предположение о целесообразности неравномерного квантования по уровню с уменьшением "веса" выбросов большой амплитуды и малой средней частотой появления.



FILENAME: b\_8\_03.001

DATE: day 10 month 12 year 1995

FILESIZE: 16404

Structure : 8

Рисунок 1 - Пример вибросигнала.

Если число уровней квантования достаточно велико, так что, правомерна гипотеза о равномерной плотности вероятности погрешности в интервалах между соседними пороговыми значениями, задача оптимального квантования может быть сведена к задаче оптимального нелинейного преобразования параметра [8]. Это требование для систем вибрационного мониторинга и ранней диагностики, как правило, выполняется, поскольку зарождающиеся дефекты формируют первоначально сигналы малого уровня, энергия которых значительно меньше энергии помех. Но именно на стадии зарождения и раннего развития дефектов, когда соотношение сигнал/помеха мало необходима высокая эффективность работы системы диагностики, обеспечивающей достаточный уровень достоверности информации о состоянии машины.

При использовании нелинейного преобразования  $y=F(x)$ , предшествующего АЦП, будем иметь следующую оценку погрешности [8]

$$\overline{\Delta_{кв}^2} = D(\Delta y_{кв}) \int_{x_0}^{x_k} \frac{P_x(x)}{(dy/dx)^2} dx, \quad (2)$$

где  $D(\Delta y_{кв}) = D(\Delta x_{кв}) \left( \frac{dy}{dx} \right)^2$  - дисперсия погрешности квантования величины  $y_{кв}$ .

Зависимость  $y=F(x)$ , при которой обеспечивается  $\overline{\Delta_{кв}^2} \rightarrow \min$ , для заданного  $P_x(x)$  может быть найдена на основе функционала (2) методами классического вариационного исчисления [9]

$$y(x) = \frac{x_k - x_0}{\int_{x_0}^{x_k} \sqrt{P_x(x)} dx} \int_{x_0}^{x_k} \sqrt{P_x(x)} dx + x_0. \quad (3)$$

График зависимости  $y=F(x)$  для различных соотношений  $a/\sigma$  и релеевского распределения  $P_x(x)$ , полученный путём численного интегрирования зависимости (3) приведен на рис. 2.

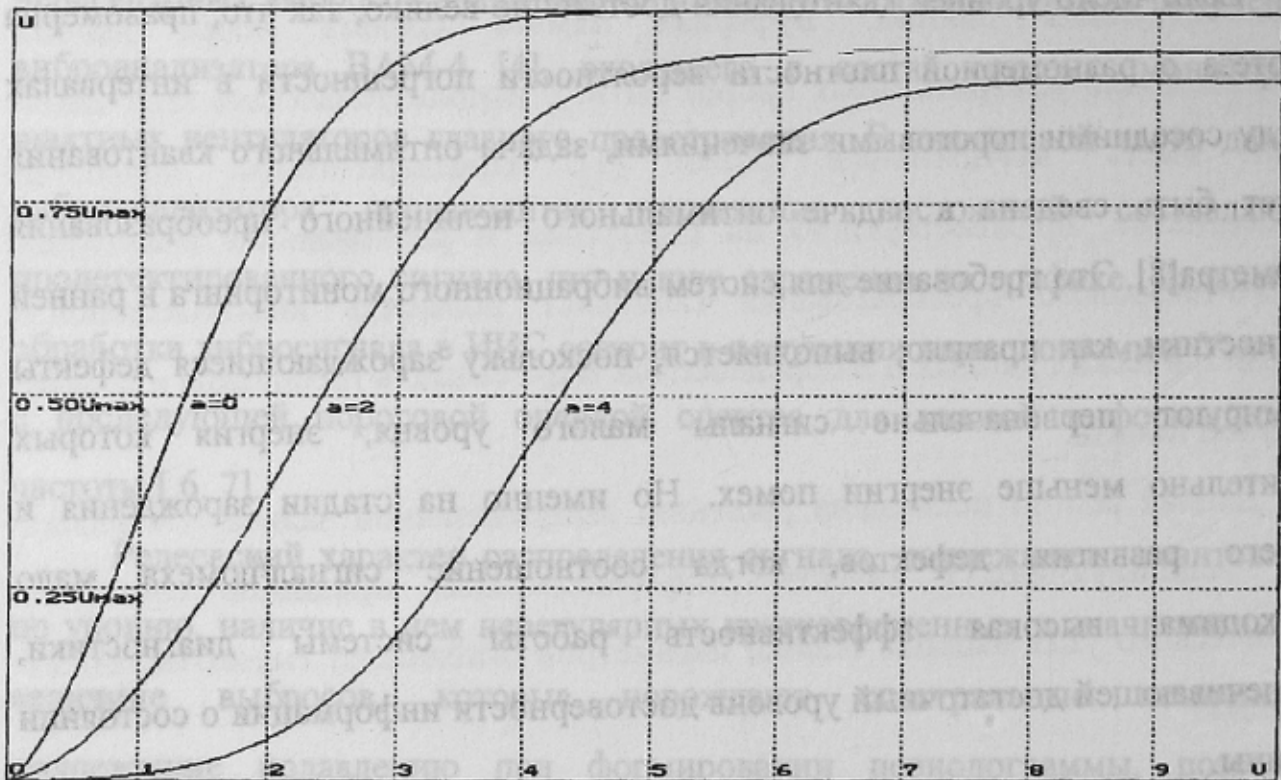


Рисунок 2 – График зависимости  $U=y/\sigma = F(V)$  для различных соотношений  $a/\sigma$ , где  $V=x/\sigma$ .

Выигрыш, обеспечиваемый использованием нелинейного преобразования, может быть оценен отношением дисперсии погрешности квантования при наличие нелинейного преобразования  $\Delta_{кв}^2$  к дисперсии погрешности при отсутствии таковой  $D(\Delta y_{кв})$ .

$$B = \frac{\Delta_{кв}^2}{D(\Delta y_{кв})} = \int_{x_0}^{x_k} \frac{P_x(x)}{\left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx. \leq 1 \quad (4)$$

Подстановка (3) в (4) и последующее дифференцирование дают следующий результат:

$$B = \frac{\left[ \int_{x_0}^{x_k} P_x(x) dx \right]^2}{(x_k - x_0)^2 \int_{x_0}^{x_k} P_x(x) dx} \quad (5)$$

На основании (5) для обобщенного закона Релея и выбранных ранее соотношений сигнал/помеха  $a/\sigma = 0; 2; 4$  получаем следующие значения величин  $B(0)=0,112$ ,  $B(2)=0,226$ ,  $B(4)=0,306$ .

Откуда следует, что выигрыш, обеспечиваемый использованием нелинейного преобразования наиболее существенен при малых соотношениях  $a/\sigma$ .

Из соотношения

$$\Delta_{кв}^2 = BD(\Delta y_{кв}) \quad (6)$$

видно, что резерв, в виде повышения точности преобразования, может быть использован для некоторого снижения требований к точности, а следовательно, и к разрядности АЦП при сохранении общих требований к результирующей погрешности квантования по уровню. Это способствует более экономному использованию памяти в переносном устройстве сбора виброметрических данных.

Если предположить, что вся погрешность аналогово-цифрового преобразования определяется погрешностью квантования по уровню, то

экономии в потребной разрядности разрядности АЦП за счёт предварительной нелинейной обработке при указанных соотношениях  $a/\sigma = 0;2;4$  можно оценить значениями  $\Delta N=3, 2, 1$ .

Разрядность АЦП в существующих ИИС как правило составляет 12...14. Переход к нелинейной обработке вибросигналов позволяет ограничиться использованием 10...11 разрядов, что даёт экономию (15...20%) требуемого объёма памяти устройства сбора данных.

### Выводы

1. Показано, что оптимальная нелинейная обработка вибросигнала может быть использована как средство экономии ресурсов памяти устройства сбора виброметрических данных.
2. Получена зависимость оптимальной нелинейности для предварительной аналоговой обработки вибросигнала в ИИС, использующих в качестве информационного признака состояния механического узла машины оценку параметров огибающей высокочастотных вибраций.
3. Получены оценки выигрыша в потребной разрядности АЦП при использовании оптимальной нелинейной обработки.

### Литература

1. Система мониторинга машинного оборудования - модель 3540. Технические данные. Брошюра ВР1112-11. Материалы фирмы "Брюль и Кьер".
2. Envelope detector WB1048. System development. Брошюра ВU0090-12. Материалы фирмы "Брюль и Кьер".
3. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. - М.: "Советское радио", 1966.
4. Воронцов А.Г. и др. Система мониторинга вентиляторов главного проветривания. "Уголь Украины", № 4, 1996. Стр. 27-28.

5. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990.
6. Мониторизация механических колебаний машинного оборудования: Пер. с англ. "Технического обзора, 1987г.". Брошюра ВО0266-11. Материалы фирмы "Брюль и Кьер".
7. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприёма при флуктуационных помехах. - М.: Госэнергоиздат, 1961.
8. Баранов Л.А. Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационные исчисления. - М.: Наука, 1969.

Значимого присоединения, что существенно снижает стоимость вносимого оборудования и повышает эффективность использования энергии. В настоящее время в Украине наблюдается тенденция к развитию энергетических систем на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Такие системы являются экологически чистыми и позволяют снизить зависимость от импортного топлива. Однако, для эффективной работы таких систем необходимо обеспечить надежное энергоснабжение и автоматизацию процессов управления. В частности, это касается систем мониторинга и диагностики оборудования, которые позволяют及时发现 и устранить неисправности, тем самым повышая надежность и продолжительность эксплуатации.

Таким образом, для обеспечения надежности работы энергетических систем необходимо внедрение современных технологий мониторинга и диагностики. Это позволит снизить затраты на обслуживание и ремонт оборудования, а также повысить безопасность и эффективность энергоснабжения. Кроме того, использование современных методов анализа данных и автоматизации процессов управления позволит оптимизировать работу энергетических систем и снизить их зависимость от внешних факторов.

Принцип действия  
 Одним из путей повышения надежности работы энергетических систем является внедрение современных методов мониторинга и диагностики. Это позволяет及时发现 и устранить неисправности, тем самым повышая надежность и продолжительность эксплуатации. В частности, это касается систем мониторинга и диагностики оборудования, которые позволяют及时发现 и устранить неисправности, тем самым повышая надежность и продолжительность эксплуатации. Кроме того, использование современных методов анализа данных и автоматизации процессов управления позволит оптимизировать работу энергетических систем и снизить их зависимость от внешних факторов.