

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В.В. Ковалевский, д.т.н.; В.В. Медведев, асп.

(Донецкая государственная машиностроительная академия)

Большинство методик контроля и диагностики технологических процессов базируются на анализе сигналов от датчиков, установленных в различных точках технологической системы. Кроме измерения амплитуды сигнала, применяются методики, базирующиеся на анализе спектров после спектральных преобразований (например, быстрое преобразование Фурье, вейвлет-преобразование и др.) При этом существуют ограничения на общий объём входной информации, связанные с техническими характеристиками применяемых аппаратных средств. Это, несомненно, приводит к значительным потерям информации в диагностируемых процессах, также информативность спектральных преобразований сдерживается ограниченными возможностями существующих методик определения параметров спектральных преобразований. Методики в основном касаются регулирования только частотного разрешения. При его увеличении возрастает чёткость отдельных пиков спектра, как показано на рисунке 1. Поэтому по рекомендациям [1] устанавливают максимальное разрешение, допускаемое возможностями аппаратуры. Настройка остальных параметров (например, коэффициент затухания и выбор режима ослабления не синхронизации частот сигнала и пакетов преобразования) в приложении к технологическим системам практически не рассматривается.

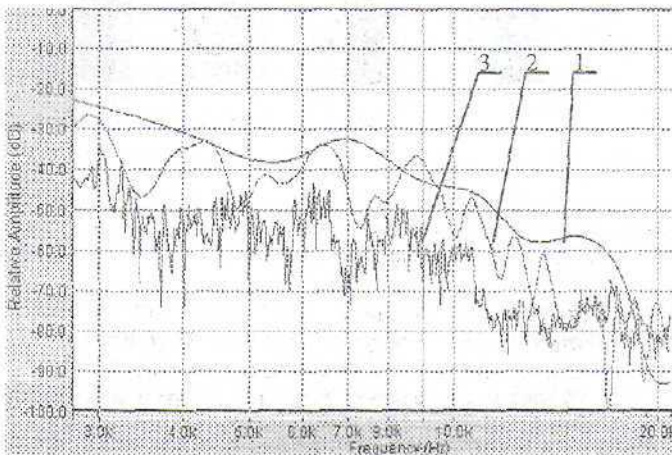


Рисунок 1 – Спектр сигнала акустической эмиссии при разных частотах разрешения: частотное разрешение: 1–2.5  $(f-2f)^{-1}$ ; 2–9.8  $(f-2f)^{-1}$ ; 3–157  $(f-2f)^{-1}$ ; режимы резания:  $V=99$  м/мин;  $t=2$  мм;  $S=0,45$  мм/об; 16К20; сталь 45

В то же время в ходе экспериментов установлено, что функция частотного разрешения в приложении к диагностической информации имеет экстремум, а не является монотонно возрастающей, как это считалось ранее. Так, на рисунке 2 экстремум имеет протяжённую, плоскую вершину. До последнего времени предположение об уменьшении информативности спектра диагностического сигнала при высоком частотном разрешении практически невозможно было проверить

экспериментально. Возможности современной аппаратуры могут работать не только на участке подъёма, но и на спаде зависимости, то есть выходить за область экстремума. Поэтому особенно актуальна ставится проблема оптимальной настройки параметров преобразования технологических сигналов по критерию информативности относительно выбранных диагностируемых характеристик.

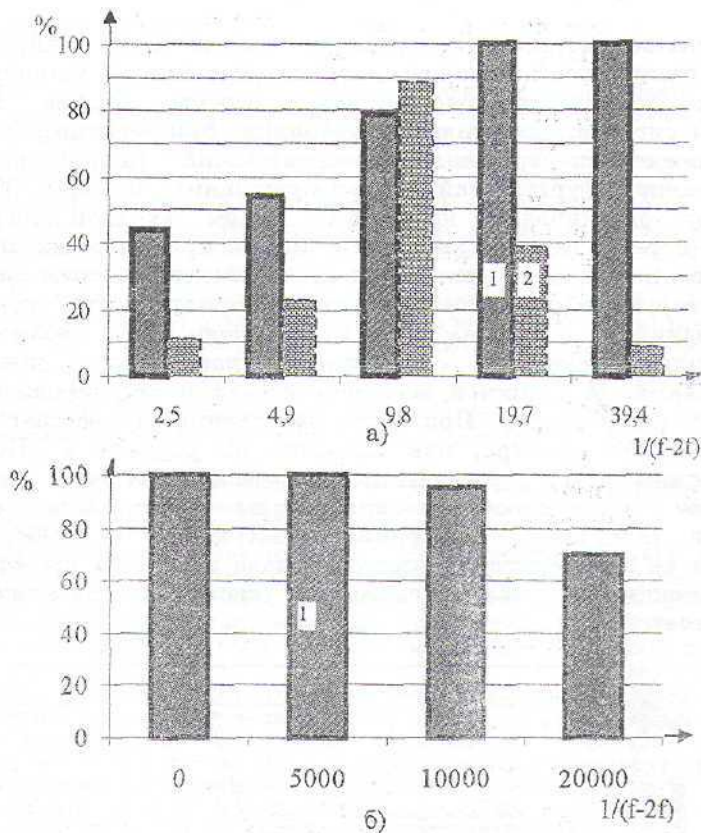


Рисунок 2- Зависимость количества правильных решений (1) и скорости обучения (2) от частотного разрешения: а) общий вид; б) при малых значениях разрешения

Для контроля и диагностики технологической системы нами разработан и применяется стенд, в котором производится настройка параметров быстрого дискретного преобразования Фурье. Оно обычно вычисляется при условии равенства числа входных и выходных данных [4]:

$$S(q) = \sum_{p=0}^{N-1} s(p) \cdot W_N^{pq}, \quad (1)$$

где  $q=0,1,\dots,N-1$ ;

$s, S$  - массивы сигнала и его спектра;

$$W_N = \exp(-j2\pi/N);$$

$N$  - число отсчётов в каждом пакете сигналов.

Вычисление производится пакетами, в каждом из которых имеется  $N$  отсчётов. Частотное разрешение, исходя из (1), соответствует

$$T_f - q_{\max} = N - 1. \quad (2)$$



Временное разрешение пропорционально количеству выходных пакетов спектра за единицу времени:

$$T_i \sim \frac{1}{q_{\max}} = \frac{1}{N-1}. \quad (3)$$

При изменении частотного разрешения общий объем выходной спектральной информации, исходя из (2) и (3), не изменяется:

$$U_{\text{вых}} \sim \frac{T_i}{T_i} = \text{const}. \quad (4)$$

Иными словами, при увеличении частотного разрешения увеличивается чёткость пиков, но уменьшается количество обрабатываемых пакетов за единицу времени (4). При повышении частотного разрешения спектра сигнала одновременно растёт и инерционность системы, что не позволяет использовать в реальных условиях механообработку. Нахождение границ области экстремума было очень трудоёмкой задачей.

Разработка нового вида математических моделей – нейросетевых, позволяет повысить скорость определения информативности предварительной обработки сигнала и границ экстремума. Это позволяет без предварительного выбора корреляционной функции определять зависимость между спектром диагностического сигнала и интересующими технологическими параметрами.

Суть методики состоит в следующем. В режиме обучения нейронной сети на её входы подаются спектральные данные. В качестве обучающих данных используют необходимые технологические параметры, например глубину резания. Далее производится процесс обучения нейросети, а затем анализируются полученная структура и количества правильных решений нейромодели. Увеличение количества правильных решений вызывает на существование корреляционной связи между входными и выходными данными [2]. Следует отметить, что полученное решение может соответствовать информативности входных данных только при условии правильности решения задачи хотя бы при одном из режимов спектрального преобразования. Отсутствие правильных решений в нейросети может быть обусловлено не только отсутствием корреляции между входными и выходными данными, но и неправильным выбором структуры сети.

Как известно, для решения технологических задач не требуется построение нейросети с большим количеством нейронов. Экспериментально установлено, что обучение наилучшим образом проходит в пирамидальных структурах. В них каждый последующий слой содержит примерно в 2 раза меньше нейронов, чем предыдущий. Также установлено, что построение сети с более чем тремя скрытыми слоями не рационально: время обучения значительно возрастает, а точность результата практически остаётся на прежнем уровне. В последнее время разработчики программных эмуляторов и нейроподобных информационных систем рекомендуют разделять нейросети по выходным параметрам [5], то есть в каждой сети должен быть только один выход. В экспериментах, проведённых авторами, не было обнаружено значительных отклонений между одно- и двухсетевыми моделями при обучении по глубине резания и подаче. Однако добавление к этим данным скорости резания резко уменьшило скорость обучения. Поэтому, если нет ограничения по времени обучения, рекомендуется применять к каждому параметру отдельную нейросеть. Допускается размещение в одну сеть только технологических параметров, имеющих физическую суть и главное соизмеримых числовыми значениями. При любых преобразованиях диагностического сигнала



необходимо подавать на входы сети значения в децибелах ослабления сигнала. В экспериментах обнаружено, что при вводе сигнала в долях от максимальной спектральной мощности обучение в пирамидальной структуре сети не происходит. Это связано с математической особенностью входов нейросети.

Как было сказано выше, имеется прямая корреляционная зависимость между количеством циклов обучения и информативностью диагностического сигнала. Изменением параметров преобразования добиваются таких значений, когда система при наименьшей инерционности обеспечивает наибольшее распознавание технологических параметров.

С помощью данной методики были проведены настройки параметров спектрального преобразования сигналов от датчиков, расположенных на станках токарной группы. В частности, на станках 1К625, 1А64, 1А625Сп, 1К62 проводилась обточка цилиндрических поверхностей из стали 45, стали 50 и 9ХС. В одной из серий экспериментов плавное изменение глубины резания достигалось специальной формой заготовки. На ней предварительно выполнялся ряд конических поверхностей. Охвачен весь диапазон режимов резания, рекомендуемый для режущих пластин Т5К10. Результаты настройки параметров быстрого преобразования Фурье во всех опытах отличались друг от друга не более чем на 17%. В начале диапазона частотного разрешения информативность действительно возрастала, как показано на рисунке 2,б. Однако при значениях в  $20 (f-2f)^{-1}$  она достигала своего максимума. А при значениях более  $5000 (f-2f)^{-1}$  начинался медленный спад (рисунок 2,а).

Поэтому для обработки диагностических сигналов при чистовом точении не требуется частотное разрешение более  $80 (f-2f)^{-1}$ . Всё это справедливо для контроля (в процессе резания) глубины резания, скорости резания, подачи, а также шероховатости обрабатываемой поверхности.

Таблица 1 – Характеристики режимов ослабления рассинхронизации

Режим	Частотное разрешение	Амплитудное разрешение вершин	Амплитудное разрешение впадин	Примечание
Bartlett	Среднее	Среднее	Умеренное	
Blackman	Среднее	Хорошее	Превосходное	Имеются искажения контроля размеров
Flattop	Неполное	Превосходное	Умеренное	Точный расчёт амплитуд
Hamming	Среднее	Среднее	Среднее	
Hanning	Среднее	Превосходное	Превосходное	Точный расчёт взвешенных шумов
Kaiser	Среднее	Среднее	Неполное	
Parzen	Среднее	Среднее	Неполное	
Triangular	Среднее	Среднее	Неполное	
Uniform	Превосходное	Неполное	Неполное	Высокое импульсное разрешение

Так как период следования спектральных пакетов практически не может совпасть с периодом сигнала, то применяются различные математические методы ослабления потери синхронизации (таблица 1). По описанной методике было определено, что наиболее информативен режим ослабления hanning (рисунок 3). В то же время в режиме bartlett

достигается максимальная скорость обучения. То есть из данных, полученных в этом режиме, наиболее просто выделить необходимые технологические параметры. Поэтому в интеллектуальных диагностических системах первоначально рекомендуется применять режимы hanning, hamming, blackman. А для дообучения в режиме реального времени – bartlett.

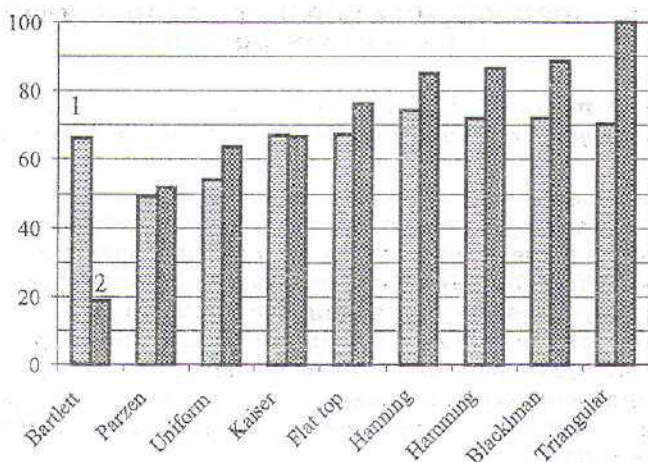


Рисунок 3 – Экспериментальное определение зависимости информативности преобразования сигнала (1) и времени обучения (2) от режимов ослабления рассинхронизации

Коэффициенты сглаживания практически не влияют на распознавание. Однако при коэффициенте, соответствующем сглаживанию более чем десяти пакетам, наблюдается медленный спад. Рекомендуется устанавливать его от 1 до 7 пакетов в зависимости от индивидуальных настроек.

Описанная методика позволяет быстро определить параметры быстрого дискретного преобразования Фурье. Большая гибкость нейронных сетей позволяет измерять информативность сигнала относительно практически любого технического параметра. Кроме общих рекомендаций, данных в статье, каждый исследователь может легко найти настройки под его конкретную задачу.

## SUMMARY

In paper the exposition of a technique of definition of parameters of a fast discrete Fourier transform is given. The flexible algorithm on a base neuronnetwork process engineering's is applied. Except for the common recommendations, datas in paper, each contributor can easily find tunings under his specific target.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельничук П.П., Степич Я.А. Визначення характеристик динамічної системи верстата 16К20 // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2000. – №14. – С.66-71.
2. Резник А.М., Галинская А.А., Кужель К.М. Об информативности гауссовых компонент при нейроклассификации ультразвуковых локационных сигналов // Труды VIII Всероссийской конференции «Нейрокомпьютеры и их применение». – Москва: ИИУ им. В.А. Трапезникова РАН. – 2002. – С. 244–250.
3. Карташкин А. Преобразование Фурье. – Москва: Электронная библиотека Мошкова, 2000. – 3 с. <http://www.n-t.org/tp/iz/pf.htm>
4. Васильев В.Н., Гуров И.П. Компьютерная обработка сигналов в приложениях к интерферометрическим системам – СПб.: ВХВ – Санкт-Петербург, 1998. – 240 с.: ил.



Поступила в редколлегия 16 декабря 2002г.

УДК 621.791:539.374.4

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРОВЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ ЗАКАЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Л.П. Колот, к. т. н.; Ю.А. Бойко, асп.

(Донбасская государственная машиностроительная академия)

При выполнении термической обработки возникают внутренние напряжения детали, вызванные разностью линейного расширения металла. Это явление возникает из-за разности скоростей охлаждения различных ее участков. Чем больше разность температур в различных участках детали, тем выше внутренние напряжения.

При некоторой величине этих напряжений происходит коробление детали, а в некоторых случаях и ее разрушение.

Чтобы минимизировать влияние указанных факторов при разработке конструкции детали, необходимо учитывать неравномерность температурного поля.

Анализ действительных условий нагрева и охлаждения при различных видах и режимах термической обработки показывает, что определение температуры в теле требует учета теплофизических свойств материала и охлаждающей среды. Такая задача теплопроводности эффективно решается численными методами. Согласно известной методике Абрамова В.В. [1] можно решить эту задачу методом конечных разностей.

Уравнение теплопроводности имеет вид

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}, \quad (1)$$

где  $t$  – температура, °С;

$\tau$  – время, с;

$a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;

$y$  – текущая координата, м.

На основе данного уравнения автором разработан алгоритм расчета температурного поля детали.

Для этого деталь разбивается на  $n$ -слоев, и определяется температура слоев пошагово.

Основным недостатком данной методики является то, что достаточно сложный расчет приходится выполнять для каждого шага. Это длительная и трудоемкая процедура.

Если ограничиться определенным видом термообработки, а также определенным материалом детали, можно значительно упростить данную методику.

Для рассмотрения возьмем термообработку – закалка, а материал детали – сталь 45. Деталь имеет симметричную форму. Условия термообработки: температура нагрева – 800°С, охлаждающая среда – вода. В связи с тем, что при охлаждении в зоне контакта металла и воды происходит закипание последней, принимаем температуру охлаждающей среды – 100°С.

Принимаем толщину слоя детали  $y$ , равную 0,0001м, количество слоев выбирается произвольно и равно 10.