



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА МИНИДИАПРОФИЛОМЕТРА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Логвин В.А., Воробьев Ю.С. (ИПМаш НАНУ),
Фенченко В.Н. (ФТИНТ)**

Изложены некоторые аспекты построения алгоритмов цифровой обработки сигналов, поступающих от датчика первичного преобразователя минидиапрофилометра, предназначенного для комплексной диагностики микро- и макрогеометрических параметров рабочих поверхностей любых деталей самой разнообразной техники. Приведены примеры практической реализации разработанных минипрофилометров, в которых использована цифровая обработка сигнала на основе рассматриваемых алгоритмов.

Представляемые алгоритмы цифровой обработки сигналов, поступающих от датчика первичного преобразователя минидиапрофилометра [1], базируются на проведении периодограммного анализа [2] массива первичной информации, последующей ее корректировки в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой первичного преобразователя и разделении на составляющие, относящиеся к "шероховатости" и "волнистости" исследуемой поверхности. Эти алгоритмы позволяют существенно расширить функциональные возможности минидиапрофилометра по сравнению с подобными приборами, в которых использован принцип аналоговой обработки сигнала.

Периодограммный анализ обеспечивает выявление периодов компонент негармонических периодических составляющих в массиве данных измерений неровностей профиля путем определения соответствующих им максимумов корреляционного отношения средних квадратических отклонений:

$$F_j = \frac{\sigma_{y_j}}{\sigma_y} \tag{1}$$

где σ_y – среднее квадратическое отклонение, вычисляемое по всем ординатам y_i точек профиля исследуемой поверхности, а σ_{y_j} – среднее квадратическое отклонение, вычисляемое по средним значениям Y_m^j ординат точек, выбранным через равные промежутки ΔX в исходном массиве ординат, соответствующему проверяемому отрезку – возможному периоду профиля.

В реальной ситуации функция (1) имеет множество максимумов, обусловленных как наличием нескольких периодических составляющих в массиве данных измерений, так и отвечающих "кратным" периодам. При этом установлено, что максимумы, отвечающие "кратным" периодам, имеют близкие значения.

Выделение периодических составляющих проводится после исключения "некорректных" данных при помощи критерия Шовене [2]. Начинается же указанное выделение с наименьшего периода (при таком подходе исключается опасность ошибочного учета "кратных" периодов) и продолжается – пока амплитуда выделяемой составляющей имеет величину,

большую предыдущей на значимый процент. Кроме того, с целью более надежной фильтрации "кратных" периодов, авторами предлагается использовать в процессе определения искомого периода ступенчато изменяющуюся дискретность:

$$\Delta x^j = f(l^j) = \begin{cases} \Delta x_0^{\min} \\ \Delta x_0 + l^j \frac{a}{b} \text{ при } \Delta x_0 > l^j \frac{a}{b} \\ l^j \frac{a}{b} \text{ при } \Delta x_0 \leq l^j \frac{a}{b} \end{cases} \tag{2}$$

где l^j – искомые периоды; ΔX_0^{\min} – минимальная дискретность для поиска периода l^j , определяемая техническими возможностями микропроцессора; $b \geq L^j / l^{\min}$ – простое число, равное ближайшему числу из таблицы простых чисел; L^j – длина измеренной (обрабатываемой) трассы, достаточная для вычисления Y_m^j и σ_{y_j} , согласно МИ41-75 и экспериментальным исследованиям на минимальную погрешность; $l^{\min} = 0,01$ мм – минимально возможный период, a – простое число, выбираемое из таблицы простых чисел на порядок меньших, как минимум, простого числа b и определяемое экспериментальными исследованиями по минимуму времени счета и погрешности.

В результате, из массива данных измерений неровностей профиля будет выделено несколько периодических негармонических составляющих (как показали эксперименты, их число обычно колеблется от 2...3 до 6...8 в зависимости от характера обработки исследуемой поверхности) и некоторая (обычно достаточно малая) непериодическая составляющая.

После выделения периодических составляющих проводится их коррекция в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой первичного преобразователя. Полученный в результате массив данных максимально соответствует "реальным" ординатам точек профиля исследуемой поверхности.

При дальнейшей обработке сигнала вычисляется (вначале приближенно, с учетом волнистости) параметр R_a (средняя арифметическая величина неровностей профиля исследуемой поверхности). Далее из

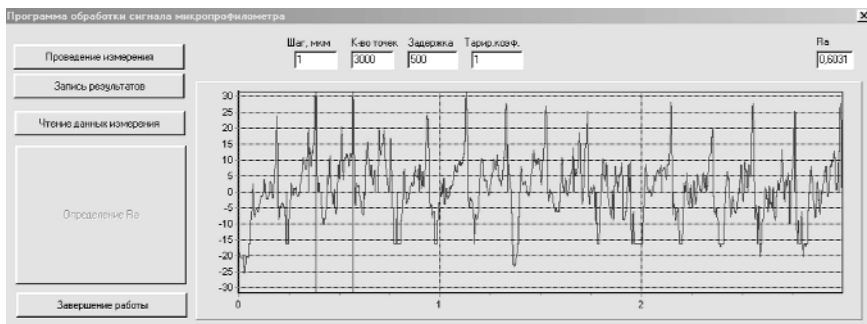


Рис. 1. Вид экрана ПЭВМ при работе программы обработки сигнала микропрофилометра



Рис. 2. Общий вид микропрофилометра для контроля шероховатости [3]. Затем из массива данных исключаются составляющие, периоды которых больше базового периода, т. е. относятся не к шероховатости, а к волнистости, и, если такие составляющие есть (в ряде случаев они могут отсутствовать), уточняется значение параметра R_a .

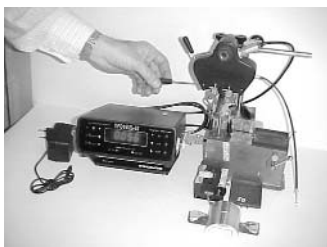


Рис. 3. Компьютеризованная универсальная установка активного контроля шероховатости поверхностей мало- и крупногабаритных деталей

Последующие уточнения параметра R_a осуществляются путем его вычисления с помощью базового периода, ближайшего меньшего значения по отношению к ранее выбранному, и если опять окажется, что обрабатываемый массив данных содержит составляющие, периоды которых не относятся к шероховатости, то и эти составляющие исключаются, после чего параметр R_a снова уточняется. И так до тех пор, пока не останется ни одной составляющей, относящейся к волнистости.

Описанные алгоритмы были реализованы в виде программы, функционирующей на ПК в среде Windows 98, к которому подключался первичный преобразователь (в экспериментах использовался

преобразователь на базе пьезоэлемента с механической протяжкой измерительной иглы). Длина трассы измерений составляла 6 мм, число точек на ней — 3000 ед. (см. рис. 1). Одним из главных преимуществ разработанной программы является обеспечение практически неограниченных возможностей по расширению функций создаваемых минидиапрофилометров за счет увеличения числа контролируемых гостированных параметров [3], а также параметров, которые разработаны и утверждены в различных отраслях промышленности. К последним можно отнести, например, "ребристость", глубину рисок, толщину напыления, износа и т. п. Причем указанное расширение функциональных возможностей упомянутых приборов будет реальным и при одновременном существенном уменьшении их массогабаритных параметров. Данная миниатюризация, в свою очередь, позволит значительно повысить степень адаптации минидиапрофилометров к любым труднодоступным поверхностям, шероховатость которых необходимо контролировать (в частности крупногабаритных деталей) в самых разнообразных условиях их изготовления, эксплуатации или ремонта.

С целью практической реализации выполненных разработок, изготовлена опытная партия модифицированных микропрофилометров типа "Профиль-03", которая уже внедрена на Тольяттинском заводе АвтоВАЗ (Россия) — рис. 2, и на Харьковском заводе Электротяжмаш (Украина) — рис. 3.

Следует отметить, что внедряемые и разрабатываемые микропрофилометры имеют уникальную коммерческую ценность, т. к. являются предметом серийной коммерческой реализации обширного семейства приборов, представляющих собой новое перспективное направление в технологии машино- и приборостроения.

Список литературы

1. В.А. Логвин, Ю.С. Воробьев, В.Н. Фенченко. Разработка и освоение в производстве, технологических процессах и научных исследованиях универсальных портативных минидиапрофилометров // Тезисы докл. II межд. науч. техн. конф. Москва-Егорьевск, ЕАТКГА, 1997.
2. А. Уорсинг, Дж. Геффнер. Методы обработки экспериментальных данных. М.: Изд. иностранной литературы, 1953.
3. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения. М.: Изд. стандартов, 1990.

Логвин Владимир Анатольевич — канд. техн. наук, директор НПП "Микрон", ст. научный сотрудник,
Воробьев Юрий Сергеевич — д-р техн. наук, проф., зав. отделом № 12
Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАНУ,

Фенченко Владимир Николаевич — канд. физ.-мат. наук, нач. сектора специального конструкторско-технологического бюро по криогенной технике Физико-технического института низких температур.
Контактные телефоны: (10380572) 66-41-11, 95-95-95, 94-15-24, 30-85-83.

E-mail: vorobiev@ipmach.kharkov.ua