

УДК 621.9.015

П.А. Каморкин, канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина
Тел.: +38 (061) 7643268; E-mail: kamorkin@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА ГАУССА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРОФИЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Профильный метод определения геометрических параметров качества поверхности основан на разделении общего профиля исследуемой поверхности на основной профиль, профиль шероховатости и волнистости с помощью волновых фильтров. Одним из них является фильтр Гаусса, применение которого сдерживается недостаточным освещением в литературе. Предложен программный код и способ использования фильтра Гаусса. Приведены результаты исследований работы фильтра для различных диапазонов длин волн. Определены основные параметры и передаточные характеристики фильтра, а так же его недостатки.

Ключевые слова: *фильтр Гаусса, шероховатость, волнистость, профиль, передаточная характеристика, длина волны.*

Введение

Актуальной задачей современного машиностроения является обеспечение высоких эксплуатационных качеств деталей машин, которые в значительной мере обеспечиваются геометрическими параметрами качества поверхностного слоя.

В настоящее время, в мировой практике, широкое распространение получает профильный метод оценки качества поверхности, основанный на разделении общего профиля (символьная запись трассы центра радиуса щупа) исследуемой поверхности на несколько профилей с разной длиной волны при помощи фильтра. Наиболее широкое распространение получил 2RC фильтр, у которого передаточная характеристика коротковолновой составляющей сигнала существенно хуже, чем у фильтра Гаусса (см. рис.1), предусмотренного стандартом ISO 16610 [1].

Вместе с тем, публикаций о применении фильтра Гаусса недостаточно. В основном это интернет издания, посвященные его применению в теле-радио технике или в качестве инструмента в графическом редакторе [2 – 5]. Изложенные в них материалы не позволяют создать программный код фильтра Гаусса для оценки геометрических параметров качества поверхности.

Цель работы – разработка программного обеспечения фильтра Гаусса для оценки геометрических параметров качества поверхности и исследование его параметров и характеристик.

Основное содержание и результаты работы

Фильтрацией в широком смысле называется любое преобразование обрабатываемых сигналов с целью изменения соотношения между их различными компонентами. Чаще всего путем фильтрации проводится выделение из сигнала его части, спектр которой лежит в определенной области (полосе пропускания).

При фильтрации сигналов решаются два основных типа задач: выделение полезного сигнала, наблюдаемого на фоне помех, и частотный анализ.

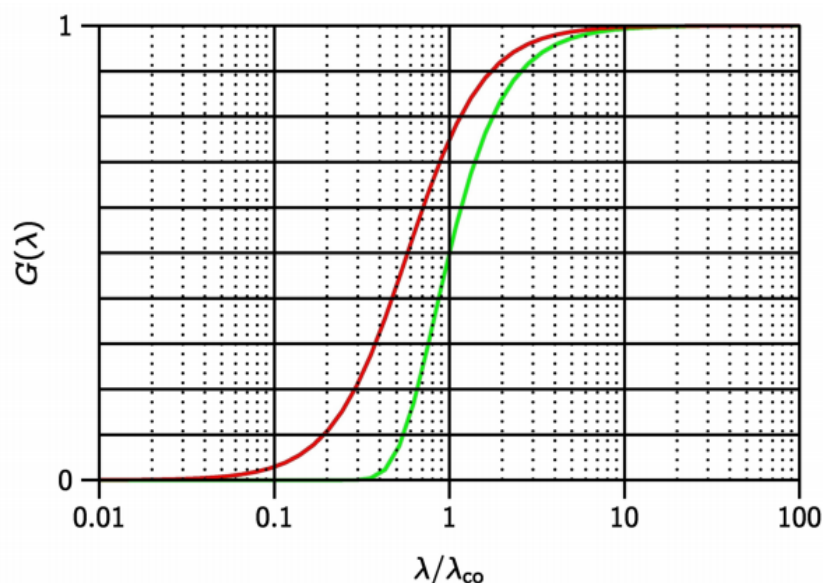


Рис. 1. Передаточная характеристика фильтра Гаусса (зеленая линия) сравнительно с передаточной характеристикой 2RC фильтра (красная линия)

При оценке качества поверхности профильным методом это сводится к:

- обнаружению детерминированного сигнала на фоне помех;
- разделению полученного сигнала на длинноволновую (профиль волнистости) и коротковолновую (профиль шероховатости) составляющие.

В обоих случаях операция фильтрация используется для того, чтобы отделить у сигнала $z(x)$ длинноволновый компонент $w(x)$ от коротковолнового $r(x)$ (рис.2).[7]

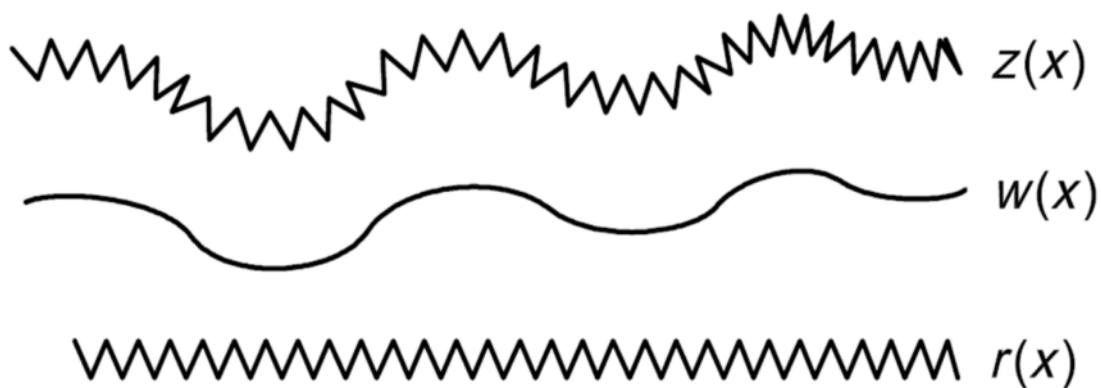


Рис. 2. Сигнал и его компоненты

При подавлении помех (шума) длинноволновой составляющей является детерминированный сигнал, представляющий собой основной профиль. В дальнейшем, фильтрация основного профиля позволяет получить профиль волнистости, а вычитание последнего из основного профиля приводит к получению профиля шероховатости. В обоих случаях работает так называемый длинноволновый фильтр. Т.е. фильтр, выделяющий длинноволновую составляющую.

Весовая функция фильтра Гаусса

Работа фильтра Гаусса основана на вычислении весовой функции, определяющей вес текущей точки определяемого профиля по 6 интервалу исходного профиля.

Весовая функция фильтра Гаусса, приведенная в [8] определяется уравнением:

$$S(x) = \frac{1}{\alpha\lambda} \exp\left[-\pi\left(\frac{x}{\alpha\lambda}\right)^2\right], \quad (1)$$

где: x - расстояние от центра (максимума) весовой функции;

λ - длина волны отсечки;

α - константа, определяемая уравнением

$$\alpha = \sqrt{\frac{\log 2}{\pi}} = 0.4697. \quad (2)$$

После преобразования [8] весовой функции (1), вызванного введением новой переменной k значение весовой формулы определяется выражением

$$S(x) = \frac{1}{C} \exp\left[-\pi\left(\frac{\Delta x}{\alpha\lambda}\right)^2\right], \quad (3)$$

где Δx - интервал дискретизации;

k - номер точки в массиве S ;

C - константа, вычисляемая по формуле

$$C = \sum_k \exp\left[-\pi\left(\frac{\Delta x}{\alpha\lambda}\right)^2 k^2\right]. \quad (4)$$

Преобразование, в ходе фильтрации [7], исходного вектора z осуществляется в соответствии с выражением

$$w = S \cdot z, \quad (5)$$

где w - массив, преобразованный в ходе фильтрации профиля;

S - массив значений весовой функции;

z - массив, подвергаемый фильтрации.

Для определения значений параметров качества поверхности разработано программное обеспечение в среде многофункциональной интегрированной системы автоматизации математических и научно-технических расчетов «MatLab».

Программный код фильтра Гаусса

Реализация фильтра Гаусса осуществляется в виде функции `GaussianFilter`, в которой использовались следующие обозначения:

z - исходный вектор высот неровностей;

λ - длина волны отсечки λ (мм), значение задается в соответствии с выполняемой задачей;

dx - интервал дискретизация, определяемый при записи общего профиля (в наших исследованиях его значение принято 0,0001 мм);

n - количество соседних точек, которое учитывается в фильтрации и соответствует интервалу $3 \cdot dx$.

Программный код, определяющий работу фильтра Гаусса, получил следующее выражение:

```
function w=GaussianFilter(z,lambda,dx,n)
n=fix(A*lambda*(1/dx)); % - количество точек, учитываемых при фильтрации
m=length(H);
w=zeros(m,1);
s=zeros(2*n+1,1);
alpha=sqrt(log(2)/pi); % - константа  $\alpha$  - уравнение (2)
k=-n:n;
C=sum(exp(-pi*((dx/(alpha*lambda))^2)*(k.^2))); % - константа  $C$  - уравнение (4)
k=-n:n; % - вычисление значений массива  $S$  - уравнение (3)
s=(1/C)*exp(-pi*((dx/(alpha*lambda))^2)*(k.^2));
w=conv(H,s,'same'); % - вычисление преобразованного массива  $w$  - уравнение (5)
```

Анализ работы функции «GaussianFilter»

Важнейшим параметром, характеризующего работу фильтра Гаусса, является пропускание 50% амплитуды волны, длина которой равна длине волны отсечки.

Для изучения передаточных характеристик фильтра, обусловленных работой функции «GaussianFilter» генерировался синусоидальный сигнал, с изменяемой длиной волны, в пределах достаточных для иллюстрации его работы, для каждой длины волны отсечки, используемой при определении параметров профиля шероховатости в соответствии с ДСТУ ISO 4287-2002 [9] и ДСТУ ISO 4288-2001 [10]. Для изучения выбран ряд длин волн отсечки – 0,025 мм, 0,08 мм, 0,25 мм, 0,8 мм, 2,5 мм, 8 мм, позволяющих продемонстрировать работу фильтра в широком диапазоне.

На рис. 3 показана передаточная характеристика разработанного фильтра, откуда видно, что при длинах волн синусоиды существенно меньших длины волны отсечки передаваемая часть амплитуды незначительна. При увеличении длины волны синусоиды доля передаваемой амплитуды растет. При совпадении величины длины волны синусоиды и длины волны отсечки передается 50% амплитуды исходного сигнала. В ходе дальнейшего увеличения длины волны синусоиды пропускаемая амплитуда растет и при 20 кратном превышении длины волны отсечки достигает 99,8% исходного сигнала.

Представленные, передаточные характеристики фильтра, получаемые в результате работы функции «GaussianFilter», соответствуют требованиям, предъявляемым к работе фильтра Гаусса.

Особенностью фильтра Гаусса является наличие краевого эффекта, заключающегося в отклонении средней линии получаемого сигнала от номинального положения в начале и конце профиля. Для изучения краевого эффекта, получаемого в результате применения функции «GaussianFilter», сгенерирован синусоидальный сигнал с длиной волны 5 мм, который проходит через фильтр с длиной волны отсечки λ равной 5 мм и 10 мм.

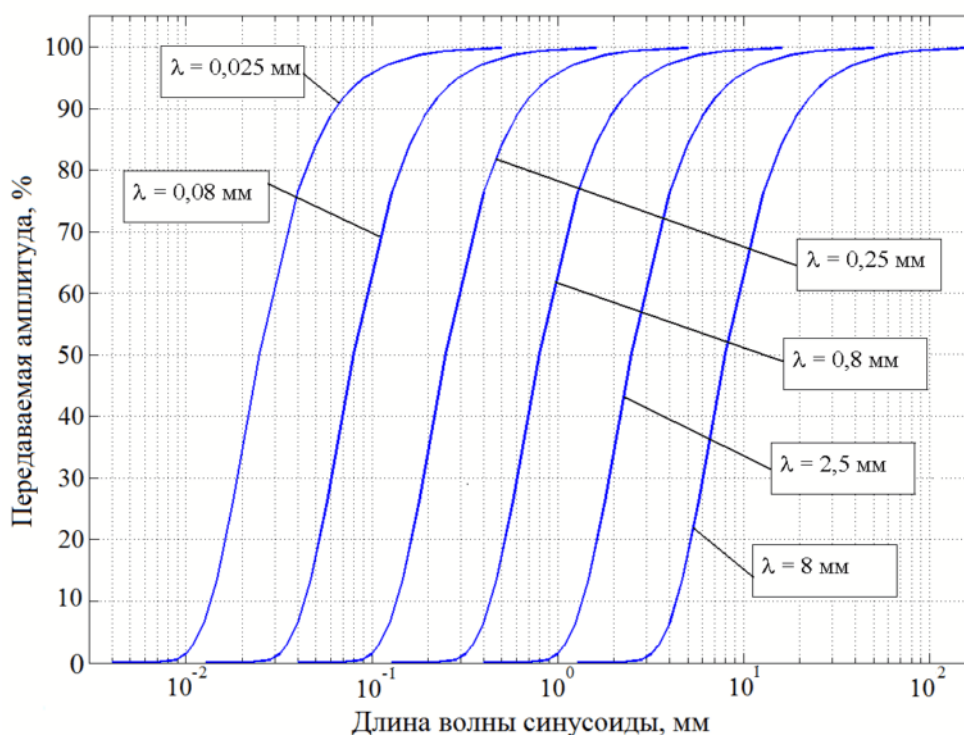


Рис. 3. Передаточна характеристика фільтра Гаусса (длинноволновый фильтр)

Как видно из рис. 4, краевой эффект образуется в начальной и конечной части синусоиды и присутствует при работе фильтра с длиной волны отсечки 5 и 10 мм. Проявление краевого эффекта обусловлено спецификой работы фильтра и наблюдается на расстоянии $0,6\lambda$ от начала или окончания изучаемого профиля, что обусловлено способом определения количества соседних точек весовой функции, используемых при работе фильтра Гаусса.

Краевой эффект является недостатком работы фильтра Гаусса, так как длина изучаемого образца может быть достаточно короткой. Как видно из рис. 4, для устранения влияния краевого эффекта необходимо оценку геометрических параметров профиля волнистости производить на участке, начало и конец которого, отстоят на величину равную $0,6$ длины волны отсечки. На параметры профиля шероховатости, определенные на том же участке что и волнистость, краевой эффект оказывать влияния не будет.

Стабильность работы фильтра Гаусса зависит от величины интервала соседних точек, которым оперирует весовая функция. Этот интервал задается во второй строке программы ($n=\text{fix}(A*\lambda*(1/dx));$) и регулируется коэффициентом A , так как параметры λ (длина волны отсечки) и dx (интервал дискретизации) определяются условиями проведения эксперимента.

Передаточная характеристика фильтра Гаусса должна монотонно изменяться во всем интервале обрабатываемых сигналов и иметь функционально обусловленный вид. При недостаточном интервале соседних точек такая монотонность нарушается (рис. 5).

В области малых длин волн, при использовании коэффициента $A = 0,6$, наблюдается заметное отклонение поведения передаточной характеристики от функционально обусловленного, что выражается в нарушении монотонного уменьшения величины передаваемого сигнала. Что устраняется увеличением значения коэффициента до зна-

чения $A = 0,8$. Дальнейшее увеличение коэффициента A до значения $1,0$ не приводит к заметному изменению передаточной характеристики, но при больших значениях λ существенно замедляет работу программы.

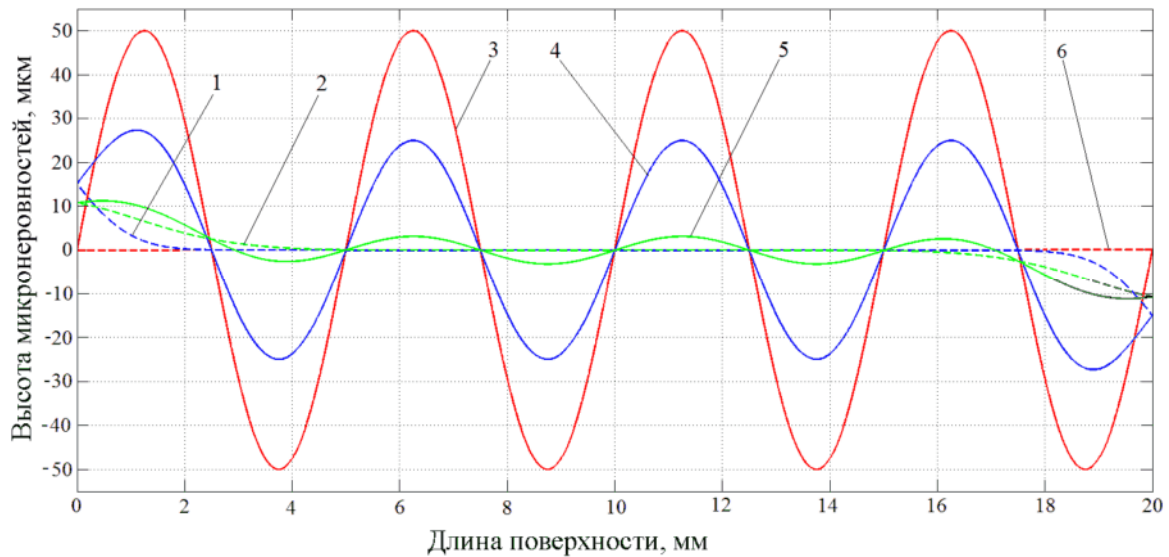


Рис. 4. Краевой эффект фильтра Гаусса

1 - средняя линия при $\lambda=10$ мм; 2 - средняя линия при $\lambda=5$ мм; 3 - исходная синусоида; 4 - синусоида, полученная при $\lambda = 5$ мм; 5 - синусоида, полученная при $\lambda=10$ мм; 6 - средняя линия исходной синусоиды

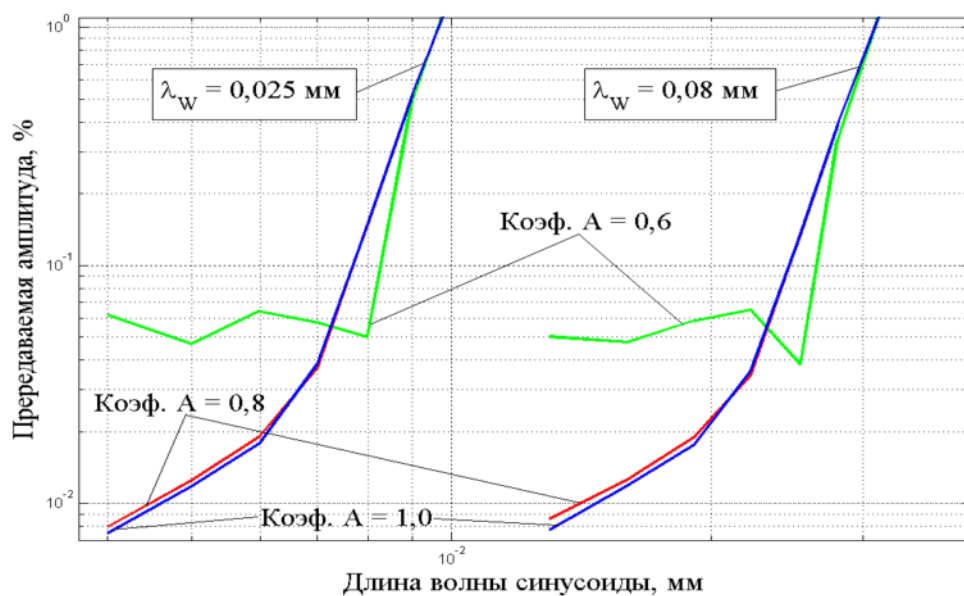


Рис. 5. Влияние коэффициента A на вид передаточной характеристики фильтра Гаусса

Таким образом в программном коде функции фильтра Гаусса рекомендуется использовать значения коэффициента $A = 0,8$.

В результате использования фильтра Гаусса получены профилограммы поверхности маложесткого образца обработанного однозубой концевой фрезой на экспериментальном стенде встречным фрезерованием по режимам: частота – 560 об/мин; подача – 0,2 мм/зуб; глубина резания – 0,5 мм; ширина фрезерования – 3,4 мм. Фрагмент профилограммы основного профиля, профиля волнистости, профиля шероховатости и их параметры, определенные на длине оценивания равной 16 мм, выделенной из основного профиля длиной 50 мм приведены на рис. 6.

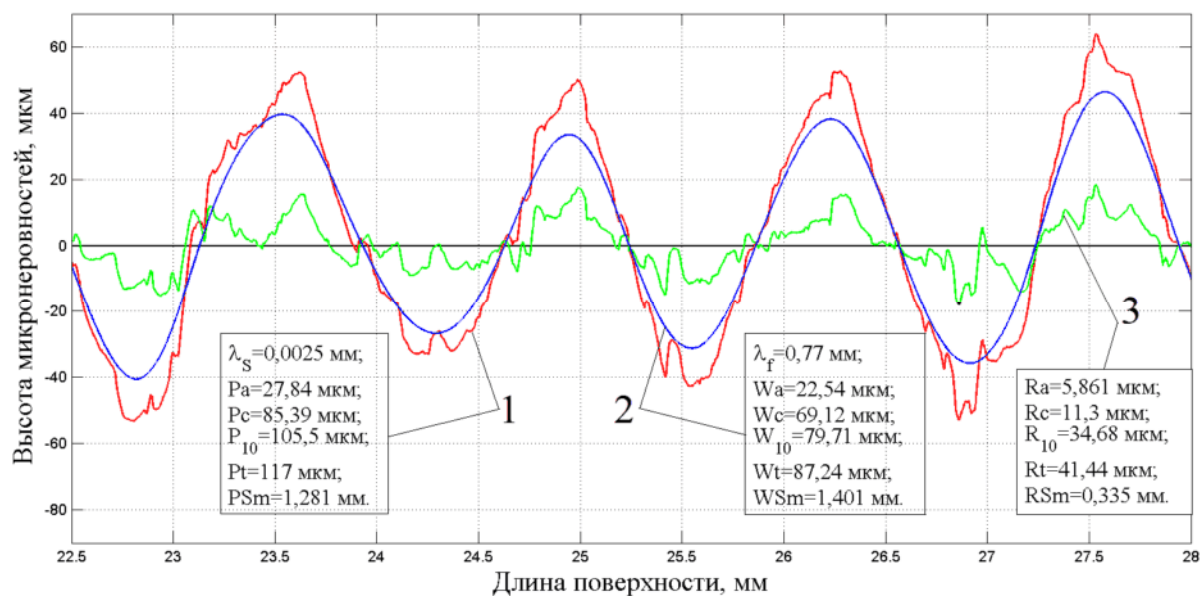


Рис. 6. Применение фильтра Гаусса для оценки геометрических параметров качества поверхности профильным методом

1 - основной профиль (красная линия) и его параметры; 2 - профиль волнистости и его параметры; 3 - профиль шероховатости и его параметры

Основной профиль получен применением профильного фильтра с длиной волны отсечки $\lambda_s=0,0025$ мм. Для получения профиля волнистости использован фильтр с длиной волны отсечки $\lambda_f=0,77$ мм.

Приведенный пример показывает эффективность применения профильного метода для комплексной оценки геометрических параметров качества поверхности с применением фильтра Гаусса, позволяющего получать как интегрированную оценку – параметры основного профиля, обозначенные английской литерой “P”, так и дифференцированные оценки составляющих профилей: волнистости (литера “W”) и шероховатости (литера “R”).

Заключение

По представленным результатам можно сделать вывод, что спроектированный фильтр Гаусса соответствует предъявляемым к нему требованиям и может быть рекомендован к применению для оценки параметров качества поверхности, проводимых профильным методом.

Оценку параметров профиля волнистости необходимо выполнять на участке, отстоящего не менее чем на 0,6 длины волны отсечки от краев общего профиля.

Список літератури:

1. ISO/TS 16610:2006. Geometrical product specifications (GPS). Filtration . – ISO, 2006.
2. Расчёт кварцевых фильтров Гаусса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cqham.ru/trx85_78.htm, 2007.
3. MSK сигнали с гауссовой огибающей (GMSK) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dsplib.ru/content/gmsk/gmsk.html>.
4. Фильтр Гаусса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spsstools.ru:80/Syntax/TimeSeries/GaussianFilter.sps>, 2006.
5. Фильтр Selective Gaussian Blu [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://djvu-soft.narod.ru/bookscanlib/014.htm>.
6. Ананченко В.Н. Теория измерений: учебное пособие / В.Н. Ананченко, Л.А. Гофман. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2002. – 214 с.
7. ISO/TS 16610-20:2006. Geometrical product specifications (GPS). Filtration. Part 20: Linear profile filters: Basic concepts. – ISO, 2006. – 14 p.
8. ISO 11562:1996. Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture: Profile method. Metrological characteristics of phase correct filters. – ISO, 1996.
9. Технічні вимоги до геометрії деталей (GPS). Структура поверхності. Терміни, визначення і параметри структури поверхності (ISO 4287:1997, IDT): ДСТУ ISO 4287-2002. – Київ: ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2002. – 16 с.
10. Технічні вимоги до геометрії деталей (GPS). Структура поверхності. Профільний метод. Правила і процедури оцінювання структури поверхності (ISO 4288:1996, IDT): ДСТУ ISO 4288-2001. – Київ: ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2002. – 10 с.
11. ISO 16610-21: 2011. Geometrical product specification (GPS). Filtration. Linear profile filters: Gaussian filters. – ISO, 2011.

Надійшла до редакції 05.02.2013.

П.А. Каморкін
ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРУ ГАУСА ДЛЯ
ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ
ПРОФІЛЬНИМ МЕТОДОМ
Запорізький національний технічний
університет, Україна

Профільний метод визначення геометричних параметрів якості поверхні заснований на розділенні загального профілю досліджуваної поверхні на основний профіль, профілі шорсткості і хвилястості за допомогою хвильових фільтрів. Одним з них є фільтр Гауса, застосування якого стримується недостатнім освітленням в літературі. Запропонований програмний код і спосіб використання фільтру Гауса. Приведені результати досліджень роботи фільтру для різних діапазонів довжин хвиль. Визначені основні параметри і передавальні характеристики фільтру, та його недоліки.
Ключеві слова: фільтр Гауса, шорсткість, хвилястість, профіль, передавальна характеристика, довжина хвилі.

Р.А. Kamorkin
APPLICATION OF GAUSSIAN FILTER FOR
DETERMINING OF THE GEOMETRIC
QUALITY PARAMETERS OF THE SURFACE
WITH PROFILE METHOD
Zaporozhye National Technical University,
Ukraine

The profile method of determination of geometrical parameters of the surface quality is based on dividing the total profile of the analyzed surface into a primary profile, profile of roughness and waviness using the wave filters. One of them is a Gaussian filter, application of which is limited due to insufficient description in literature. A program code and method of using Gaussian filter is offered. The research results of the filter operation are presented for the different ranges of the lengths of waves. Basic parameters, transmission description of the filter are identified.
Key words: Gaussian filter, roughness, waviness, profile, transmission description, wave-length.