ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р ИСО 16610-21— 2015**

# Государственная система обеспечения единства измерений

# Геометрические характеристики изделий (ГХИ)

# ФИЛЬТРАЦИЯ

## Часть 21

## Линейные профильные фильтры. Фильтры Гаусса

**(ISO 16610-21:2011, IDT)**

**Издание официальное**

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГУП «ВНИИОФИ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 206 «Эталоны и поверочные схемы»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 сентября 2015 г. № 1362-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 16610-21:2011 «Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Фильтрация. Часть 21. Линейные профильные фильтры. Фильтры Гаусса» (ISO 16610-21:2011 «Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 21: Linear profile filters: Gaussian filters», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом ИСО/ТС 213 «Пространственные и геометрические спецификации продуктов и верификация».

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2016

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 2
4 Характеристики Гауссова фильтра профиля для открытого профиля . . . 2
5 Характеристики Гауссова фильтра профиля для замкнутого профиля . . . 6
Приложение А (справочное) Ошибки, возникающие на практике, для открытых и замкнутых профилей (алгоритм сшивки) . . . 10
Приложение В (справочное) Примеры . . . 14
Приложение С(справочное) Место в матрице фильтров . . . 16
Приложение D (справочное) Место в матрице ГХИ . . . 17
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации . . . 19
Библиография . . . 20

## Предисловие
## к международному стандарту ИСО 16610-21:2011

ИСО (Международная Организация Стандартизации) представляет собой всемирную федерацию национальных стандартизационных подразделений. Мероприятия по подготовке международных стандартов обычно выполняются через технические комитеты ИСО. Каждое национальное подразделение, заинтересованное в теме, для которой был организован технический комитет, имеет право на представительство в этом комитете. Международные организации, правительственные и неправительственные, поддерживающие отношения с ИСО, также принимают участие в работах. ИСО тесно сотрудничает с Международной Электротехнической Комиссией (МЭК) во всех вопросах, связанных с электротехнической стандартизацией.

Международные стандарты подготавливаются в соответствии с правилами, установленными в ИСО/МЭК Директивы. Часть 2.

Основной задачей технических комитетов является подготовка международных стандартов. Международные стандарты, разрабатывающиеся техническими комитетами, передаются национальным подразделениям для голосования. Публикация и принятие международного стандарта требует одобрения как минимум 75 % национальных подразделений, участвующих в голосовании.

Следует принять во внимание, что существует вероятность, что некоторые элементы этого документа являются субъектами патентных прав. ИСО не несет ответственности за идентификацию части или всех подобных вопросов.

ИСО 16610-21:2011 разработан Техническим комитетом ИСО/ТС 213 «Пространственные и геометрические спецификации продуктов и верификация».

В результате технического пересмотра ИСО 16610-21 отменяет и заменяет собой стандарт ИСО 11562:1996.

ИСО 16610 под общим заголовком «Геометрические характеристики изделий (GPS). Фильтрация» включает в себя следующие разделы:

- часть 1. Обзор и основные понятия;
- часть 20. Фильтры линейного профиля. Основные понятия;
- часть 21. Фильтры линейного профиля. Фильтры Гаусса;
- часть 22. Фильтры линейного профиля. Сплайн-фильтры;
- часть 28. Фильтры линейного профиля. Сплайн-Вейвлеты;
- часть 29. Линейные фильтры профиля. Сплайновые вейвлеты;
- часть 30. Робастные фильтры профиля. Основные понятия;
- часть 31. Робастные фильтры профиля. Регрессионный фильтр Гаусса;
- часть 32. Робастные фильтры профиля. Сплайн-фильтры;
- часть 40. Морфологические фильтры профиля. Базовые понятия;
- часть 41. Морфологические фильтры профиля. Дисковые и линейно-сегментные горизонтальные фильтры;
- часть 49. Морфологические фильтры профиля. Техники масштабирования пространства.

Следующие части находятся в стадии разработки:

- часть 26. Фильтры линейного профиля. Фильтрация по номинально ортогональным плоским сеткам наборов данных;
- часть 27. Фильтры линейного профиля. Фильтрация по номинально ортогональным цилиндрическим сеткам наборов данных;
- часть 42. Морфологические фильтры профиля. Узорные фильтры;
- часть 60. Линейные поверхностные фильтры. Основные понятия;
- часть 61. Линейные поверхностные фильтры. Фильтры Гаусса;
- часть 62. Линейные поверхностные фильтры. Сплайн-фильтры;
- часть 69. Линейные поверхностные фильтры. Сплайн-вейвлеты;
- часть 70. Робастные поверхностные фильтры. Основные понятия;
- часть 71. Робастные поверхностные фильтры. Регрессионный фильтр Гаусса;
- часть 72. Робастные поверхностные фильтры. Сплайн-фильтры;
- часть 80. Морфологические поверхностные фильтры. Основные понятия;
- часть 81. Морфологические поверхностные фильтры. Сферические и горизонтально-плоскостные сегментные фильтры;
- часть 82. Морфологические поверхностные фильтры. Узорные фильтры;
- часть 89. Морфологические поверхностные фильтры. Техники масштабирования пространства.

## Введение
## к международному стандарту ИСО 16610-21:2011

Данная часть ИСО/ТС 16610 является Технической Спецификацией геометрических характеристик изделия и должна рассматриваться в качестве общей Технической Спецификации (см. ИСО/ТР 14638). Она влияет на звенья 3 и 5 во всей цепочке стандартов.

Генеральный план ИСО/ГХИ, приведенный в ИСО/ТР 14638, дает обзор системы ИСО/ГХИ, частью которого является стандарт ИСО 16610-21. Фундаментальные правила ИСО/ГХИ, объявленные в ИСО 8015, применяют к ИСО 16610-21, а также стандартные правила принятия решений, приведенные в ИСО 14253-1, применяют к спецификациям, сделанным в соответствии с ИСО 16610-21, в случае, если не оговорено иное.

Детальная информация о соотношении ИСО 16610-21 с матричной моделью ГХИ приведена в приложении D.

Стандарт ИСО 16610-21 устанавливает терминологию и понятия Гауссовых фильтров. Она имеет передачи для отключения волны как 50 %, поскольку коротковолновые и длинноволновые компоненты поверхностного профиля разделены и могут быть восстановлены без изменения профиля поверхности.

## Введение
## к национальному стандарту Российской Федерации

Цель настоящего стандарта — прямое применение в Российской Федерации международного стандарта ИСО 16610-21:2011 «Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Фильтрация. Часть 21. Линейные профильные фильтры. Фильтры Гаусса» как основы для изготовления и поставки объекта стандартизации по договорам (контрактам) на экспорт.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Государственная система обеспечения единства измерений**
**Геометрические характеристики изделий (ГХИ)**

# ФИЛЬТРАЦИЯ

**Часть 21**

**Линейные профильные фильтры**
**Фильтры Гаусса**

State system for ensuring the uniformity of measurements. Geometrical product specifications (GPS). Filtration. Part 21. Linear profile filters. Gaussian filters

**Дата введения — 2016—06—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт описывает метрологические характеристики фильтра Гаусса, применительно к фильтрации профиля. В том числе указываются методы разделения коротковолновых (высокой пространственной частоты) и длинноволновых (низкой пространственной частоты) компонент поверхностного профиля.

## 2 Нормативные ссылки

Нижеследующие документы, на которые приводятся ссылки, являются обязательными для применения настоящего стандарта. В отношении датированных ссылок действительно только указанное издание. В отношении недатированных ссылок действительно последнее издание публикации (включая любые изменения), на которую дается ссылка:

ISO/TS 16610-1:2006 Geometrical product specifications (GPS). Filtration. Part 1. Overview and basic concepts [Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Фильтрация. Часть 1. Обзор и основные понятия]

ISO/TS 16610-20:2006 Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 20: Linear profile filters: Basic concepts [Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Фильтрация. Часть 20. Фильтры линейного профиля. Основные понятия]

ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) [Руководство 98-3:2008 Неопределенность измерений. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерений (GUM:1995)]

ISO/IEC Guide 99:2007 International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM) [Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM)]

Издание официальное

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО/ТС 16610-1, ИСО/ТС 16610-20, ИСО/МЭК Руководство 98-3 и ИСО/МЭК Руководство 99 и следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

**линейные фильтры профиля** (linear profile filters): Фильтр профиля, используемый для разделения профиля на длинноволновый (низкочастотный) и кратковолновый (высокочастотный) компоненты.

[ISO/TS 16610-20:2006]

3.1.1

**открытый профиль** (open profile): Незамкнутый профиль поверхности конечной длины, включающий две конечные точки.

[ISO/TS 16610-1:2006]

3.1.2

**замкнутый профиль** (closed profile): Замкнутый профиль поверхности конечной длины, без конечных точек.

[ISO/TS 16610-1:2006]

3.1.3

**длина волны среза** (cut-off wavelength): Длина волны (период) профиля поверхности в виде синусоиды, для которого фильтр профиля пропускает 50 % амплитуды.

[ISO/TS 16610-20:2006]

## 4 Характеристики Гауссова фильтра профиля для открытого профиля

### 4.1 Гауссова весовая функция для открытого профиля

Весовая функция отрытого фильтра профиля (1) имеет вид Гауссовой функции с длиной волны среза $\lambda_c$, где «с» означает «срез».

Уравнение имеет следующий вид:

$$s(\chi) = \frac{1}{\alpha \cdot \lambda_c} \exp\left[-\pi\left(\frac{\chi}{\alpha \cdot \lambda_c}\right)^2\right], \quad (1)$$

где $x$ — расстояние от центра (максимума) весовой функции;

$\lambda_c$ — длина волны среза;

$\alpha$ — константа для обеспечения пропускания 50 % амплитуды на длине волны среза $\lambda_c$.

На практике весовая функция может быть записана следующим образом:

$$s(\chi) = \frac{1}{\alpha \cdot \lambda_c} \exp\left[-\pi\left(\frac{\chi}{\alpha \cdot \lambda_c}\right)^2\right] \quad \text{при } -L_c \cdot \lambda_c \le \chi \le L_c \cdot \lambda_c, \quad (2)$$

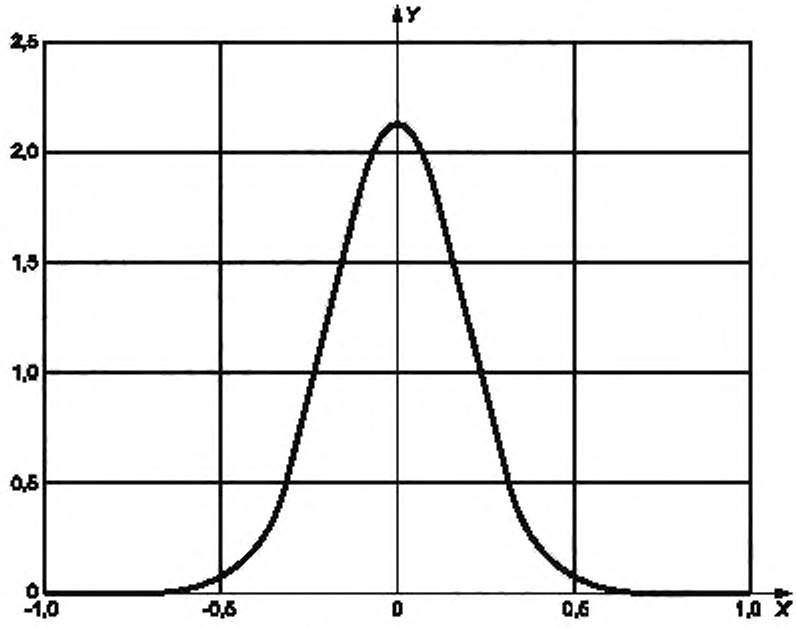
0 — в остальных случаях,

где $L_c$ — константа среза весовой функции (в приложении А приведены рекомендованные значения);

$\alpha$ — константа, равная:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \approx 0{,}4697. \quad (3)$$

График весовой функции представлен на рисунке 1.




$X = x/\lambda_c$; $Y = \lambda_c \ s(x)$

Рисунок 1 — Весовая функция Гауссова фильтра профиля для открытого профиля

### 4.2 Передаточные характеристики открытого профиля

#### 4.2.1 Передаточная характеристика длинноволновой (низкочастотной) компоненты открытого профиля

Передаточную характеристику (см. рисунок 2) определяют при помощи преобразования Фурье весовой функции. Для длинноволновой компоненты (средней линии):

$$\frac{a_1}{a_0} = \exp\left[-\pi\left(\frac{\alpha \cdot \lambda_c}{\lambda}\right)^2\right], \quad (4)$$

где $a_0$ — амплитуда синусоидального профиля до фильтрации;

$a_1$ — амплитуда синусоидального профиля по средней линии;

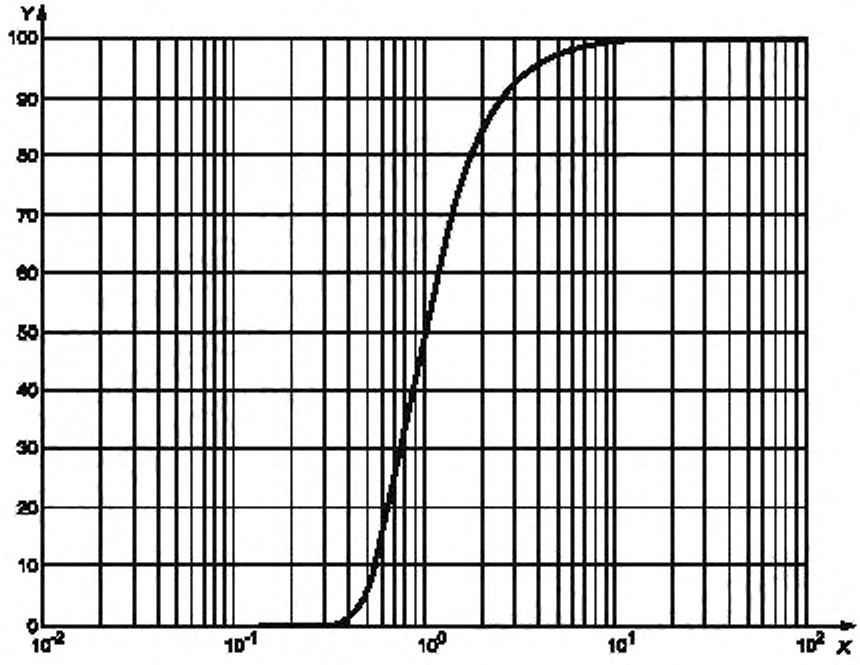
$\lambda$ — период синусоидального профиля.

#### 4.2.2 Передаточная характеристика кратковолновой (высокочастотной) компоненты открытого профиля

Передаточная характеристика (см. рисунок 3) определяется при помощи преобразования Фурье весовой функции и комплиментарна передаточной характеристике длинноволновой компоненты. Для кратковолновой компоненты ее записывают следующим образом:

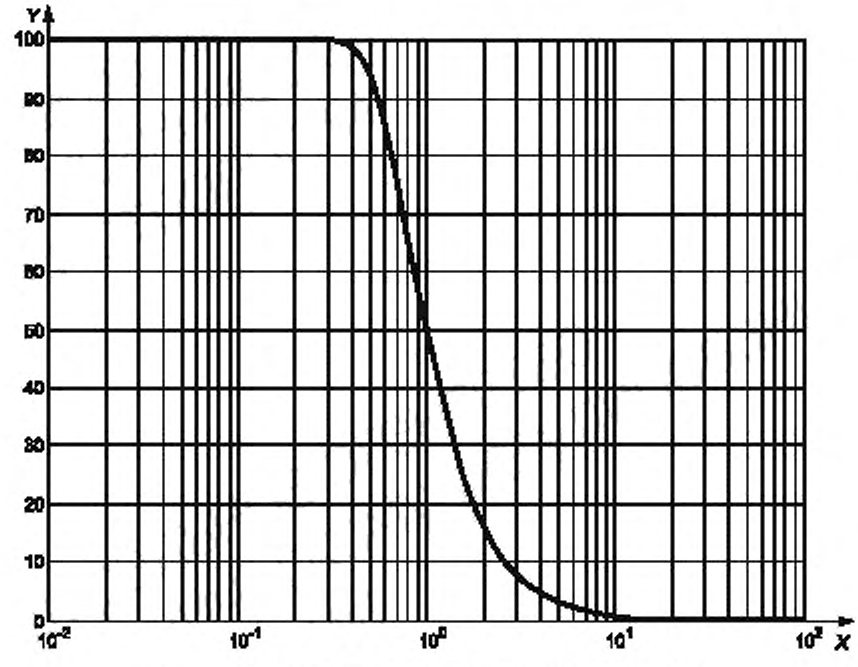
$$\frac{a_2}{a_0} = 1 - \exp\left[-\pi\left(\frac{\alpha \cdot \lambda_c}{\lambda}\right)^2\right], \quad \frac{a_2}{a_0} = 1 - \frac{a_1}{a_0}, \quad (5)$$

где $a_2$ — амплитуда кратковолновой компоненты синусоидального профиля.




$X$ — $\lambda/\lambda_c$; $Y$ — коэффициент пропускания амплитуды $a_1/a_0$, %

Рисунок 2 — Длинноволновая (низкочастотная) передаточная функция Гауссова фильтра для открытого профиля



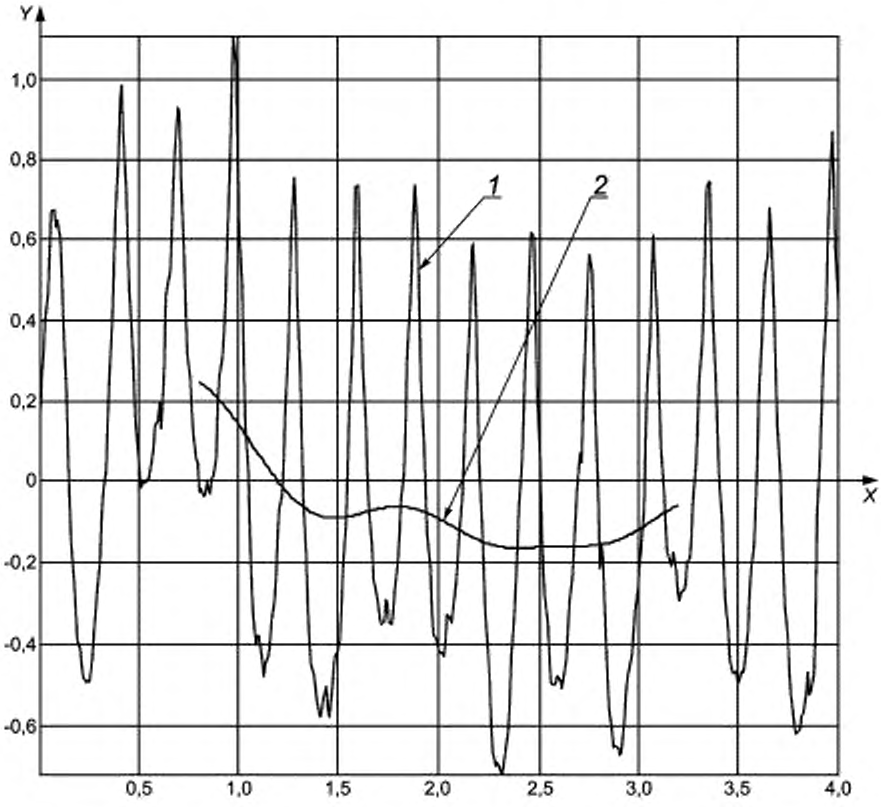

$X$ — $\lambda/\lambda_c$; $Y$ — коэффициент пропускания амплитуды $a_1/a_0$, %

Рисунок 3 — Кратковолновая передаточная функция Гауссова фильтра для открытого профиля

### 4.3 Краевые эффекты

Так как отрытые профили заданы на конечном отрезке, свертка Гауссова фильтра с открытым профилем приведет к появлению краевых эффектов в результате фильтрации на концевых участках профиля. Концевые участки открытого профиля, где краевые эффекты дают значительный вклад, называются зонами краевых эффектов.

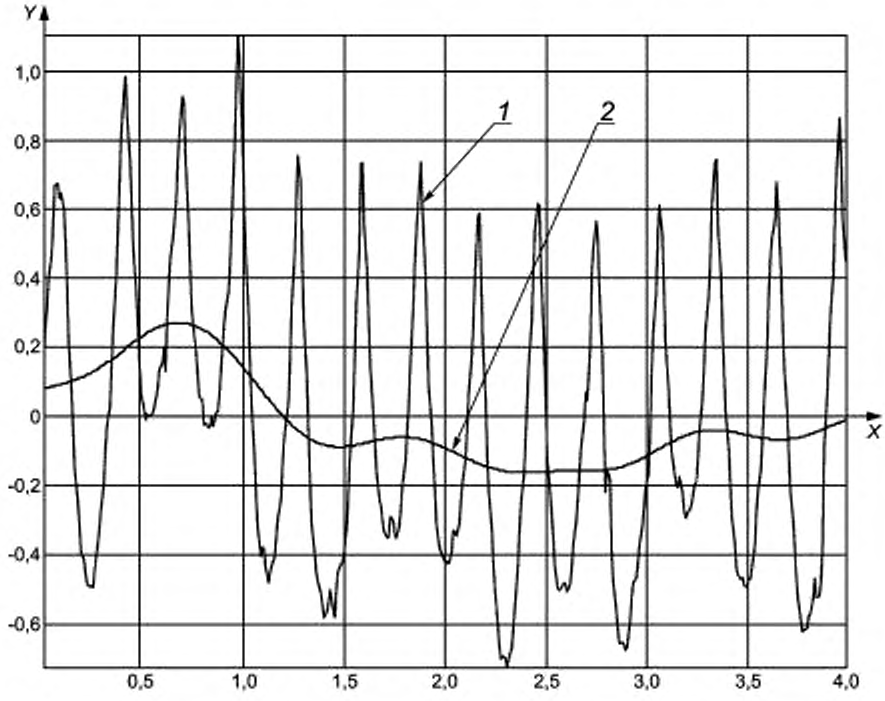
Одна из методик, позволяющих уменьшить краевые эффекты, заключается в использовании профиля большой длины и удалении зон краевых эффектов из результата фильтрации (см. рисунок 4).




*1* — профиль до фильтрации; *2* — профиль после фильтрации; *X* — длина, мм, *Y* — высота, мкм

Рисунок 4 — Пример Гауссовой фильтрации ($\lambda_c$ = 0,8 мм) с удалением зон краевых эффектов

К альтернативным подходам уменьшения краевых эффектов можно отнести методики, использованные в ИСО/ТС 16610-28 (см. рисунок 5).




*1* — профиль до фильтрации; *2* — профиль после фильтрации; *X* — длина, мм; *Y* — высота, мкм

Рисунок 5 — Пример Гауссовой фильтрации ($\lambda_c$ = 0,8 мм), использующей критерий сохранения момента, из ИСО/ТС 16610-28

## 5 Характеристики Гауссова фильтра профиля для замкнутого профиля

### 5.1 Введение

Замкнутый фильтр профиля не рекомендуется использовать для длин (окружностей), меньших $2\lambda_c$.

### 5.2 Гауссова весовая функция для замкнутого профиля

Весовая функция замкнутого фильтра профиля (см. рисунок 6) выражается как свертка Гауссовой функции плотности с замкнутым профилем длиной *L*. Функция имеет следующий вид:

$$s(\chi) = \begin{cases} \dfrac{f_c}{\alpha \cdot L} \exp\left[-\pi\left(\dfrac{\chi \cdot f_c}{\alpha \cdot L}\right)^2\right] & \text{при } -\dfrac{L_c \cdot L}{f_c} \le \chi \le \dfrac{L_c \cdot L}{f_c}, \\ 0 \text{ — в остальных случаях.} \end{cases} \quad (6)$$

где $\chi$ — расстояние от центра (максимума) взвешивающей функции;

$f_c$ — частота среза, равная $L/\lambda_c$;

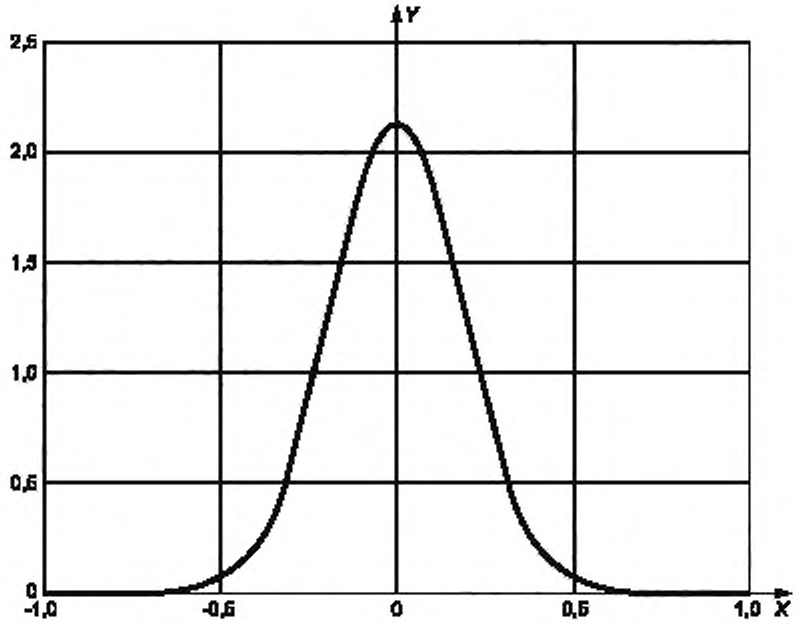
$L$ — длина замкнутого профиля;

$L_c$ — константа среза (см. приложение А);

$\alpha$ — константа, равная:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \approx 0{,}4697. \quad (7)$$

График Гауссовой весовой функции для фильтра замкнутого профиля приведен на рисунке 6.




$X = (f_c/L)\chi$; $Y = (L/f_c)s(\chi)$

Рисунок 6 — Весовая функция Гауссова фильтра замкнутого профиля

### 5.3 Передаточная характеристика замкнутого фильтра профиля

#### 5.3.1 Передаточная характеристика длинноволновой (низкочастотной) компоненты замкнутого фильтра профиля

Характеристика фильтра (см. рисунок 7) определяется с помощью преобразования Фурье весовой функции. Характеристика фильтра для средней линии, когда $\lambda_c << L$, может быть приближенно получена из уравнения:

$$\frac{a_1}{a_0} = \exp\left[-\pi\left(\frac{\alpha \cdot f}{f_c}\right)^2\right], \tag{8}$$

где $a_0$ — амплитуда синусоидального профиля шероховатости до фильтрации;

$a_1$ — амплитуда этого синусоидального профиля на средней линии;

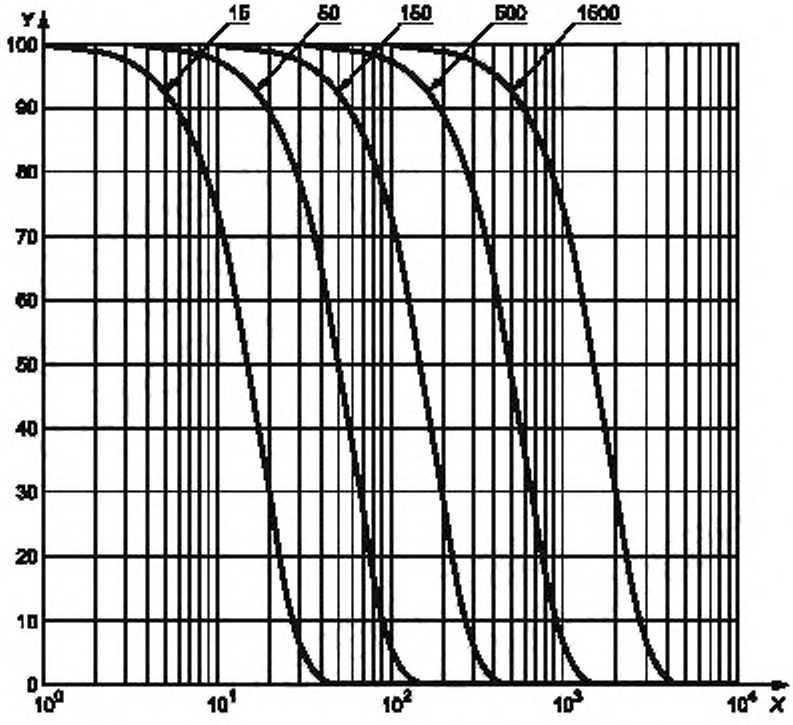
$f$ — частота синусоидального профиля [число периодов на профиль (оборот профиля)].

#### 5.3.2 Передаточная характеристика коротковолновой (высокочастотной) компоненты профиля

Передаточная характеристика (см. рисунок 8) коротковолновой компоненты профиля комплиментарна передаточной характеристике длинноволновой компоненты профиля. Коротковолновая компонента является разницей между профилем поверхности и длинноволновой компонентой профиля. Функция передаточной характеристики зависит от $\lambda_c$ (при $\lambda_c << L$) и записывается следующим образом:

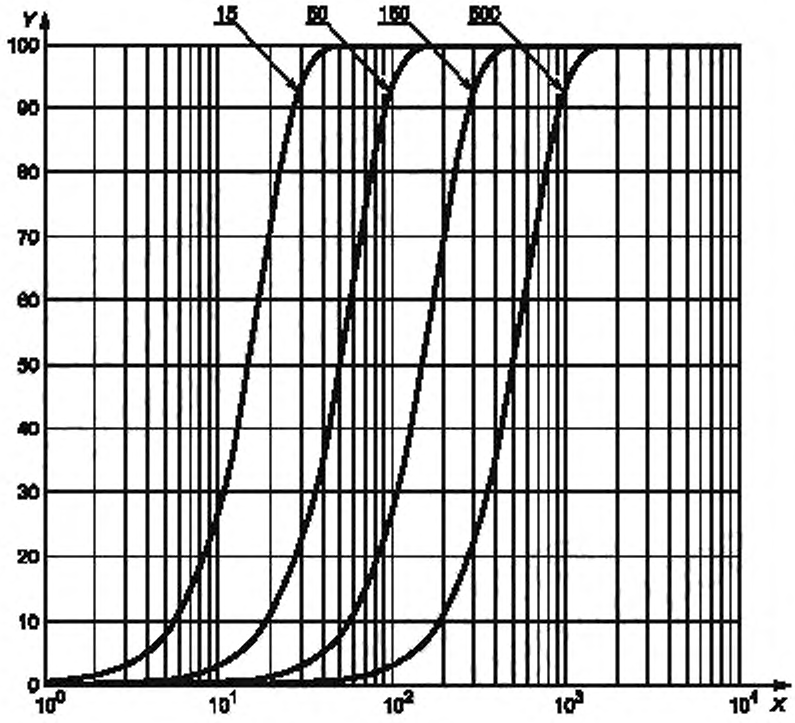
$$\frac{a_2}{a_0} = 1 - \exp\left[-\pi\left(\frac{\alpha \cdot f}{f_c}\right)^2\right], \quad \frac{a_2}{a_0} = 1 - \frac{a_1}{a_0}, \tag{9}$$

где $a_2$ — амплитуда профиля шероховатости синусоидальной волны.




*X* — число периодов на оборот профиля; *Y* — коэффициент пропускания амплитуды $a_1/a_0$, %

Рисунок 7 — Передаточная характеристика длинноволновой компоненты профиля для замкнутых фильтров профиля при разных количествах периодов на оборот профиля




*X* — число периодов на оборот профиля; *Y* — коэффициент пропускания амплитуды $a_2/a_0$, %

Рисунок 8 — Передаточная характеристика коротковолновой компоненты профиля для фильтра замкнутого профиля в волнах на оборот

**Приложение А**
**(справочное)**

## Ошибки, возникающие на практике, для открытых и замкнутых профилей (алгоритм сшивки)

### А.1 Открытые профили

В теории весовая функция Гаусса для открытого профиля принимает положительное значение, когда задана в диапазоне от минус бесконечности до плюс бесконечности. Однако весовая функция Гаусса быстро убывает при удалении от центра, так что в областях, достаточно удаленных от него, она практически равна нулю. Другими словами, на практике, весовая функция Гаусса задана в ограниченной области. Ограниченная весовая функция Гаусса имеет следующий вид:

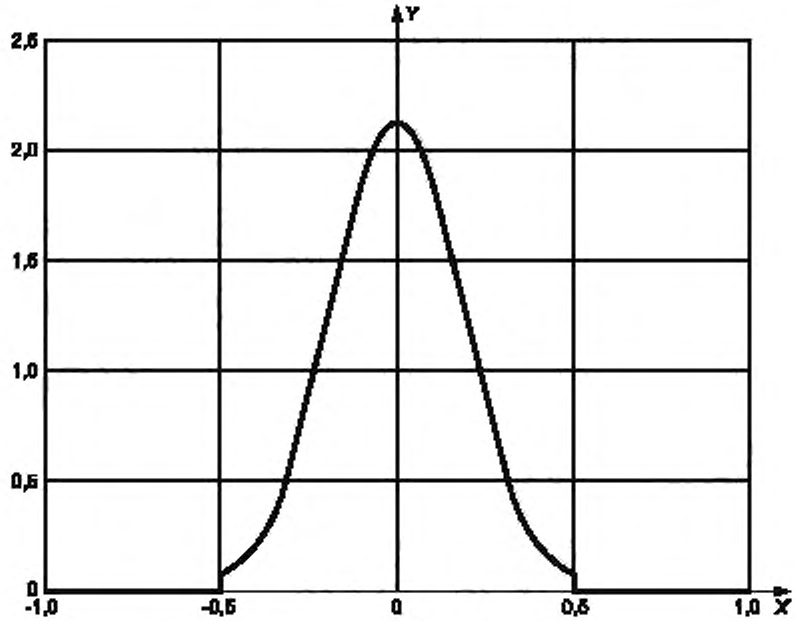
$$s(\chi) = \begin{cases} 0 \text{ при } \chi < -L_c \cdot \lambda_c; \\ s(\chi) \text{ при } -L_c \cdot \lambda_c \le \chi \le L_c \cdot \lambda_c; \\ 0 \text{ при } \chi > L_c \cdot \lambda_c, \end{cases} \quad (A.1)$$

где $\chi$ — расстояние вдоль профиля от центра (максимума) весовой функции,

$\lambda_c$ — длина волны среза;

$L_c$ — константа среза.

Пример ограниченной весовой функции Гаусса для открытого профиля приведен на рисунке А.1.




$X = \chi/\lambda_c$; $Y = \lambda_c \ \tilde{s}(\chi)$

Рисунок А.1 — Пример ограниченной весовой функции Гаусса для $L_c$, равной 0,5

Так как ограниченная весовая функция является аппроксимацией истинной (неограниченной) весовой функции Гаусса, при свертке с ограниченной функцией всегда будет присутствовать ошибка по сравнению с истинной функцией. Константу среза $L_c$ следует выбирать таким образом, чтобы ошибка не превышала приемлемого для данной задачи уровня.

Примечание — Ошибка при свертке с ограниченной функцией отличается от ошибки, вносимой граничными эффектами (см. ИСО/ТС 16610-28), и не включает в себя ошибки, вносимые цифровой реализацией Гауссова фильтра.

Математические выкладки, требуемые для расчета константы среза $L_c$, приведены в А.2.

### А.2 Математика для открытого профиля

С точки зрения математики, ограничение весовой функции до конечного интервала[1)] может быть описано с помощью умножения на прямоугольную функцию, таким образом ограниченная весовая функция может быть записана следующим образом.

$$\tilde{s}(\chi) = s(\chi) \cdot r(L_c, \chi), \tag{A.2}$$

где $s(\chi)$ — весовая функция Гаусса;

$\tilde{s}(\chi)$ — ограниченная весовая функция Гаусса;

$r(L_c, \chi)$ — прямоугольная функция, описываемая:

$$r(L_c, \chi) = \begin{cases} 1 \text{ при } L_c \cdot \lambda_c \le \chi \le L_c \cdot \lambda; \\ 0 \text{ — в остальных случаях.} \end{cases} \tag{A.3}$$

Ошибка, возникающая из-за ограничения интервала, определяется максимальным отклонением между передаточной функцией ограниченной весовой функции от передаточной функции неограниченной весовой функции.

Преобразование Фурье ограниченной весовой функции Гаусса $\tilde{S}(\omega)$

$$\tilde{S}(\omega) = (S \cdot R)(\omega) = \int_{x}^{x} S(\nu) \cdot R(L_c, \omega - \nu) d\nu, \tag{A.4}$$

где $S(\nu)$ — Фурье образ весовой функции Гаусса,

$R(...)$ — Фурье образ прямоугольной функции, который может быть представлен как:

$$R(L_c, \omega) = \int_{L_c \cdot \lambda_c}^{L_c \cdot \lambda_c} e^{-i\omega\chi} d\chi = 2L_c \lambda_c \cdot \operatorname{sinc}\left(\frac{L_c \cdot \lambda_c}{\pi} \omega\right), \tag{A.5}$$

где функция $\operatorname{sinc}(\chi) = \sin(\pi\chi)/\pi\chi$.

Согласно уравнению (А.3) при $\omega = 0$ достигается максимальное отклонение между передаточными функциями ограниченной и неограниченной весовых функций,что приводит к максимальной погрешности[1)]:

$$\operatorname{erfc}\left(\frac{L_c \cdot \sqrt{\pi}}{\alpha \cdot \lambda_c}\right)$$

Ее график приведен на рисунке (см. рисунок А.2), а также функция может быть описана в виде таблицы (см. таблицу А.1).

[1)] См. [6].

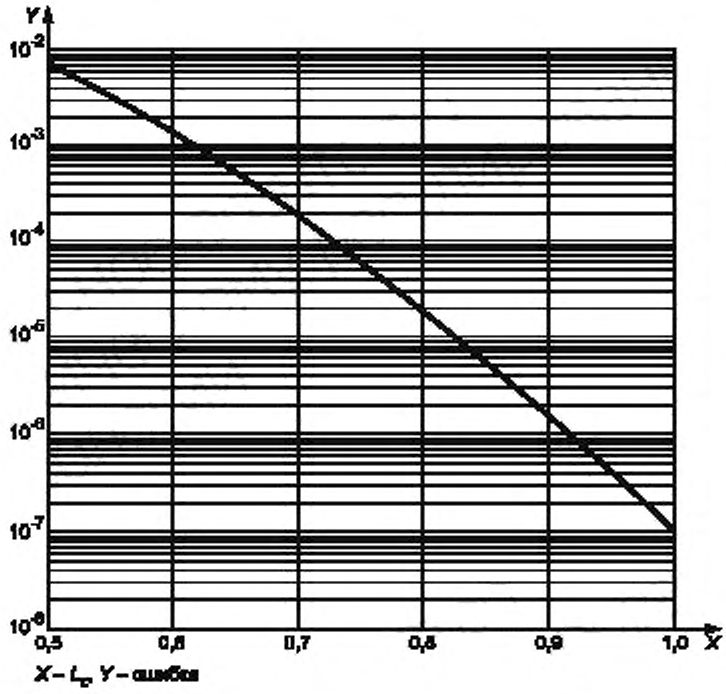



Рисунок А.2 — Ошибка ограниченного интервала в зависимости от константы среза $L_c$

Таблица А.1 — Ошибка ограниченности интервала при разных значениях константы среза $L_c$

| Константа среза $L_c$ | Ошибка, % |
|---|---|
| 0,5 | 0,76 |
| 0,6 | 0,14 |
| 0,8 | $1{,}96 \cdot 10^{-3}$ |
| 1,0 | $9{,}47 \cdot 10^{-6}$ |

На профиле $w(\chi)$ оценка максимальной ошибки может быть получена следующим образом[1]:

$$\Delta\omega(\chi) \le p_{max} \cdot \operatorname{erfc}\left\{\frac{L_c \cdot \sqrt{\pi}}{\alpha \cdot \lambda_c}\right\}, \qquad (A.6)$$

где $p_{max}$ — максимальное абсолютное значение профиля.

### А.3 Замкнутые профили

Весовая функция фильтра замкнутого профиля описывается уравнением для Гауссовой функции плотности, взятой от замкнутого профиля длины $L$. Причастоте среза $f_c$, равной $L/\lambda_c$, уравнение выглядит следующим образом:

$$s(\chi) = \begin{cases} \frac{f_c}{\alpha \cdot L} \exp\left[-\pi\left(\frac{\chi \cdot f_c}{\alpha \cdot L}\right)^2\right] & \text{при} -\frac{L_c \cdot L}{f_c} \le \chi \le \frac{L_c \cdot L}{f_c}, \\ 0 & \text{— в остальных случаях} \end{cases} \qquad (A.7)$$

где $\chi$ — координата вдоль замкнутого профиля, отсчитываемая от центра (максимума) весовой функции;

$f_c$ — частота среза;

$L$ — длина замкнутого профиля;

[1] См. [6].

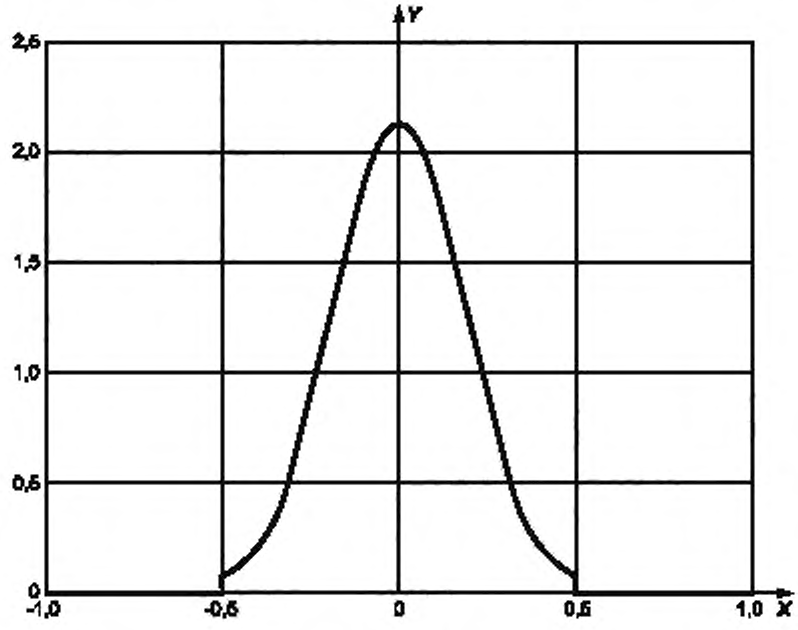
$L_c$ — константа среза,

$\alpha$ — константа, вычисленная по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \approx 0{,}4697. \qquad (A.8)$$

Выражение приведено в форме ограниченной весовой функции Гаусса.

Пример ограниченной весовой функции Гаусса для замкнутого профиля приведен на рисунке А.3.




$X = f_c/L \;\; \chi; Y = L/f_c \;\; \tilde{s}(\chi)$

Рисунок А.3 — Пример обрезанной взвешивающей функции Гаусса для константы обрезания $L_c$, равной 0,5

Так как обрезанная взвешивающая функция является аппроксимацией истинной взвешивающей функции Гаусса, при свертке с обрезанной функцией всегда будет присутствовать ошибка по сравнению со сверткой с истинной функцией. Константу обрезания $L_c$ следует выбирать таким образом, чтобы ошибка не превышала приемлемого для данной задачи уровня.

### А.4 Математика для замкнутого профиля

Математика для обрезанной взвешивающей функции Гаусса для замкнутого профиля идентична случаю с открытым профилем за исключением замены $\lambda_c$ на $L/f_c$, т. е. $\lambda_c = L/f_c$. График А.2 и таблица А.1 также идентичны для случая замкнутого профиля.

### А.5 Рекомендации

Рекомендуется:

1) для общего использования применять константу обрезания $L_c$, равную 0,5;

2) для точных поверхностей, где желательно уменьшить ошибку имплементации до 0,14 %[1)], использовать $L_c$, равную 0,6;

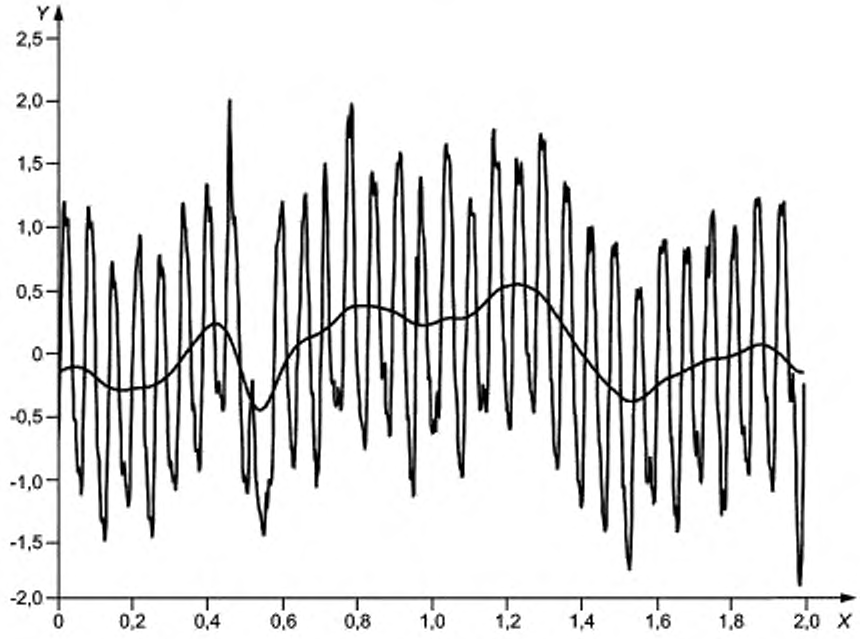
3) для справочного программного обеспечения использовать $L_c$, равную 1,0, так, чтобы ошибка[1)] имплементации была незначительной.

[1)] См. [6].

**Приложение В**
**(справочное)**

## Примеры

Примеры применения Гауссова фильтра профиля к открытым и замкнутым профилям приведены в информационных целях.




*X* — длина, мм, *Y* — высота, мкм

Рисунок В.1 — Открытый фильтр Гаусса со значением $\lambda_c$, равным 0,8 мм, использующий критерий сохранения момента для корректировки краевого эффекта, примененный к фрезерованной поверхности

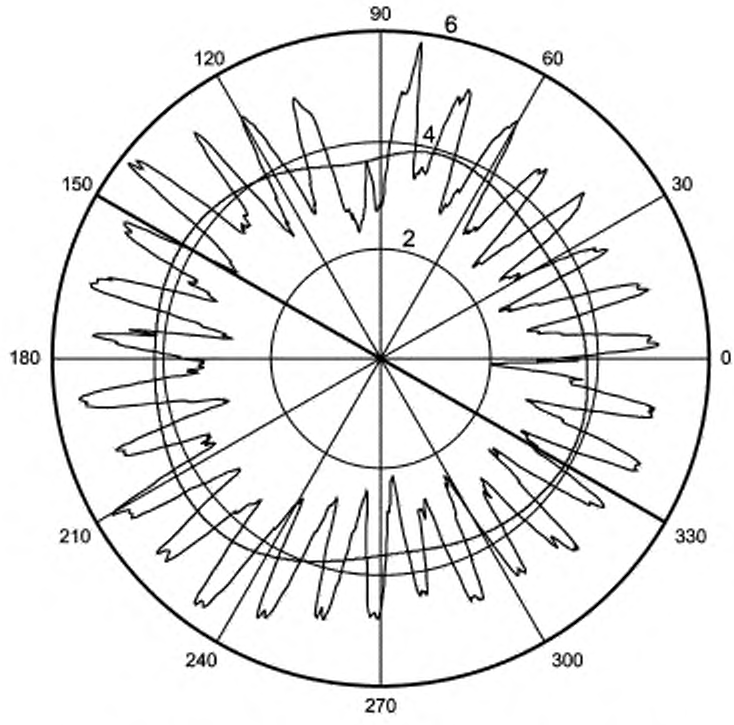



Рисунок В.2 — Замкнутый фильтр Гаусса (со значением $f_c$ = 5 периодов на оборот), примененный к фрезерованной/штампованной поверхности

**Приложение С**
**(справочное)**

## Место в матрице фильтров

### С.1 Общее

Подробности о матрице фильтров приведены в ИСО/ТС 16610-1.

### С.2 Позиция в матрице фильтров

Настоящий стандарт относится к конкретному фильтру и соответствует колонке «Фильтр профиля, линейный» (см. таблицу С.1).

Таблица С.1 — Место в матрице фильтров

| | Фильтр. серия ИСО 16610 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Общие | Раздел 1 | | | | | |
| | Фильтр профиля | | | Фильтр топограммы | | |
| Фундаментальные | Раздел 11 | | | Раздел 12 | | |
| | Линейный | Робастный | Морфологический | Линейный | Робастный | Морфологический |
| Общий аспект | Раздел 20 | Раздел 30 | Раздел 40 | Раздел 60 | Раздел 70 | Раздел 80 |
| Конкретный фильтр | Разделы 21—25 | Разделы 31—35 | Разделы 41—45 | Разделы 61—65 | Разделы 71—75 | Раздел 81—85 |
| Как использовать фильтр | Разделы 26—28 | Разделы 36—38 | Разделы 46—48 | Разделы 66—68 | Разделы 76—78 | Разделы 86—88 |
| Переменное разрешение | Раздел 29 | Раздел 39 | Раздел 49 | Раздел 69 | Раздел 79 | Раздел 89 |

**Приложение D**
**(справочное)**

## Место в матрице ГХИ

### D.1 Общее

Подробности матрицы ГХИ приведены в ИСО/ТР 14638.

Генеральный план ИСО/ГХИ, приведенный в ИСО/ТР 14638, дает обзор системы ИСО/ГХИ, частью которого является настоящий стандарт. Фундаментальные правила ИСО/ГХИ, объявленные в ИСО 8015, применяют к настоящему стандарту, а также стандартные правила принятия решений, приведенные в ИСО 14253-1, применяют к спецификациям, сделанным в соответствии с настоящим стандартом, в случае если не оговорено иное.

### D.2 Информация о настоящем стандарте и его использовании

Настоящий стандарт определяет метрологические характеристики линейных фильтров Гаусса.

### D.3 Место в матрице ГХИ

Настоящий стандарт является глобальным документом ГХИ, который применим к звеньям цепочки 3 и 5 всех цепей стандартов, как и проиллюстрировано на схеме D.1.

| Фундаментальный стандарт ГПИ | Глобальный стандарт ГПИ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | Общий стандарт ГПИ | | | | | | |
| | Номер звена цепочки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Размер | | | X | | X | |
| | Расстояние | | | X | | X | |
| | Радиус | | | X | | X | |
| | Угол | | | X | | X | |
| | Форма линейной независимости данных | | | X | | X | |
| | Форма линейной зависимости данных | | | X | | X | |
| | Форма поверхностной независимости данных | | | X | | X | |
| | Форма поверхностной зависимости данных | | | X | | X | |
| | Ориентация | | | X | | X | |
| | Положение | | | X | | X | |
| | Радиальное биение | | | X | | X | |
| | Полное биение | | | X | | X | |
| | Данные | | | X | | X | |
| | Профиль шероховатости | | | X | | X | |
| | Профиль волнистости | | | X | | X | |
| | Первичный профиль | | | X | | X | |
| | Дефекты поверхности | | | X | | X | |
| | Границы | | | X | | X | |

Схема D.1 — Место в матрице ГПИ

### D.4 Родственные международные стандарты

Родственные международные стандарты приведены в целочках стандартов, указанных на схеме D.1

**Приложение ДА**
**(справочное)**

## Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

| Обозначение ссылочного международного стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта |
|---|---|---|
| ИСО/ТС 16610-1:2006 | IDT | ГОСТ Р ИСО 16610-1—2015 «Государственная система обеспечения единства измерений. Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Фильтрация. Часть 1. Обзор и основные понятия» |
| ИСО/ТС 16610-20:2006 | — | * |
| Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 | IDT | ГОСТ Р 54500.3—2011 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения» |
| Руководство ИСО/МЭК 99:2007 | — | * |

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Официальный перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичные стандарты.

## Библиография


[1] ISO 8015:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Fundamentals — Concepts, principles and rules [Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Основные принципы. Концепции, принципы и правила]

[2] ISO 11562:1996, Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Metrological characteristics of phase correct filters [Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Структура поверхности. Профильный метод. Метрологические характеристики фильтров с коррекцией фазы]

[3] ISO 14253-1:1998, Geometrical Product Specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 1: Decision rules for proving conformance or nonconformance with specifications [Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Контроль измерением обрабатываемых деталей и измерительных систем. Часть 1. Правила принятия решения для доказательства соответствия или несоответствия техническим условиям]

[4] ISO/TR 14638:1995, Geometrical product specification (GPS) — Masterplan [Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Основная схема]

[5] ISO/TS 16610-28:2010, Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 28: Profile filters: End effects [Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Фильтрация. Часть 28. Профильные фильтры: Конечные воздействия]

[6] EVANS, C. Precision engineering an evolutionary view. Cranfield Press, 1989 (Точность инженерных эволюционных видов)

[7] KRYSTEK, M. The digital implementation of the Gaussian profile filter according to ISO 11562. Beuth-Verlag, Berlin, 2005 (Цифровая реализация фильтра Гауссова профиля согласно ИСО 11562)

[8] JONES, J.V. Precision engineering from supertankers to integrated circuits. Precision Engineering, 1(1), 1979, p. 3 (Точное машиностроение от супертанкеров до интегральных схем. Точное машиностроение)

УДК 53.088.528.06.528.067:006.354 ОКС 17.040.20

Ключевые слова: геометрические характеристики, профиль поверхности, фильтрация

Редактор *Р.Г. Говердовская*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.М. Малахова*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 19.11.2015. Подписано в печать 09.02.2016. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,85. Тираж 40 экз. Зак. 421.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru