

УДК 006.91:531.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ ФИЛЬТРА НА ИЗМЕРЕННЫЙ ПРОФИЛЬ

Суворова Ольга Романовна

Студент 4 курса

кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.Д. Позднякова,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»

При измерении отклонений от круглости важной задачей является исключение влияния шероховатости, что достигается использованием частотных фильтров. Целью работы является исследование влияния выбора предельного числа колебаний фильтра на результаты измерения отклонений от круглости. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: провести измерения круглости с различными фильтрами; выявить зависимости между параметрами фильтра и погрешностью измерений отклонений от круглости; проанализировать измеренный профиль методом численного гармонического анализа для интерпретации влияния фильтра на отдельные гармонические составляющие.

Аналитический обзор литературы показал, что нормативной базой фильтрации профилей являются стандарты серии ISO 16610, а также ГОСТ 28187-89 и ГОСТ 17353-89. В работе описывается необходимость комплексной фильтрации сигнала при измерениях на координатно-измерительных машинах, включающей выявление погрешностей с помощью дискретного преобразования Фурье. Особое внимание в литературе уделяется профильным фильтрам Гаусса, где критическая частота влияет на форму полученного профиля. Так, выбор предельного числа колебаний фильтра (критической частоты) является ключевым фактором, определяющим точность измерений отклонений.

На рисунке 1 представлены самые показательные результаты измерения круглости цилиндрической детали типа вал-вилка.

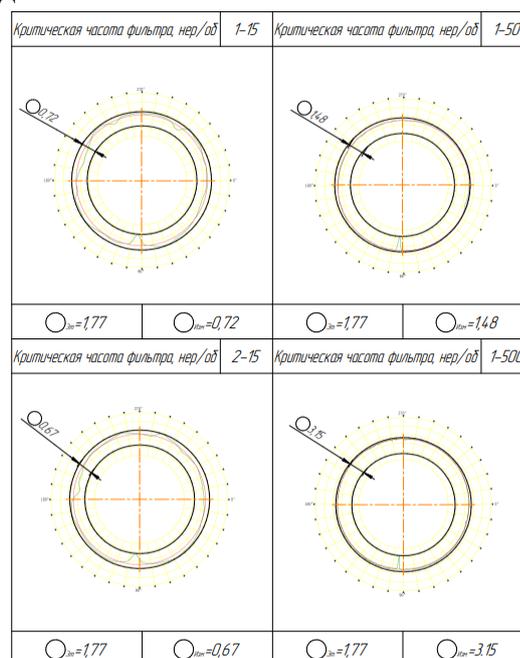


Рис. 1. Результаты измерений круглости с разными фильтрами

Экспериментально было подтверждено, что измерения с фильтром 1-15 и 2-15 дают результаты в 2 раза меньше, чем калибровочная мера. Фильтры с предельным числом колебаний выше 50 дают результат с погрешностью  $\pm 1,38$  мкм. Фильтры с предельным числом колебаний менее 50 за оборот при измерении отклонений от круглости, включающих волнистость, использовать не следует. Для измерения отклонений от круглости без учета влияния волнистости рекомендуется при всех диаметрах поверхности применять фильтры с предельным числом колебаний, равным 15 за оборот. Результаты эксперимента приведены на рисунке 2 в виде графика. Полученные значения отклонения от круглости представлены в виде кривой, тогда как прямая соответствует эталонному значению меры.

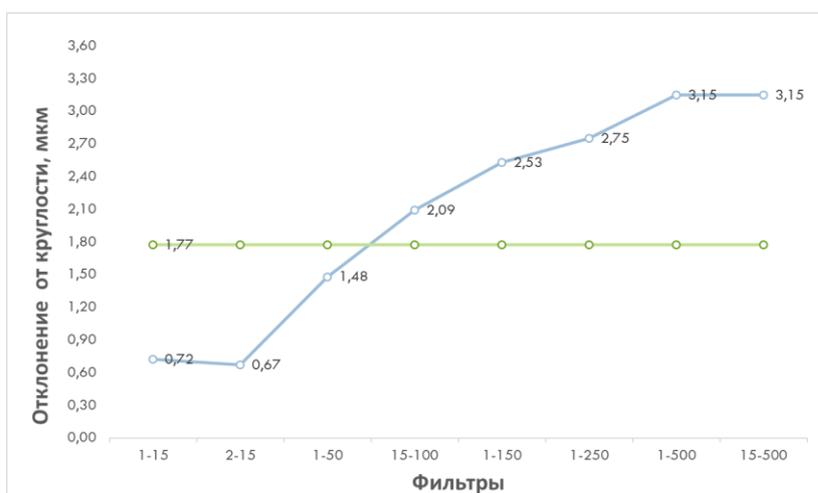


Рис.2. График зависимости отклонения круглости от выбора фильтра

Теоретическое обоснование полученных результатов выполнено с использованием метода численного гармонического анализа. Численный гармонический анализ – это математический метод обработки результатов измерения профиля, который позволяет разложить сложную форму отклонения от круглости на простые составляющие (гармоники). Каждую гармонику удобно представлять как:

$$M_k \cdot \sin(k\varphi + \varphi_k), \text{ где:}$$

$$M_k = \sqrt{(A_k^2 - B_k^2)} - \text{амплитуда } k\text{-ой гармоники;}$$

$$\varphi_k = \arctg\left(\frac{A_k}{B_k}\right) - \text{начальная фаза.}$$

Таблица 1. Геометрическая интерпретация гармоник

Гармоника (k)	Геометрическая форма	Физический смысл	Уравнение в полярных координатах
k=0	Окружность постоянного радиуса	Средний размер детали	$\rho = R_0$
k=1	Смещенная окружность	Эксцентриситет (биение)	$\rho = R_0 + M_1 \cdot \sin(\varphi + \varphi_1)$
k=2	Овал (эллипс)	Овальность	$\rho = R_0 + M_2 \cdot \sin(2\varphi + \varphi_2)$
k=3	Трехгранник	Трехгранность	$\rho = R_0 + M_3 \cdot \sin(3\varphi + \varphi_3)$
k=4	Четырехгранник	Четырехгранность	$\rho = R_0 + M_4 \cdot \sin(4\varphi + \varphi_4)$

$k \geq 5$	Многогранник	Многогранность, волнистость, шероховатость	$\rho = R_0 + \sum M_k \cdot \sin(k\phi + \phi_k)$
------------	--------------	--	--

Таким образом, обоснование выбора критической частоты фильтра является необходимым условием достоверного контроля круглости. Экспериментально подтверждено, что отклонение от рекомендованных значений предельного числа колебаний приводит к значительным погрешностям, что требует строгого следования табличным значениям в зависимости от допуска круглости. Результаты работы могут быть использованы при совершенствовании методик и дальнейших исследований измерения круглости.

### Литература

1. Захаров О. В., Яковишин А. С., Жуков А. В. Применение фильтров серии ISO 16610 для анализа структуры поверхности. Часть 2. Профильные фильтры Гаусса // Вестник Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина. 2022. №2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-filtrov-serii-iso-16610-dlya-analiza-struktury-poverhnosti-chast-2-profilnye-filtry-gaussa> (дата обращения: 28.11.2025).
2. Трошин А. А. Методы фильтрации при измерении на координатно-измерительных машинах // Измерительная техника. 2020. № 5. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-filtratsii-pri-izmerenii-na-koordinatno-izmeritelnyh-mashinah> (дата обращения: 5.12.2025).
3. Влияние стратегии измерений на результаты измерений // Стандарты и качество. 2023. № 12. Режим доступа: <https://ria-stk.ru/mi/adetail.php?ID=230738> (дата обращения: 11.10.2025)
4. ГОСТ 28187-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Отклонения формы и расположения поверхностей. Общие требования к методам измерений. Введ. 1990-07-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1990. 20 с.
5. ГОСТ 17353-89. Приборы для измерений отклонений формы и расположения поверхностей вращения. Типы. Общие технические требования. Введ. 1991-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1989. 8 с.