
ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(EASCC)

EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(EASC)



МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
ISO 230-4 —
202
*(Проект,
окончательная
редакция)*

НОРМЫ И ПРАВИЛА ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Часть 4

Испытания на отклонения круговых траекторий для станков с
числовым программным управлением

(ISO 230-4:2022, IDT)

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его принятия

Минск

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации

202

Предисловие

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) представляет собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В дальнейшем возможно вступление в ЕАСС национальных органов по стандартизации других государств.

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» (УУНиТ) и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 070 «Станки»

3 ПРИНЯТ Евразийским Советом по стандартизации, метрологии и сертификации по результатам голосования в АИС МГС (протокол от №)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004–97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004–97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 230-4:2022 «Нормы и правила испытаний металлорежущих станков. Часть 4. Испытания на отклонения круговых траекторий для станков с числовым программным управлением» («Test code for machine tools – Part 4: Circular tests for numerically controlled machine tools», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом по стандартизации ISO/TC 39 «Станки», подкомитетом SC 2 «Условия испытаний металлорежущих станков».

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

Исключительное право официального опубликования настоящего стандарта на территории указанных выше государств принадлежит национальным органам по стандартизации этих государств

Содержание

1	Область применения.....	
2	Нормативные ссылки	
3	Термины и определения	
4	Предварительные замечания.....	
4.1	Условия окружающей среды	
4.2	Испытуемый станок	
4.3	Прогрев станка	
4.4	Параметры испытаний.....	
4.5	Калибровка средств измерений	
4.6	Погрешность измерения.....	
5	Процедура испытаний.....	
6	Представление результатов.....	
7	Пункты, подлежащие согласованию между поставщиком/производителем и потребителем	
	Приложение А (справочное) Различия между круговыми отклонениями G и G(b) и радиальными отклонениями F и D.....	
	Приложение Б (справочное) Влияние типовых отклонений станка на круговые траектории, выполненные с двумя линейными осями	
	Приложение В (справочное) Меры предосторожности, применяемые к средствам измерений для испытаний на отклонения круговых траекторий с поворотными осями	
	Приложение Г (справочное) Регулировка диаметра и скорости придания формы для испытаний на отклонения круговых траекторий	
	Приложение Д (справочное) Испытания на отклонения круговых траекторий с использованием сигнала обратной связи	
	Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам ...	
	Библиография.....	

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ**НОРМЫ И ПРАВИЛА ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ****Часть 4****Испытания на отклонения круговых траекторий для станков с числовым программным управлением**

Test code for machine tools. Part 4. Circular tests for numerically machine tools

Дата введения – 20 – –

1 Область применения

В настоящем стандарте представлены методы определения характеристик контурной обработки станков с числовым программным управлением.

Стандарт устанавливает методы испытаний и оценки двунаправленного кругового отклонения, среднего двунаправленного радиального отклонения, а также кругового и радиального отклонения круговых траекторий, возникающих при одновременном перемещении двух линейных осей.

Этот стандарт определяет методы проверки отклонений траекторий кругового или постоянного радиуса, создаваемых любой комбинацией одновременно управляемых (координируемых) линейных и поворотных осей. Основным принцип этих испытаний заключается в координации нескольких осей движения (комбинации поворотных и линейных осей) для обеспечения постоянного относительного положения между инструментом и заготовкой.

В настоящем стандарте описываются различия между отклонениями по окружности и радиальными отклонениями (приложение А), влияние типовых отклонений станка на траектории движения по окружности, выполняемые с двумя линейными осями (приложение В), меры предосторожности при проведении испытаний на отклонения круговых траекторий с поворотными осями (приложение С), пример регулировки диаметра и скорости контурирования при испытаниях на отклонения круговых траекторий (приложение D) и испытаниях на отклонения круговых траекторий с использованием сигнала обратной связи (приложение Е).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылоч-

ного стандарта, для недатированных – последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 230-1:2012, Test code for machine tools – Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or finishing conditions (Нормы и правила испытаний металлорежущих станков. Часть 1. Геометрическая точность станков, работающих на холостом ходу или в квазистатических условиях)

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (www.easc.by) или по указателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ISO 230-1, а также следующие термины с соответствующими определениями.

Международные организации ISO и IEC поддерживают терминологические базы данных для использования в области стандартизации, доступные по следующим адресам:

-Платформа онлайн-просмотра ISO: доступна по адресу <https://www.iso.org/obp>;

-IEC Electropedia: доступно по адресу <http://www.electropedia.org>.

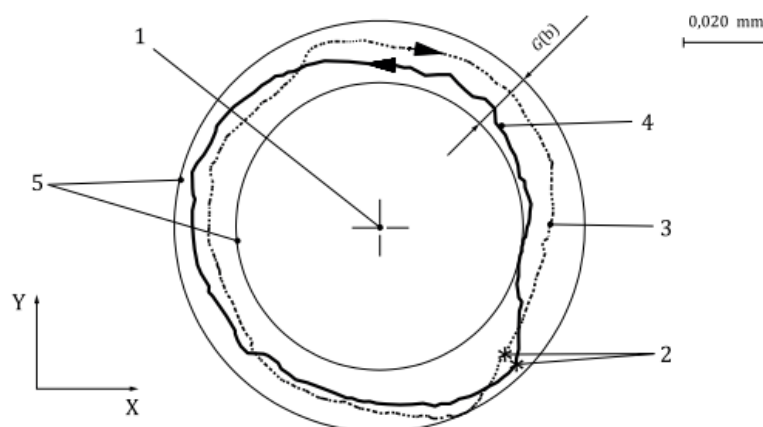
3.1 номинальная траектория (nominal path): <круговая интерполяция> Круговая траектория, программируемая и управляемая ЧПУ, определяемая ее диаметром (или радиусом), положением центра и ориентацией в рабочей зоне станка, и которая может быть как целой окружностью, так и частью окружности с углом не менее 90°.

Примечание — Линейная интерполяция (G01), круговая интерполяция (G02 или G03) и другие типы интерполяции могут быть использованы для создания номинальной круговой траектории.

3.2 фактическая траектория (actual path): Траектория, создаваемая станком, запрограммированным на движение по *номинальной траектории* (см. 3.1).

3.3 двунаправленное круговое отклонение $G(b)$ (bi-directional circular error): Минимальное радиальное расстояние между двумя концентрическими окружностями (минимальными окружностями зоны), охватывающими две *фактические траектории* (см. 3.2), где одна траектория осуществляется контурным движением по часовой стрелке, а другая – контурным движением против часовой стрелки.

Примечание 1 — Смотрите рисунок 1, где двунаправленное круговое отклонение $G(b)_{XY} = 0,015$ мм. Индексы идентифицируют траектории перемещения осей во время испытаний на отклонения круговых траекторий (см. 3.7).



1 – центр среднеквадратичной окружности двух фактических траекторий (см. примечание 2);
 2 – начальная точка; 3 – фактическая траектория, движение по часовой стрелке; 4 – фактическая траектория, движение против часовой стрелки; 5 – концентрические окружности, охватывающие фактические траектории

Рисунок 1 — Измерение двунаправленного отклонения $G(b)$ с использованием среднеквадратической окружности

Примечание 2 — Двунаправленное круговое отклонение $G(b)$ можно оценить как диапазон максимальных радиальных отклонений от среднеквадратичной окружности. Среднеквадратичная окружность вычисляется из двух траекторий, то есть по часовой стрелке и против часовой стрелки.

Примечание 3 — Двунаправленное круговое отклонение $G(b)$ не включает в себя погрешности настройки, т. е. погрешности центрирования средства измерений.

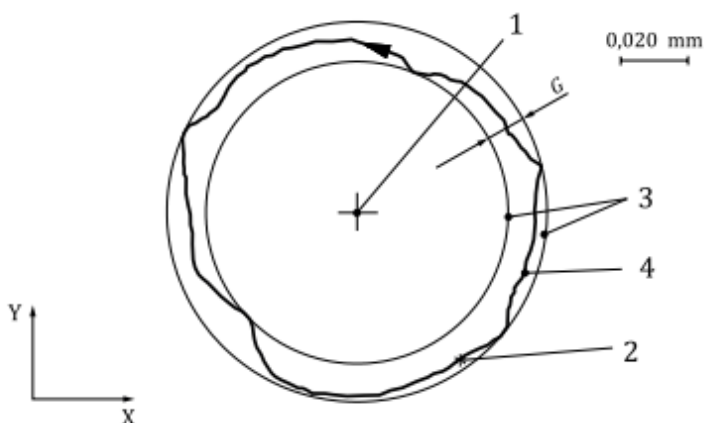
Примечание 4 — Измерение двунаправленного кругового отклонения $G(b)$ требует использования испытательного оборудования только с калиброванными измерениями смещения (нет необходимости в калиброванных измерениях длины для диаметра траектории). Измерения *радиального отклонения* F (см. 3.5) и *среднего значения радиального двунаправленного отклонения* D (см. 3.6) требуют испытательного оборудования как с калибровкой по длине, так и с калибровкой по смещению (см. приложение А).

Примечание 5 — Линия, расположенная на плоскости, называется круговой, если все ее точки находятся между двумя концентрическими окружностями, радиальное расстояние между которыми не превышает заданного значения (см. рисунок 2).

Примечание 6 — Обозначение $G(b)$ предназначено только для измерений при помощи внешних средств измерений, например, как описано в ISO 230-1:2012, 11.3.4. Результаты испытаний на отклонения круговых траекторий с использованием сигнала обратной связи обозначаются как «двунаправленное круговое отклонение с использованием сигнала обратной связи $G(b)_f$ » (см. приложение Е).

3.4 круговое отклонение G (circular error): Минимальное радиальное расстояние между двумя концентрическими окружностями, охватывающими *фактическую траекторию* (см. 3.2) (минимальные окружности зоны) контурной траектории по часовой стрелке или против часовой стрелки.

Примечание 1 — См. рисунок 2, где круговое отклонение $G_{XY} = 0,012\text{ мм}$. Последовательность индексов обозначает направление контурирования (см. 3.8).



1 — центр среднеквадратичной окружности двух фактических траекторий (см. примечание 2);
 2 — начальная точка; 3 — концентрические окружности, охватывающие фактическую траекторию; 4 — фактическая траектория

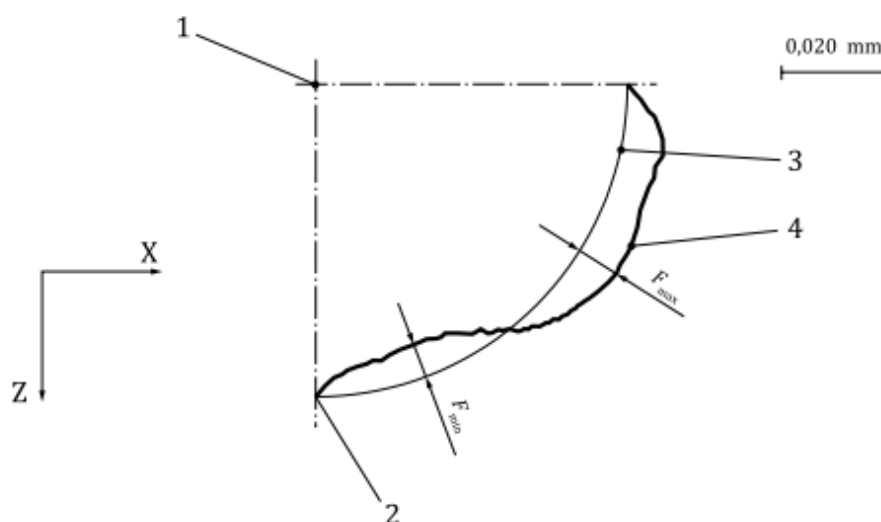
Рисунок 2 — Измерение кругового отклонения G с использованием среднеквадратической окружности

Примечание 2 — Примечание 6 для двунаправленного кругового отклонения $G(b)$ (см. 3.3) применяется для кругового отклонения G . Информацию о различиях между круговым отклонением G и *радиальным отклонением* F (см. 3.5) см. в приложении А, таблица А.1.

Примечание 3 — Обозначение G предназначено для измерений при помощи внешних испытательных оборудований, например, как описано в ISO 230-1:2012, 11.3.4. Результаты испытаний на отклонения круговых траекторий с использованием сигнала обратной связи должны обозначаться как «круговое отклонение с использованием сигнала обратной связи G_f » (см. приложение Е).

3.5 радиальное отклонение F (radial error): Отклонение между *фактической траекторией* (см. 3.2) и *номинальной траекторией* (см. 3.1) определяется тем, что центр номинальной траектории может быть установлен либо а) путем центрирования средств измерений на станке, либо б) через анализ центрирования с использованием метода наименьших квадратов, применяемого только для полной окружности.

Примечание 1 — См. рисунок 3, на котором показаны радиальные отклонения: $F_{ZX,max} = +0,008$ мм и $F_{ZX,min} = -0,006$ мм. Последовательность индексов обозначает направление контурирования (см. 3.8).



1 – центр номинальной окружности; 2 – начальная точка; 3 – номинальная траектория; 4 – фактическая траектория

Рисунок 3 — Оценка радиального отклонения F

Примечание 2 — Положительные отклонения измеряются от центра окружности, а отрицательные – по направлению к центру окружности (см. рисунок 3). Радиальное отклонение определяется максимальным значением F_{max} и минимальным значением F_{min} .

Примечание 3 — Погрешности настройки могут быть включены в радиальное отклонение F ; это применимо только в том случае, когда центр номинальной траектории определяется путем центрирования средства измерений на станке [вариант а) определения].

Примечание 4 — Различия между радиальным отклонением F и *круговым отклонением* G (см. 3.4) см. в приложении А, таблица А.1.

3.6 среднее двунаправленное радиальное отклонение D (mean bi-directional radial error): Разность между радиусом окружности по методу наименьших квадратов двух фактических траекторий полного круга (см. 3.2), где одна траектория выполняется движением по часовой стрелке, а другая – движением против часовой стрелки, и радиусом *номинальной траектории* (см. 3.1).

Примечание — Различия между средним двунаправленным радиальным отклонением D и *двунаправленным круговым отклонением* $G(b)$ (см. 3.3) приведены в приложении А, таблица А.1.

3.7 идентификация осей (identification of axes): Обозначение осей, при движении которых получается *фактическая траектория* (см. 3.2).

3.8 направление обхода при испытаниях на отклонения круговых траекторий с линейными осями (sense of contouring for circular tests with linear axes): <контурирование по часовой стрелке/против часовой стрелки> последовательность индексов, обозначающих направление контурного движения.

Примечание — Порядок индексов соответствует порядку, в котором дуга окружности пересекает положительный экстремум каждой оси. Например, G_{XY} обозначает *круговое отклонение* (см. 3.4) при движении против часовой стрелки, поскольку дуга против часовой стрелки в плоскости XY пересекает ось $X+$, а затем ось $Y+$. Аналогично, G_{YX} обозначает *круговое отклонение* (см. 3.4) по часовой стрелке, так как дуга по часовой стрелке в плоскости XY сначала пересекает ось $Y+$, а затем ось $X+$. В случае двунаправленного результата индексы обозначают направление первой дуги.

3.9 отклонение интерполяции контура E_{int} (contouring interpolation error): Диапазон отклонений траектории центра инструмента от фиксированной точки в *системе координат заготовки* (см. 3.11), когда поворотная ось (или оси) приводится в движение синхронно с интерполированным круговым движением с линейных осей таким образом, что центр инструмента номинально остается в этой фиксированной точке *система координат заготовки* (см. 3.11).

Примечание 1 — Типовые методы испытаний описаны в ISO 230-1:2012, раздел 11.3.5. Типовые средства измерений описаны в ISO/TR 230-11:2018, 12.2.1, 12.3.3 и 12.3.4.

Примечание 2 — Если средство измерений (система Ballbar, датчик линейного перемещения или набор из трех датчиков линейного перемещения) вращается вместе с поворотной осью, измерения проводятся в системе координат, связанной с поворотной осью, т.е. в радиальном, тангенциальном и/или осевом направлении. Это обозначается как $E_{int,радиальный}$, $E_{int,тангенциальный}$ и $E_{int,осевой}$.

Примечание 3 — Если средство измерений (система Ballbar, датчик линейного перемещения или набор из трех датчиков линейного перемещения) не вращается вместе с поворотной осью, измерения проводятся в направлениях X, Y и Z системы координат станка (см. 3.10). Это обозначается как $E_{int,X}$, $E_{int,Y}$ и $E_{int,Z}$.

Примечание 4 — Перемещаемые оси указываются в обозначении. Например, измерение с линейными осями X и Y и с поворотной осью C в радиальном направлении обозначается как $E_{int,радиальный,XYC}$. Измерение с тремя линейными осями X, Y, Z и двумя поворотными осями A, C в радиальном направлении соответствует сферическому испытанию согласно ISO 230-1:2012, раздел 11.5, и обозначается как $E_{int,радиальный,XYZAC}$.

Примечание 5 — Направление движения (по часовой или против часовой стрелки) определяется поворотной осью, если перемещается только одна ось. Если перемещаются две поворотные оси, направление определяется осью, которая перемещается в большем диапазоне (обычно ось, полный оборот 360°). По часовой стрелке обозначается как CW, против часовой стрелки – CCW. Например, измерение по часовой стрелке с осями X, Y и C в радиальном направлении обозначается $E_{int,радиальный,XYZAC(CW)}$.

Примечание 6 — Меры предосторожности при проведении испытаний на отклонения круговых траекторий с поворотными осями приведены в Приложении В.

3.10 система координат станка СКС (machine coordinate system MCS): Прямоугольная система координат «по правилу правой руки» с тремя основными осями, обозначенными как X, Y и Z, и поворотными осями вокруг каждой из них, обозначенными как A, B и C.

Примечание — Система координат станка предписана стандартом ISO 841 для многих станков.

[ИСТОЧНИК: ISO 230-1:2012, 3.2.1, изменен — рисунок удален и добавлено Примечание 1]

3.11 система координат заготовки СКЗ (workpiece coordinate system WCS):
Декартова система координат, закрепленная на заготовке.

Примечание — Если станок имеет поворотную ось (оси) со стороны заготовки, то система координат заготовки поворачивается вместе с этой осью (осями).

[ИСТОЧНИК: ISO 2806:1994, 2.7.3, изменено — добавлено примечание 1]

4 Условия испытаний

4.1 Условия окружающей среды

Если температуру окружающей среды можно регулировать, то она должна быть установлена на уровне 20 °C или другой указанной контрольной температуры. Если температура окружающей среды отличается от 20 °C или другой указанной контрольной температуры, необходимо ввести коррекцию на номинальное тепловое расширение (NDE) между измерительной системой и объектом измерения (станком), чтобы скорректировать результаты до значений, соответствующих 20 °C или указанной контрольной температуре (применяется только для измерения радиальных отклонений).

Перед проведением испытаний станок и, при необходимости, средства измерений должны находиться в испытательных условиях достаточно долго для достижения термически стабильного состояния. Они должны быть защищены от сквозняков и внешнего теплового излучения, таких как солнечный свет и нагревательные приборы.

4.2 Испытуемый станок

Станок должен быть полностью собран и работоспособен. Все необходимые операции по выравниванию и функциональные проверки должны быть завершены до начала испытаний.

Если иное не согласовано между производителем/поставщиком и заказчиком, испытания на отклонения круговых траекторий должны проводиться в ненагруженном состоянии, т.е. без заготовки.

4.3 Прогрев станка

Перед проведением испытаний необходимо выполнить процедуру прогрева станка, предусмотренную изготовителем станка и/или согласованную между поставщиком/изготовителем и заказчиком.

Если другие условия не указаны, то предварительные перемещения узлов должны быть ограничены только теми, которые необходимы для установки измерительного инструмента.

4.4 Параметры испытаний

Параметры испытаний:

- a) диаметр (или радиус) номинальной траектории и – для испытаний с поворотной осью (осями)– радиальное смещение (смещения) от поворотной оси (осей);
- b) контурная подача (информация о регулировке диаметра и контурной подаче при испытаниях на отклонения круговых траекторий для поддержания постоянного ускорения осей приведена в приложении D);
- c) направление обхода для испытаний на отклонения круговых траекторий с линейными осями и для испытаний с поворотными осями – направление по часовой стрелке или против часовой стрелки в соответствии с пунктами 3.8 и 3.9;
- d) идентификация осей, т.е. указание осей станка задействованных в создании фактической траектории;
- e) расположение средств измерений в рабочей зоне станка;
- f) температура (температура окружающей среды, температура средств измерений, температура станка) и коэффициент расширения (для станка, средств измерений), применяемый только для компенсации среднего двунаправленного радиального отклонения D и радиального отклонения F ;
- g) метод сбора данных (диапазон сбора данных, если он отличается от 360° , начальная и конечная точки фактического перемещения, количество точек измерения, выбранных для цифрового сбора данных, а также информация о фильтрации, если применяется);
- h) любые процедуры компенсации станка, используемые во время испытания;
- i) позиции подвижных рабочих органов или подвижных элементов на осях, которые не участвуют в испытании.

4.5 Калибровка средств измерений

Для проверки среднего двунаправленного радиального отклонения D и радиального отклонения F должен быть известен номинальный размер средств измерений (например, номинальная длина L_B шаровой штанги).

Примечание — Испытания на отклонения круговых траекторий с использованием сигнала обратной связи приведены в приложении Д.

4.6 Погрешность измерения

Основными факторами, влияющими на погрешность измерения двунаправленного кругового отклонения $G(b)$, кругового отклонения G и отклонения при интерполяции по контуру E_{int} , являются:

- погрешность измерений испытательного оборудования;
- повторяемость измерений;
- влияние температуры на станок и/или испытательное оборудование, проверенное, например, путем испытания на изменение температуры окружающей среды (ETV) в соответствии с ISO/TR 16015.

Основными факторами, влияющими на погрешность измерения среднего двунаправленного радиального отклонения D и радиального отклонения F , являются:

- факторы, способствующие возникновению отклонений $G(b)$ и G (см. первый список в 4.6);
- погрешность измерения температуры станка и испытательного оборудования [вызванная погрешностью датчика(ов) температуры и неточностью местоположения датчика(ов) температуры];
- погрешность коэффициентов теплового расширения станка и испытательного оборудования (используется для компенсации до 20 °C или до заданной контрольной температуры).

5 Процедура испытаний

Для определения двунаправленного кругового отклонения $G(b)$, среднего двунаправленного радиального отклонения D , необходимо последовательно измерить две фактические траектории: одну в направлении по часовой стрелке, а другую — против часовой стрелки.

Для определения кругового отклонения G , радиального отклонения F и отклонения интерполяции контура E_{int} измерение производится один раз для движения по часовой стрелке и один раз для движения против часовой стрелки. Направление движения для отклонения интерполяции контура (по часовой стрелке и против часовой стрелки) определяется поворотной осью. При перемещении двух поворотных осей, по часовой стрелке и против часовой стрелки, направление отклонения интер-

поляции контура определяется поворотной осью с большим диапазоном перемещения, как правило, осью, перемещающейся более чем на 360° (см. 3.9, примечание 5).

При оценке должны быть использованы все измеренные данные, соответствующие фактической траектории (включая любые пики в точках разворота).

Для измерения радиального отклонения F , части окружности погрешности установки инструмента необходимо минимизировать.

Типовые методы измерения для испытаний на отклонения круговых траекторий с двумя линейными осями: вращающийся одномерный датчик линейного перемещения, круговой эталон и двумерный датчик перемещения, телескопическая шаровая штанга, двумерная цифровая шкала, два датчика линейного перемещения и эталонный угольник (как описано в ISO 230-1:2012, п. 11.3.4). Средства измерений описаны в стандарте ISO/TR 230-11:2018, 12.2.1 (телескопическая шаровая штанга) и 12.3.1 (двумерная цифровая шкала).

Типовые методы измерения для испытаний на отклонения круговых траекторий с поворотной осью (осями): датчик линейного перемещения и сферический эталон, три датчика линейного перемещения и сферический эталон (метод радиальных испытаний), телескопическая шаровая штанга (как описано в ISO/TR 230-11:2018, 12.2.1 (телескопическая шаровая штанга), 12.3.3 (3D-щуп для сфер, контактного типа) и 12.3.4 (Головка 3D-щупа, бесконтактного типа).

Информацию о влиянии типовых погрешностей станка на испытания отклонений круговых траекторий, выполненные с двумя линейными осями, см. в приложении В и в ссылках [7]–[12].

В приложении В кратко описаны меры предосторожности, применяемые к средствам измерений для испытаний на отклонения круговых траекторий с поворотной осью (осями).

6 Представление результатов

Наиболее предпочтителен графический способ представления результатов с указанием численных значений следующих измерений:

- а) для испытаний на отклонения круговых траекторий с линейными осями:
 - 1) двунаправленное круговое отклонение $G(b)$;
 - 2) среднее двунаправленное радиальное отклонение D , скорректированное до 20°C или до указанной контрольной температуры;

3) круговое отклонение G , для направлений обхода по часовой стрелке и/или против часовой стрелки;

4) радиальные отклонения, F_{max} и F_{min} , для направлений обхода по часовой стрелке и против часовой стрелки, скорректированные до 20 °C или до указанной контрольной температуры;

б) для испытаний на отклонения круговых траекторий, включая поворотные оси:

1) отклонение интерполяции контура E_{int} для движений по часовой стрелке и против часовой стрелки.

Типовые примеры представления результатов испытания приведены в таблицах 1, 2 и 3, которые также применимы для отклонения интерполяции контура (см. рисунок В.5). Если диаграмма в полярной системе координат недоступна для представления отклонения интерполяции контура, допускается использование X-Y графика с номинальным угловым положением интересующей поворотной оси (см. рисунок В.6).

Примечание — Для большей наглядности результаты представлены в настоящем стандарте в виде трех таблиц (таблица 1, таблица 2 и таблица 3). В отчете об испытаниях эти три таблицы могут быть объединены в одну таблицу.

Протокол испытаний должен включать следующее:

- дата испытания;
- наименование станка;
- испытательное оборудование;
- параметры испытаний (см. 4.4).

Должен быть указан масштаб увеличения графического изображения.

Должна быть указана погрешность измерения.

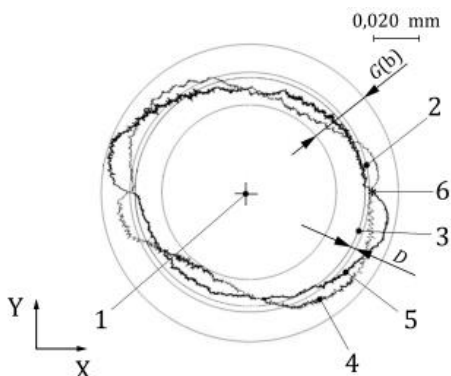
7 Пункты, подлежащие согласованию между поставщиком/производителем и потребителем

Между поставщиком/производителем и пользователем должны быть согласованы следующие вопросы:

- а) процедура прогрева перед испытанием станка (см. 4.3);
- б) параметры испытаний (см. 4.4);
- с) для испытаний на отклонения круговых траекторий с линейными осями, для которых требуются данные результатов испытаний для двунаправленного круго-

вого отклонения $G(b)$, среднего двунаправленного радиального отклонения D , кругового отклонения G , радиального отклонения F [от 6 а) 1) до 6 а) 4)] и для испытаний на отклонения круговых траекторий с поворотной осью (осями), для которых требуются и должны быть представлены отклонения интерполяции контура E_{int} .

Т а б л и ц а 1 – Пример представления данных для двунаправленного кругового отклонения $G(b)$ и среднего двунаправленного радиального отклонения D

Дата проведения испытания	Дд/мм/гг	Название станка	xyz
Средство измерений	abc	Расположение средства измерений	
Параметры испытаний		центр окружности (X/Y/Z)	250 мм/250 мм/100 мм
Диаметр номинальной траектории	40 мм	смещение к опорной точке инструмента (X/Y/Z)	0 мм/0 мм/-80 мм
скорость контурирования	500 мм/мин	смещение к опорной точке заготовки (X/Y/Z)	0 мм/0 мм/30 мм
направление контурирования	—	 1 – центр среднеквадратичной окружности двух фактических траекторий; 2 – номинальная траектория; 3 – среднеквадратичная окружность двух фактических траекторий; 4 – фактическая траектория, движение против часовой стрелки; 5 – фактическая траектория, движение по часовой стрелке; 6 – начальная точка	
испытываемые оси станка (X, Y, Z)	XY		
Метод сбора данных			
отправная точка	0°		
точка остановки	0°		
количество точек измерения (только цифровые)	1500		
процесс сглаживания данных	нет		
Использованная компенсация	нет		
Положения осей, не подлежащих проверке	Z = 150 мм		
Примечания			
1 двунаправленное круговое отклонение $G(b)_{XY} = 0,028$ мм.			
2 среднее двунаправленное радиальное отклонение $D_{YV} = -0.001$ мм.			

ГОСТ ISO 230-4-202

(Проект, RU, окончательная редакция)

Таблица 2 – Пример представления данных для кругового отклонения G

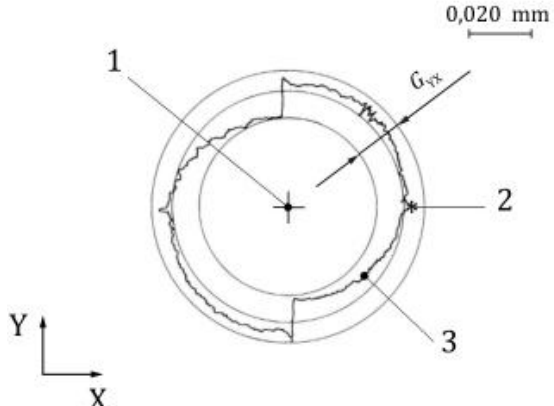
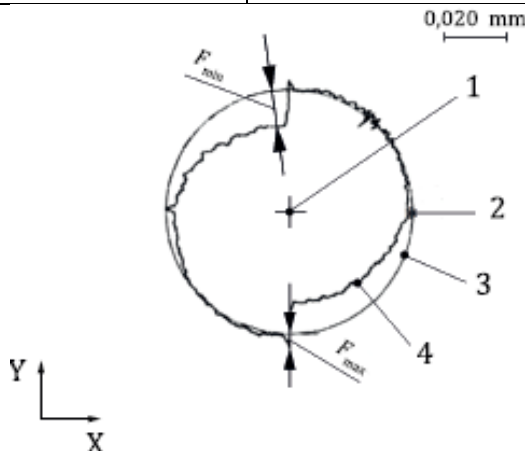
Дата проведения испытания	Дд/мм/гг	Название станка	xyz	
Средство измерений	abc	Расположение средства измерений		
Параметры испытаний		центр круга (X/Y/Z)	250 мм/250 мм/300 мм	
Диаметр номинальной траектории	250 мм	смещение к опорной точке инструмента (X/Y/Z)	0 мм/0 мм/-80 мм	
скорость контурирования	1000 мм/мин	смещение к опорной точке заготовки (X/Y/Z)	0 мм/0 мм/230 мм	
направление контурирования	 0,020 mm 1 – центр среднеквадратичной окружности; 2 – начальная точка; 3 – фактический путь, по часовой стрелке			
испытываемые оси станка (X, Y, Z)				XY
Метод сбора данных				
отправная точка				0°
точка остановки				0°
количество точек измерения (только цифровые)				1800
процесс сглаживания данных				нет
Использованная компенсация				нет
Положения осей, не подлежащих проверке				Z = 350 мм
Примечание – Круговое отклонение $D_{YX}=0,018$ мм.				

Таблица 3 – Пример представления данных для радиального отклонения F

Дата проведения испытания	Дд/мм/гг	Название станка	xyz
Средство измерений	abc	Расположение средства измерений	
Параметры испытаний		центр окружности (X/Y/Z)	250 мм/250 мм/100 мм
Диаметр номинальной траектории	150 мм	смещение к опорной точке инструмента (X/Y/Z)	0 мм/0 мм/-80 мм
скорость контурирования	300 мм/мин	смещение к опорной точке заготовки (X/Y/Z)	0 мм/0 мм/30 мм
направление контурирования	+Y к +X	Температура	
испытываемые оси станка (X, Y, Z)	XY	температура окружающей среды	22 °C
Метод сбора данных		температура средства измерений	22 °C
отправная точка	0°	Температура станка	22 °C
точка остановки	0°	 1 – центр среднеквадратичной окружности; 2 – начальная точка; 3 – номинальная траектория; 4 – фактическая траектория, движение по часовой стрелке	
количество точек измерения (только цифровые)	1800		
процесс сглаживания данных	нет		
Использованная компенсация	нет		
Положения осей, не подлежащих проверке	Z = 150 мм		
Примечание – Радиальное отклонение: $F_{YX,max}=+0,005$ мм и $F_{YX,min}=-0.013$ мм.			

Приложение А (справочное)

Различия между круговыми отклонениями G и $G(b)$ и радиальными отклонениями F и D

Таблица А.1 – Различия между круговыми отклонениями G и $G(b)$ и радиальными отклонениями F и D

Влияния	Круговые отклонения G и $G(b)$	Радиальные отклонения F и D
Отклонение формы ^a	Включено	Включено
Отклонение диаметра ^b	Не включено, так как диаметры окружностей минимальной зоны не оцениваются	Включено
Отклонение положения ^c	Не включено, так как положение окружностей минимальной зоны определяется только фактической траекторией	Включено в F для неполной окружности, не включено в F для полной окружности и не включено в D
^a Отклонение между формой фактической траектории (например, отклонение от эллиптической формы) и окружностью. ^b Отклонение между фактическим диаметром траектории и номинальным диаметром траектории. ^c Отклонение между положением центра фактической траектории и центром номинальной траектории (например, отклонения в позициях X и Y).		

Приложение В (справочное)

Влияние типовых отклонений станка на круговые траектории, выполненные с двумя линейными осями

В.1 Общие сведения

В настоящем приложении указаны основные факторы, влияющие на типовые отклонения станка при круговом движении. В целом, эти индивидуальные отклонения оказывают совокупное влияние на фактические траектории. Поэтому информация, приведенная в этом приложении, недостаточна для детального анализа круговых измерений. Подробный анализ круговых измерений описан в ссылках [10] и [11].

Круговые траектории, создаваемые двумя линейными осями на станках с числовым программным управлением, зависят от геометрических погрешностей двух осей и погрешностей, вызванных числовым программным управлением и его приводами.

В.2 Влияние геометрических отклонений

В.2.1 Влияние прогрессирующих линейных отклонений позиционирования

При большом перемещении по оси X, например, из-за погрешности масштаба, фактическая траектория изменяется на эллипс, основной диаметр которого параллелен оси X. Если предполагается, что ось Y не содержит погрешностей, диаметр траектории, параллельной оси Y, не изменяется, т.е. диаметр равен номинальному диаметру [см. рисунок В.1 а)].

Если перемещение по оси X является коротким, а по оси Y по-прежнему предполагается без погрешностей, фактическая траектория изменяется на эллипс, основной диаметр которого параллелен оси Y. Этот диаметр снова равен номинальному диаметру [см. рисунок В.1 b)].

Рисунок В.1 можно оценить, как описано, при использовании измерительной системы, которая измеряет отклонения от номинальной траектории (например, двухмерная сетка, телескопическая шаровая штанга, откалиброванная по радиусу). Если же измерительное устройство ограничивается только измерением изменений радиуса (например, телескопическая шаровая штанга не откалибрована по радиусу), то невозможно оценить масштаб двух перемещаемых осей станка, а только можно будет лишь зафиксировать несоответствия между двумя осями станка, которые обычно обозначаются как “несоответствие масштаба”.

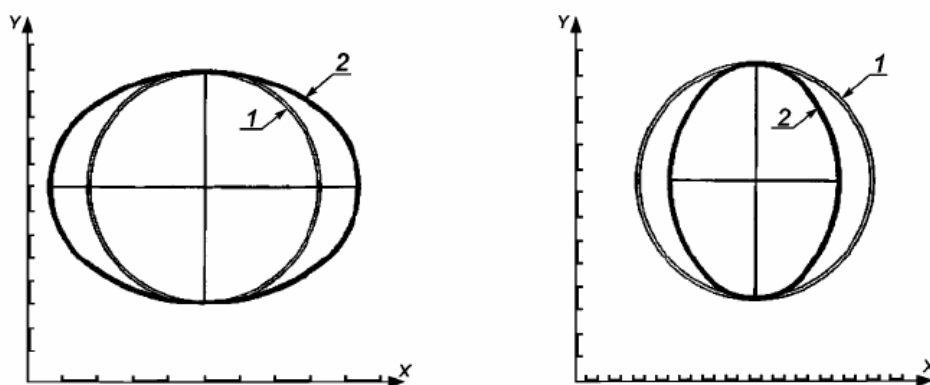
В.2.2 Влияние отклонений перпендикулярности осей

Если оси X и Y не являются квадратными и угол между ними превышает 90° , фактическая траектория изменяется на эллипс с главными осями, равными $\pm 45^\circ$. Основной диа-

(Проект, RU, окончательная редакция)

метр эллипса равен $-45^\circ (+135^\circ)$ [см. рисунок В.2 а)]. Кроме того, предполагается, что отклонение перпендикулярности является единственной погрешностью в плоскости XY.

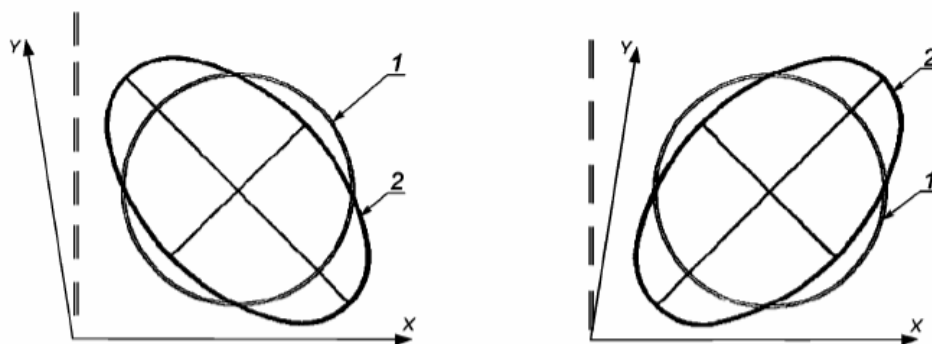
Когда угол между двумя осями меньше 90° , фактическая траектория снова изменяется на эллипс с главными осями, расположенными под углом $\pm 45^\circ$, но с основным диаметром, равным $+45^\circ (+225^\circ)$ [см. рисунок В.2 б)].



1 – номинальная траектория; 2 – фактическая траектория

а) X – перемещение оси на большую длину б) X – перемещение оси на меньшую длину

Рисунок В.1 — Влияние коротких и длинных перемещений оси на фактические траектории



1 – номинальная траектория; 2 – фактическая траектория; 3 – номинальная ось Y (перпендикулярно оси X)

а) Угол больше 90°

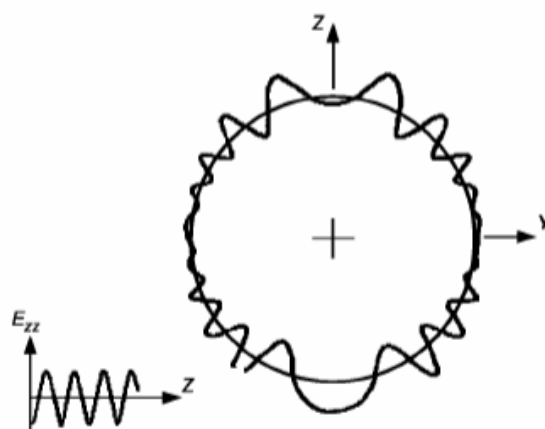
б) Угол менее 90°

Рисунок Б.2 — Влияние погрешности перпендикулярности осей на фактические траектории

Б.2.3 Влияние периодических отклонений

Периодические отклонения также влияют на фактические траектории. Отклонение от круговой траектории не является эллиптическим. На рисунке В.3 показаны изменения траектории, если предполагается периодическое отклонение позиционирования по оси Z.

Другие периодические отклонения (например, отклонение прямолинейности и угловое отклонение движения) могут приводить к неэллиптическим отклонениям от круговой траектории.



E_{zz} — погрешность позиционирования в Z

Рисунок В.3 — Влияние периодического отклонения позиционирования

В.3 Влияние числового программного управления и его приводов

В.3.1 Общие сведения

Круговая траектория, создаваемая двумя линейными осями с числовым программным управлением, дает информацию о работе системы управления с числовым программным управлением и ее приводов. Перемещение по каждой оси довольно сложное, при этом ход, скорость и ускорение каждой оси изменяются в соответствии с синусом или косинусом, при условии, что скорость подачи по круговой траектории остается постоянной.

В.3.2 Влияние погрешности реверсирования

При наличии погрешности реверсирования по оси в точках разворота возникают «ступеньки». На рисунке В.4 показана типовая погрешность реверсирования, возникающая в четырех квадратурных точках (по обеим осям), что дает четыре квадранта с разными центрами. Для некомпенсированной погрешности реверсирования на рисунке показана типовая форма, полученная при контурировании против часовой стрелки.

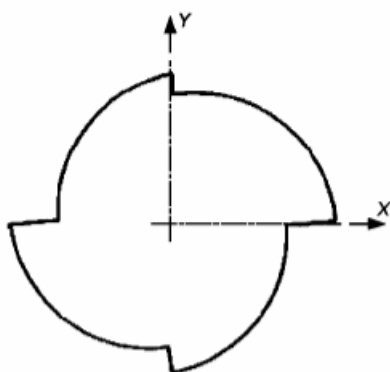


Рисунок В.4 — Шаги квадратурного инверсирования

Когда происходит устранение погрешности реверсирования (либо с помощью шкал обратной связи, либо с помощью компенсации реверсирования в системе числового программного управления (ЧПУ), эффекты временной задержки вызывают пики в точках реверсирования (см. рисунок В.5). Величина этих «выступов» будет зависеть от механического люфта, упругой деформации из-за трения и временной задержки.

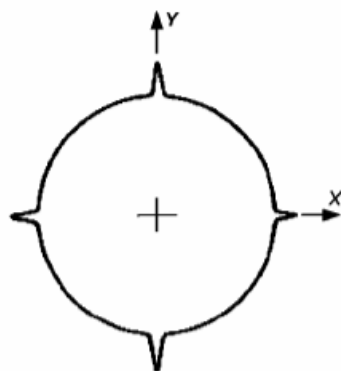


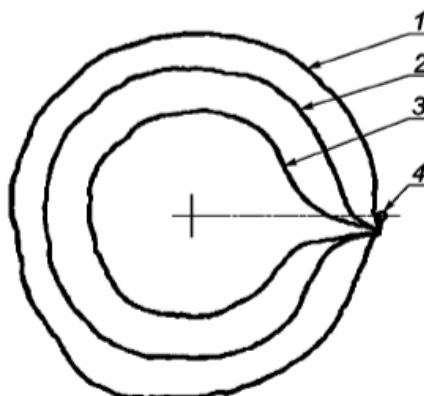
Рисунок В.5 — Пики квадратурного инверсирования

Обратите внимание, что «ступеньки» и «выступы» в точках реверсирования на самом деле являются искаженными «плоскостями» и отображаются на обработанных окружностях, но не отображаются при стандартных проверках точности и повторяемости позиционирования линейной оси (например, согласно ISO 230-2), поскольку измерения проводятся только после остановки движения станка в соответствии с этими стандартными проверками.

На практике как «выступы», так и «ступеньки» могут происходить одновременно в разной степени. Если, кроме того, применяется компенсация погрешности реверсирования и/или компенсации трения, которая не совсем соответствует существующей погрешности, то в квадратуре могут возникать довольно сложные формы, включая «отрицательные выступы» и «отрицательные ступеньки».

В.3.3 Влияние ускорения осей

Ускорение осей увеличивается при увеличении скорости подачи по круговой траектории. Привод оси может вести себя таким образом, что амплитуда перемещения уменьшается с большей частотой при более высоких скоростях подачи. В результате получаются траектории, диаметр которых меньше номинальной круговой траектории (см. рисунок В.6). Сглаживающий фильтр, применяемый к команде позиционирования оси, ведет себя так же, как и задержка срабатывания привода.



1 – фактическая траектория круговых движений с низкой скоростью формирования контура; 2 – фактическая траектория круговых движений со средней скоростью формирования контура; 3 – фактическая траектория круговых движений с высокой скоростью формирования контура; 4 – начальные и конечные точки

Рисунок В.6 — Влияние ускорения осей

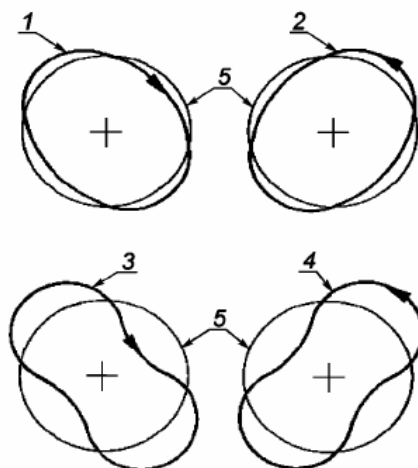
Специальные алгоритмы управления при числовом программном обеспечении станка (например, управление прямой подачей) могут компенсировать влияние ускорения соответствующих осей. Сглаживающий фильтр может оказывать воздействие, схожее с фактической траекторией.

В.3.4 Влияние различных последующих отклонений (несоответствие коэффициента усиления позиционного контура)

Если приведенные ниже погрешности двух соответствующих осей различны, фактическая траектория изменяется на эллиптическую. Главные оси эллипса расположены под углом $\pm 45^\circ$.

В зависимости от направления контурирования (по часовой стрелке или против часовой стрелки) большой диаметр составляет $+45^\circ$ или -45° (см. рисунок В.7).

Эллиптическая погрешность окружности увеличивается при увеличении скорости подачи.



1 – фактические траектории с низкой скоростью контурирования по часовой стрелке; 2 – фактические траектории с низкой скоростью контурирования против часовой стрелки; 3 – фактические траектории с высокой скоростью контурирования по часовой стрелке; 4 – фактические траектории с высокой скоростью контурирования против часовой стрелки; 5 – номинальная траектория

Рисунок В.7 — Влияние различных погрешностей

Приложение С (справочное)

Меры предосторожности, применяемые к средствам измерений для испытаний на отклонения круговых траекторий с поворотными осями

С.1 Общие сведения

Настройка средств измерений может оказать значительное влияние на результаты испытаний на отклонения круговых траекторий металлорежущих станков. В таких случаях используются либо шаровые штанги, либо испытательные оправки со сферическим концом с датчиками линейных перемещений с плоскими концами. Также возможно применение трех датчиков линейных перемещений и сферического эталона (радиальное испытание). В настоящем приложении приведены меры предосторожности в отношении процедур испытаний, позволяющие свести к минимуму влияние погрешностей настройки.

С.2 Испытания с помощью шаровой штанги

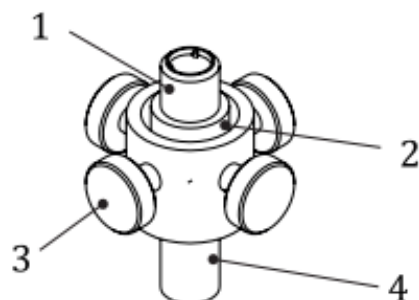
С.2.1 Выравнивание прецизионных сфер

В общем, прецизионная сфера шаровой штанги со стороны шпинделя выровнена по средней линии оси шпинделя. Любая несоосность может повлиять на результат испытания.

Это выравнивание можно выполнить с помощью приспособления, прикрепленного к шпинделю, для точной регулировки положения сферы. Пример такого приспособления приведен на рисунке С.1.

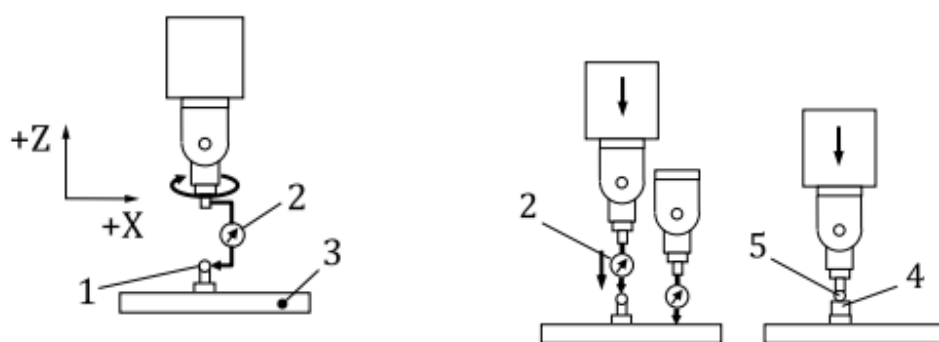
В некоторых случаях, например, когда испытываемая поворотная ось находится не на стороне шпинделя, можно измерить положение центра сферы относительно средней линии оси шпинделя, а затем изменить систему координат станка, чтобы отменить это изменение. Положение центра сферы можно определить, измерив биение в радиальном направлении вращения шпинделя с помощью датчика линейного перемещения.

Прецизионная сфера шаровой штанги не со стороны шпинделя расположена в таком положении, что шаровая штанга направлена в определенное направление измерения, указанное в каждом испытании, т. е. радиальное, тангенциальное, осевое, X, Y или Z. Например, когда поворотная ось находится со стороны заготовки, а измеренное направление зафиксировано в системе координат заготовки, т. е. в радиальном, тангенциальном и осевом направлениях, то прецизионная сфера шаровой штанги со стороны заготовки не обязательно должна быть точно расположена. Это не влияет на результат испытания (эффект второго порядка).



1 – магнитное гнездо; 2 – держатель магнита; 3 – винт; 4 – стержень к патрону

Рисунок С.1 — Пример приспособления для выравнивания сферы со стороны шпинделя

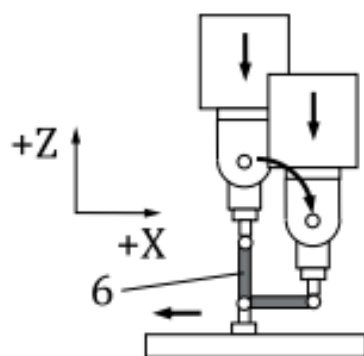


1 – прецизионная сфера, расположенная не на стороне шпинделя; 2 – датчик линейного перемещения; 3 – стол

а) Измерение положений X и Y

2 – датчик линейного перемещения; 4 – система настройки длины инструмента; 5 – прецизионная сфера со стороны шпинделя

б) Измерение положения Z



6 – шаровая штанга

с) Альтернативный способ измерения положений X и Z с помощью шаровой штанги

Рисунок С.2 — Процедура измерения местоположения прецизионной сферы не на стороне шпинделя

Если влияние не второго порядка, то прецизионная сфера шаровой штанги не со стороны шпинделя, выравнивается по центру круговой траектории сферы, расположенной на

стороне шпинделя, в системе координат станка. Если прецизионная сфера расположена не на стороне шпинделя, то ее положение в системе координат станка измеряется с помощью датчика линейного перемещения и системы настройки длины инструмента [см. рисунок С.2 а) и б) для обрабатывающего центра] или шаровой штанги [см. рисунок С.2 с)].

Например, Z-образное положение прецизионной сферы, расположенной не на стороне шпинделя, обычно измеряется следующим образом [рисунок С.2 б) для обрабатывающего центра]: сначала измеряется расстояние в направлении Z от центра прецизионной сферы до поверхности стола с помощью датчика линейного перемещения, прикрепленного к шпинделю. Затем на шпиндель устанавливается сфера со стороны шпинделя и измеряется ее Z-образное положение с помощью системы настройки длины инструмента, установленной на столе. Предполагая, что высота системы настройки длины инструмента (расстояние от сферы со стороны шпинделя до поверхности стола) известна, можно рассчитать Z-положение сферы со стороны стола относительно сферы со стороны шпинделя.

С.2.2 Программирование

Поворотная ось (оси) приводится (приводятся) в движение в соответствии с указаниями при каждом испытании. Движение линейных осей запрограммировано таким образом, чтобы шаровая штанга была направлена в соответствии с указаниями при каждом испытании на протяжении всего цикла испытаний.

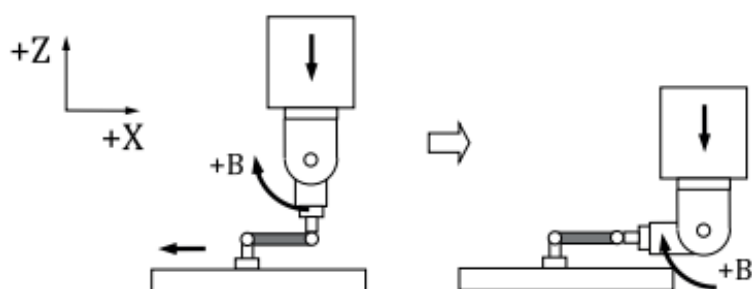


Рисунок В.3 — Испытание с использованием шаровой штанги для испытания на отклонения круговых траекторий по осям X, Z и B в направлении X

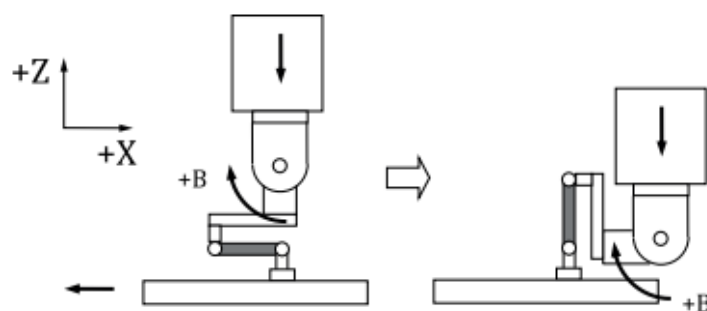


Рисунок В.4 — Испытание с использованием шаровой штанги для испытаний на отклонения круговых траекторий по осям X, Z и B в тангенциальном направлении

Например, для испытаний на отклонения круговых траекторий осей X, Z и B в тангенциальном направлении (см. рисунок С.4), прецизионная сфера не со стороны шпинделя расположена в центре круговой траектории (т. е. на средней линии оси шпинделя). Необходимо приспособление, такое как изображенное на рисунке С.4, чтобы отвести сферу со стороны шпинделя от средней линии оси шпинделя. Эта установка измеряет погрешность, тангенциальная вращению поворотной оси (ось B) в положении прецизионной сферы не со стороны шпинделя. Таким образом, два испытания на рисунках С.3 и С.4 можно рассматривать как кинематически эквивалентные.

Для удобства программирования необходимо установить функцию управления центральной точкой инструмента (TCP) в положение ВКЛ. Функция TCP обеспечивает автоматическое согласование линейных осей относительно запрограммированного перемещения поворотной оси (осей).

Скорости контурирования и перемещения линейных осей в системе координат станка изменяются в зависимости от расстояния от центра сферы до поворотной оси. Чувствительность к угловым перемещениям и погрешностям ориентации поворотной оси возрастает (так же, как и чувствительность к погрешностям перемещения по линейным осям и погрешностям ориентации), если это расстояние становится больше.

С.2.3 Процедура испытаний

Справочная длина L_B шаровой штанги должна быть известна, и смещение центра прецизионной сферы со стороны шпинделя к носку шпинделя (калибровочная линия шпинделя) должно быть откалибровано. Смещение прецизионной сферы к носку шпинделя (калибровочная линия шпинделя) обычно можно откалибровать с помощью системы настройки длины инструмента. Для обрабатываемого центра сначала эталонный инструмент предварительно откалиброванной длины [расстояние от носка шпинделя (калибровочная линия шпинделя) до кончика инструмента] прикрепляется к шпинделю, и его Z-положение на кончике инструмента калибруется с помощью системы настройки длины инструмента, установленной на столе. Затем прецизионная сфера прикрепляется к шпинделю, и ее Z-положение измеряется с помощью той же установки. Смещение прецизионной сферы к носку шпинделя (калибровочная линия шпинделя) можно рассчитать из измеренной разницы положения Z, предварительно откалиброванной длины эталонного инструмента и предварительно откалиброванного радиуса прецизионной сферы.

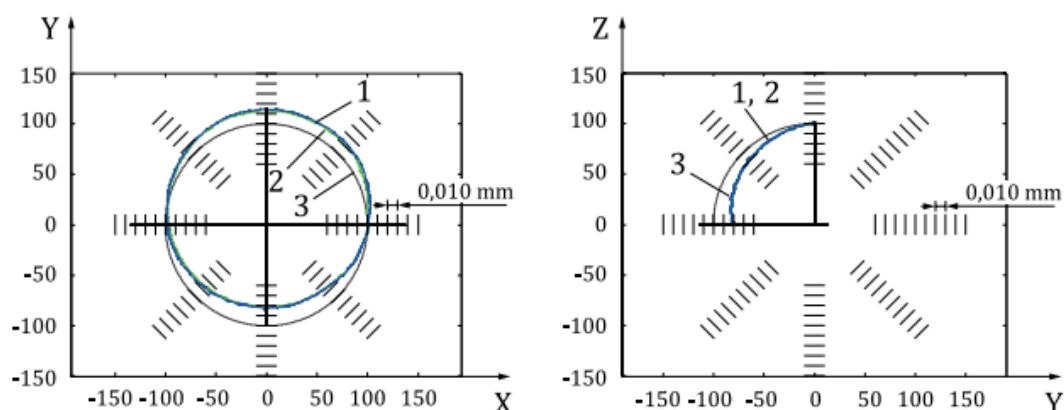
При проведении всех испытаний на отклонения круговых траекторий с поворотной осью (осями) следует последовательно измерять две фактические траектории в направлениях по часовой стрелке и против часовой стрелки относительно поворотной оси испытания.

С.2.4 Представление результатов

При оценке используются все измеренные данные, соответствующие фактическому маршруту, включая точки реверсирования и любые пики в начальной и конечной точках.

Предпочтительно отображать измеренное смещение в полярном формате. Отклонение должно быть нанесено на график с учетом номинального углового положения интересующей поворотной оси. Например, в испытании с осями X, Y и C оно строится с учетом номинального углового положения оси C, предполагая ее постоянную угловую скорость, за исключением начальной или конечной фазы (примеры приведены на рисунке С.5). Для представления результатов для перемещений по пяти осям в качестве ориентира для углового положения отклонений берется номинальное угловое положение поворотной оси с большим угловым диапазоном (см. 3.9, примечание 5).

Некоторое коммерческое программное обеспечение для испытаний по окружности по умолчанию выполняет автоматическое центрирование для оценки погрешности по окружности. Его следует отключить и оценить “необработанные” показания шариковой направляющей (изменения ее длины). По возможности, в начале измерения смещение шаровой опоры должно быть обнулено.



1 – фактический траектория, по часовой стрелке; 2 – фактический траектория, против часовой стрелки; 3 – номинальная траектория

- | | |
|--|---|
| <p>а) Испытание на отклонения круговых траекторий с осями X, Y и C в радиальном направлении от C</p> | <p>б) Испытание на отклонения круговых траекторий с осями Y, Z и A в радиальном направлении A</p> |
|--|---|

Рисунок С.5 — Примеры представления данных для испытаний на отклонения трехосных круговых траекторий, увеличение 0,010 мм/дел

С.3 Испытания со сферической оправкой и датчиком (датчиками) линейных перемещений или гнездом датчика

С.3.1 Выравнивание прецизионной сферы

Оправка со сферическим концом может быть установлена как со стороны шпинделя, так и без него. Эта настройка определяет направления измерений либо в системе координат заготовки, либо в системе координат станка. Центр сферы должен быть выровнен по средней линии оси шпинделя. Необходимо откалибровать смещение прецизионной сферы относительно торца шпинделя (калибровочная линия шпинделя).

В тех случаях, когда датчики линейных перемещений не поворачиваются относительно поворотной оси (осей), погрешности перемещения измеряются в направлениях X, Y и Z в системе координат станка. В тех случаях, когда датчики линейных перемещений вращаются относительно поворотной оси (осей), чувствительными направлениями становятся радиальные, осевые и тангенциальные по отношению к поворотной оси. В таких случаях возможно геометрическое преобразование между этими направлениями с помощью преобразования координат.

Некоторые коммерческие устройства для радиального контроля допускают установку оправки со сферическим концом либо со стороны шпинделя (с гнездом датчика на столе), либо без него (с гнездом датчика на шпинделе). Если поворотная ось находится со стороны шпинделя, а сфера – не со стороны шпинделя, положение сферы должно быть выровнено по центру круговой траектории в системе координат заготовки аналогичным образом, как показано в В.2.1.

Процедуры испытаний со сферической оправкой и датчиком (датчиками) линейных перемещений или гнездом датчика (например, радиальные испытания) могут быть такими же, как и при использовании шаровой штанги, при использовании тех же смещений, диаметра и скорости (см. С.2.2). Когда гнездо датчика установлено на наклонной оси, жесткость крепления должна быть достаточно высокой, чтобы деформация, вызванная действием силы тяжести, была достаточно малой.

С.3.2 Процедура испытаний

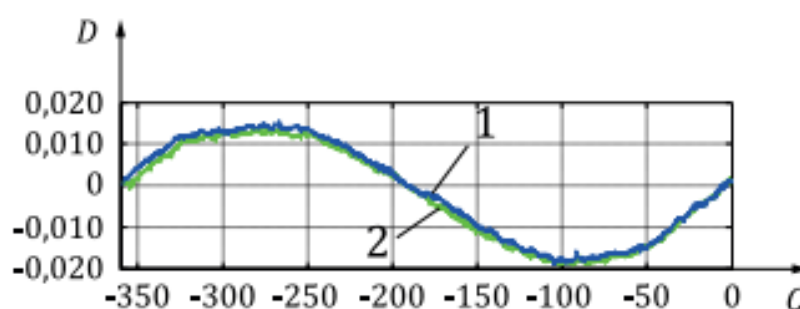
Когда оправка со сферическим концом установлена на шпиндель, общая процедура испытания заключается в следующем: расположите сферу так, как указано в каждом испытании. Поднесите датчик линейного перемещения к измеряемой сфере оправки и поверните шпиндель, чтобы определить среднее положение биения. Обнулите датчик линейного перемещения, затем начните движение по контуру и запишите показания датчика линейного перемещения.

При проведении всех испытаний на отклонения круговых траекторий с поворотной осью (осями) следует последовательно измерять две фактические траектории в направлениях по часовой стрелке и против часовой стрелки относительно поворотной оси испытания.

С.3.3 Представление результатов

При оценке используются все измеренные данные, соответствующие фактическому маршруту, включая любые пики в начальной и конечной точках, а также в точках реверсирования.

Предпочтительно отображать измеренное смещение в виде диаграммы в полярной системе координат. Если такой возможности нет, допустимым является линейный график с указанием номинального углового положения интересующей поворотной оси (см., например, рисунок С.6). Для представления результатов для пяти осевых перемещений в качестве ориентира для углового положения отклонений берется номинальное угловое положение оси с большим угловым диапазоном (см. 3.9, примечание 5).



C – угловое положение оси C в градусах; D – смещение в миллиметрах; 1 – фактическая траектория, по часовой стрелке; 2 – фактическая траектория, против часовой стрелки

Рисунок С.6 — Пример представления данных для испытаний на отклонения круговых испытаний с осями X , Y и C в радиальном направлении

Приложение D
(справочное)

Регулировка диаметра и скорости придания формы для испытаний на отклонения круговых траекторий

Диаметр номинального контура и скорость обработки при испытаниях по окружности определяются по соглашению между производителем/поставщиком или пользователем, или в соответствии с соответствующими стандартами на оборудование.

Если диаметр или скорость обработки контура выбраны иначе, чем указанные значения, их следует отрегулировать в соответствии с формулой (D.1), чтобы сохранить ускорение осей постоянным.

$$V_1 = V_2 \sqrt{d_1/d_2}, \quad (D.1)$$

где V_1 – расчетная скорость контурирования;

V_2 – заданная скорость контурирования;

d_1 – испытательный диаметр номинальной траектории;

d_2 – заданный диаметр номинальной траектории.

Изменение диаметра должно быть сведено к минимуму, так как:

- влияние геометрических отклонений станка возрастает с увеличением диаметра номинальной траектории;

- влияние различных последующих погрешностей возрастает с увеличением скорости контурирования.

Например, если заданный диаметр d_2 равен 100 мм, а заданная скорость контурирования V_2 равна 500 мм/мин; при диаметре испытания d_1 , равном 125 мм, расчетная скорость придания формы, V_1 , рассчитывается в соответствии с формулой (Г.1).

$$V_1 = 500 \times \sqrt{125/100} = 559 \text{ мм/мин.} \quad (D.2)$$

Приложение Е
(справочное)**Испытания на отклонения круговых траекторий с использованием сигнала обратной связи**

Испытания, которые проводятся без внешнего испытательного оборудования, например, как описано в ISO 230-1:2012, 11.3.4, но с использованием внутреннего сигнала обратной связи от приводов осей станка, называются “испытания на отклонения круговых траекторий с использованием сигнала обратной связи”.

Значения двунаправленного кругового отклонения и значения круговых отклонений, полученных в результате испытаний на отклонения круговых траекторий с использованием сигнала обратной связи, должны быть указаны как:

-двунаправленное круговое отклонение с использованием сигнала обратной связи $G(b)_f$;

-периодическое отклонение при использовании сигнала обратной связи G_f .

Испытания на отклонения круговых траекторий с использованием сигнала обратной связи не должны использоваться для определения значений радиального отклонения или средних значений двунаправленного радиального отклонения.

На станках с линейными шкалами периодические испытания с использованием сигнала обратной связи могут использоваться, например, для определения влияния периодических отклонений, погрешности реверсирования, ускорения осей и различных последующих отклонений. Эти типы отклонений описаны в ссылках [10] и [11].

**Приложение ДА
(справочное)**

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Т а б л и ц а ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 230-1:2012	IDT	ГОСТ ISO 230-1–2018 «Нормы и правила испытаний металлорежущих станков. Часть 1. Геометрическая точность станков, работающих на холостом ходу или в квазистатических условиях»
Примечание – В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: IDT – идентичный стандарт.		

Библиография

- | | | |
|-----|----------------------|---|
| [1] | ISO 230-2 | Test code for machine tools — Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes (Нормы и правила испытаний металлорежущих станков. Часть 2. Определение точности и повторяемости позиционирования осей станков с числовым программным управлением) |
| [2] | ISO/TR 230-11:2018 | Test code for machine tools — Part 11: Measuring instruments suitable for machine tool geometry tests (Нормы и правила испытаний металлорежущих станков. Часть 11. Измерительные инструменты, применяемые для геометрических испытаниях станков) |
| [3] | ISO 841 | Industrial automation systems and integration — Numerical control of machines — Coordinate system and motion nomenclature (Системы промышленной автоматизации и интеграции. Числовое программное управление станками. Система координат и обозначение перемещений) |
| [4] | ISO 2806:1994 | Industrial automation systems — Numerical control of machines — Vocabulary (Системы промышленной автоматизации. Числовое программное управление станков. Словарь) |
| [5] | ISO/TR 16015 | Geometrical product specifications (GPS) — Systematic errors and contributions to measurement uncertainty of length measurement due to thermal influences [Геометрические спецификации изделий (GPS). Систематические ошибки и вклад в неопределенность измерений длины из-за тепловых воздействий] |
| [6] | ANSI/ASME B5.54-2010 | Methods for Performance evaluation of Computer Numerically Controlled Machining Centers (Методы оценки производительности обрабатывающих центров с числовым программным управлением) |

- [7] Bryan, J.B. A simple method for testing measuring machines and machine tools; Part 1: Principles and applications. Precision Engineering. 1982, 4(2), 61–69 (Брайан, Дж.Б. Простой метод проверки измерительных машин и станков; Часть 1: Принципы и приложения. Точное машиностроение. 1982, 4(2), 61–69)
- [8] Bryan, J.B. A simple method for testing measuring machines and machine tools; Part 2: Construction details. Precision Engineering. 1982, 4(2), 125–138 (Брайан, Дж.Б. Простой метод испытания измерительных машин и станков; Часть 2: Детали конструкции. Точное машиностроение. 1982, 4(2), 125–138)
- [9] Burdekin M., Park J., Contisure A. Computer Aided System for assessing the contouring accuracy of NC machine tools. MATADOR Conference, April 1988, p. 197 (Бурдекин М., Парк Дж., Контисур А. Автоматизированная система оценки точности контурной обработки станков с ЧПУ. Конференция MATADOR, апрель 1988 г., стр. 197)
- [10] Kakino, Y., Ihara, Y. and Shinohara, A. Accuracy Inspection of NC Machine Tools by Double Ball Bar Method. Carl-Hanser Verlag, 1993 (Какино Ю., Ихара Ю. и Синохара А. Проверка точности станков с ЧПУ методом двойного шарикового стержня. Метод. Карл-Хансер Верлаг, 1993)
- [11] Knapp W., Hrovat S. The Circular Test for Testing NC Machine Tools. Schleithelm: W. Knapp, 1987, ISBN 3-906391-03-5 (Кнапп У., Хроват С. Круговой тест для тестирования станков с ЧПУ. Шляйтхайм: В. Кнапп, 1987, ISBN 3-906391-03-5)
- [12] Nakazawa H., Ito K. Measurement System of Contouring Accuracy on NC Machine Tools. Bull. Japan Soc. Prec. Eng. 1978, 12(4) 189–194 (Наказава Х., Ито К. Система измерения точности контурной обработки на станках с ЧПУ. Bull. Japan Soc. Prec. Eng. 1978, 12(4) 189–194)

УДК 621.9.08

МКС 25.040.20

IDT

Ключевые слова: металлорежущие станки, числовое программное управление, испытания, отклонение, радиальное отклонение, отклонение круговых траекторий

Руководитель

организации-разработчика:

И.о. проректора по инновационной деятельности

УУНиТ



Г.К. Агеев

Руководитель разработки:

И.о. заведующего кафедрой

стандартизации и метрологии



Э.В. Сафин

Заведующий кафедрой

автоматизации технологических процессов



Р.А. Мунасыпов

Доцент кафедры

автоматизации технологических процессов



С.И. Фецак

Инженер кафедры

автоматизации технологических процессов



Е.А. Козлов

Инженер кафедры

стандартизации и метрологии



А.И. Нигматуллина

Ответственный секретарь ТК 070 «Станки»



Д.С. Шуткова

Начальник отдела нефтегазового,

теплогенерирующего оборудования и

станкостроения Департамента машиностроения и

цифровых технологий

ФГБУ «Институт стандартизации»



И.А. Щипаков