ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 60.3.3.2— 2020 (ISO/TR 13309:1995)

Роботы и робототехнические устройства

РОБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫЕ

Методы и средства оценки рабочих характеристик роботов

(ISO/TR 13309:1995, Manipulating industrial robots — Informative guide on test equipment and metrology methods of operation for robot performance evaluation in accordance with ISO 9283, MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным автономным научным учреждением «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК) совместно с Обществом с ограниченной ответственностью «Открытая Робототехника» (ООО «Открытая Робототехника») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии международного документа, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 141 «Робототехника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 ноября 2020 г. № 1036-ст

4 Настоящий стандарт модифицирован по отношению к международному документу ISO/TR 13309:1995 «Промышленные манипуляционные роботы. Информационное руководство по испытательному оборудованию и метрологическим методам для оценки рабочих характеристик роботов в соответствии с ИСО 9283» (ISO/TR 13309:1995 «Manipulating industrial robots — Informative guide on test equipment and metrology methods of operation for robot performance evaluation in accordance with ISO 9283», MOD) путем внесения технических отклонений, выделенных по тексту курсивом, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного документа для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5) и для увязки с наименованиями, принятыми в существующем комплексе национальных стандартов Российской Федерации

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 1995 — Все права сохраняются
© Стандартинформ, оформление, 2020

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 Классификация методов измерения 1
3 Рекомендуемые методы измерения 1
4 Методы измерения рабочих характеристик роботов 7
4.1 Методы позиционирования пробника 7
4.2 Методы сравнения маршрутов 7
4.3 Методы трилатерации 9
4.4 Методы измерения полярных координат 12
4.5 Методы триангуляции 15
4.6 Инерциальный метод измерения 19
4.7 Методы измерения декартовых координат 20
4.8 Метод прорисовки маршрута 22
Приложение А (справочное) Примеры существующих измерительных систем и датчиков 23

Введение

Стандарты комплекса ГОСТ Р 60 распространяются на роботов и робототехнические устройства. Целью стандартов является повышение интероперабельности роботов и их компонентов, а также снижение затрат на их разработку, производство и обслуживание за счет стандартизации и унификации процессов, интерфейсов, узлов и параметров.

Стандарты комплекса ГОСТ Р 60 представляют собой совокупность отдельно издаваемых стандартов. Стандарты данного комплекса относятся к одной из следующих тематических групп: «Общие положения, основные понятия, термины и определения», «Технические и эксплуатационные характеристики», «Безопасность», «Виды и методы испытаний», «Механические интерфейсы», «Электрические интерфейсы», «Коммуникационные интерфейсы», «Методы программирования», «Методы построения траектории движения (навигация)», «Конструктивные элементы». Стандарты любой тематической группы могут относиться как ко всем роботам и робототехническим устройствам, так и к отдельным группам объектов стандартизации: промышленным роботам в целом, промышленным манипуляционным роботам, промышленным транспортным роботам, сервисным роботам в целом, сервисным манипуляционным роботам и сервисным мобильным роботам.

Настоящий стандарт относится к тематической группе «Виды и методы испытаний» и распространяется на промышленных манипуляционных роботов. Он определяет классификацию средств и методов измерений, применимых для оценки рабочих характеристик промышленных манипуляционных роботов, и представляет их принципы действия и области применения.

В настоящий стандарт внесены следующие технические отклонения по отношению к международному документу ISO/TR 13309:1995, разработанному подкомитетом (ПК) 2 «Роботы для производственной среды» Технического комитета (ТК) 184 ИСО «Системы автоматизации производства и их интеграция», который с 1 января 2016 года преобразован в ИСО/ТК 299 «Робототехника»:

- исключен рисунок 2, носящий эскизный характер и не добавляющий конкретной информации к содержанию подраздела 4.1, соответственно нумерация последующих рисунков изменена;
- исключены приложение В и библиография, которые нецелесообразно применять в российской национальной стандартизации в связи с их справочным характером, ориентированным на зарубежного пользователя, поскольку они содержат адреса зарубежных фирм, изготавливающих измерительное оборудование, и список литературы на английском, немецком и японском языках;
- ссылка на ИСО 9283:1998 заменена ссылкой на идентичный ему ГОСТ Р 60.3.3.1 в соответствии с ГОСТ Р 1.7—2014, статья 7.4.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Роботы и робототехнические устройства

РОБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫЕ

Методы и средства оценки рабочих характеристик роботов

Robots and robotic devices. Industrial manipulating robots.
Methods and means for robot performance evaluation

Дата введения — 2021—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет средства и методы измерений, применимые для оценки рабочих характеристик промышленных манипуляционных роботов, установленных в *ГОСТ Р 60.3.3.1*[*], и описывает принципы действия и точность существующих измерительных систем.

2 Классификация методов измерения

Существующие методы измерения рабочих характеристик промышленных манипуляционных роботов (далее — роботов), установленных в *ГОСТ Р 60.3.3.1*, классифицируют следующим образом:

- методы позиционирования пробника;
- методы сравнения маршрутов;
- методы трилатерации;
- методы измерения полярных координат;
- методы триангуляции;
- инерциальный метод измерения;
- методы измерения координат;
- метод прорисовки маршрута.

Все классифицированные методы определены в разделе 3.

3 Рекомендуемые методы измерения

В таблице 1 представлен перечень рекомендуемых методов измерения рабочих характеристик роботов, установленных в *ГОСТ Р 60.3.3.1*. Методы, которые классифицированы на восемь категорий в разделе 2, представлены в виде 16 отдельных методов с указанием их возможностей. Часть этих методов могут быть использованы для измерения характеристик, как пространственного расположения, так и маршрута, однако некоторые из них имеют ограничения, к которым относятся следующие:

- при оценке характеристик пространственного расположения может быть измерено только положение или ориентация рабочего органа;
- характеристики маршрута движения рабочего органа робота (линейные или угловые) могут быть измерены только в измерительных пределах испытательного оборудования;

[*] ГОСТ Р 60.3.3.1/ИСО 9283:1998 «Роботы промышленные манипуляционные. Рабочие характеристики и соответствующие методы тестирования».

Издание официальное

- измерения могут быть произведены только для роботов с ограниченными диапазонами настроек;

- характеристики испытательного оборудования могут не обеспечивать достаточной точности или повторяемости результатов измерений некоторых характеристик;

- измерение может быть ограничено числом степеней свободы испытательного оборудования;

- испытательное оборудование может обеспечить измерения рабочих характеристик только в ограниченном пространстве по сравнению с испытательным кубом, определенным в *ГОСТ Р 60.3.3.1*;

- частота, с которой испытательное оборудование проводит измерения, может не соответствовать максимальной скорости движений робота.

Данные ограничения должны быть согласованы с изготовителем испытательного оборудования при планировании измерения рабочих характеристик робота.

В таблице 2 приведены типовые характеристики и возможности методов измерения. До начала тестирования робота необходимо знать диапазоны его рабочих характеристик, чтобы выбрать соответствующие им методы измерения.

Таблица 1 — Методы измерения рабочих характеристик роботов

Методы измерения (характеристики каждого метода приведены в таблице 2)		Рабочие характеристики													
		Точность позиционирования	Повторяемость позиционирования	Разнонаправленное изменение точности	Точность отработки расстояния	Повторяемость отработки расстояния	Время стабилизации положения	Перерегулирование по положению	Дрейф характеристик позиционирования	Минимальное время позиционирования	Статическая податливость	Точность отработки маршрута	Повторяемость отработки маршрута	Отклонения на поворотах	Характеристика скорости отработки
4.1 Методы позиционирования пробника	4.1.1 Пробник в форме куба	⊏	○	○	○	○	○	○	○	○	○	–	–	–	–
	4.1.2 Пробник в форме шара	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	–	–	–	–
4.2 Методы сравнения маршрутов	4.2.1 Метод сравнения маршрута с механическим шаблоном	△	△	△	–	–	–	–	△	–	–	△	△	–	–
	4.2.2 Метод сравнения маршрута с лазерным лучом	△	△	△	○	○	△	–	△	△	○	△	△	△	△
4.3 Методы трилатерации (расстояние — расстояние)	4.3.1 Мультилазерная интерферометрия отслеживания	✪	○	○	○	○	○	○	○	○	○	✪	○	○	○
	4.3.2 Ультразвуковая трилатерация	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	△	△	△	△
	4.3.3 Механическая кабельная трилатерация	△	△	△	△	△	○	○	○	○	○	△	△	△	△
4.4 Методы измерения полярных координат (расстояние — азимут)	4.4.1 Интерферометрия отслеживания одиночным лазером	✪	○	○	○	○	○	○	○	○	○	✪	○	○	○
	4.4.2 Метод одиночного тахеометра — отслеживание	✪	○	○	○	○	–	–	○	△	○	–	–	–	–
	4.4.3 Метод мерной линейки	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	△	△	△	△
4.5 Методы триангуляции (азимут — азимут)	4.5.1 Триангуляционные методы оптического отслеживания	✪	○	○	○	○	○	○	○	○	○	✪	○	○	○
	4.5.2 Теодолитный метод	✪	○	○	○	○	–	–	○	–	○	–	–	–	–
	4.5.3 Метод оптических камер	✪	○	○	○	○	○	○	○	○	○	✪	○	○	○

Окончание таблицы 1

Методы измерения (характеристики каждого метода приведены в таблице 2)		Рабочие характеристики													
		Точность позиционирования	Повторяемость позиционирования	Разнонаправленное изменение точности	Точность отработки расстояния	Повторяемость отработки расстояния	Время стабилизации положения	Перерегулирование по положению	Дрейф характеристик позиционирования	Минимальное время позиционирования	Статическая податливость	Точность отработки маршрута	Повторяемость отработки маршрута	Отклонения на поворотах	Характеристика скорости отработки
4.6 Инерциальный метод измерения		⬚	○	○	○	○	○	○	○	○	○	⬚	○	○	○
4.7 Методы измерения координат (декартовых)	4.7.1 Метод двумерной оцифровки	△	△	△	△	△	△	△	△	–	△	△	△	△	△
	4.7.2 Метод машинного измерения координат	–	–	–	△	△	–	–	–	–	○	–	–	–	–
4.8 Метод прорисовки маршрута		–	–	–	△	△	–	△	–	△	–	△	△	○	○

Примечание — В настоящей таблице применены следующие обозначения:

◘ — данные системы имеют возможность калибровки, как самой измерительной системы, так и системы координат основания робота. Это также означает, что данные системы могут измерять как абсолютную точность (позиционирования, маршрута), так и относительную погрешность (позиционирования, маршрута);

⬚ — данные системы могут измерять только относительную точность (позиционирования, маршрута);

○ — роботы со средними характеристиками могут быть проверены с помощью данного метода;

△ — характеристики могут быть измерены с некоторыми ограничениями;

– — данный метод не подходит для измерения характеристики.

Таблица 2 — Типовые характеристики методов измерения из таблицы 1

Методы измерения	Характеристики аппаратуры			Характеристика измерения	Максимальная скорость отслеживания маршрута	Частота выборки на измеряемом маршруте
	Разрешение	Повторяемость	Точность			
4.1 Методы позиционирования пробника	0,01—1 мкм 0,05 % поля зрения	0,001—0,01 мм 0,1 % — 1 % поля зрения	0,002—0,02 мм	Только статическое	—	—
4.2.1 Метод сравнения маршрута с механическим шаблоном	0,025—0,1 мм	0,05–0,2 мм		Динамическое	—	—
4.2.2 Метод сравнения маршрута с лазерным лучом	3 мкм	0,02 мм		Динамическое	10 м/с	0,01 мс/точка
4.3.1 Мультилазерная интерферометрия отслеживания	0,16 мкм	2 мкм	0,005—0,01 мм	Динамическое	6 м/с	10–100 мс/точка
4.3.2 Ультразвуковая трилатерация	0,05—1 мм	0,2—1 мм	0,4—3 мм		—	100–1000 мс/точка
4.3.3 Механическая кабельная трилатерация	0,01 мм	0,02 мм	0,3 мм		5 м/с	0,5 мс/точка
4.4.1 Интерферометрия отслеживания одиночным лазером	0,6—5 мкм	0,005—0,02 мм	0,005—0,05 мм	Динамическое	6 м/с	0,01—500 мс/точка
4.4.2 Метод одиночного тахеометра — отслеживание	0,2 мм 5″	3 мм 10″			1 м/с	500—3000 мс/точка
4.4.3 Метод мерной линейки	0,02 мм	0,1 мм	0,5—1 мм		—	—
4.5.1 Триангуляционные методы оптического отслеживания	2″ 0,015 %	5″	10″	Динамическое	2—10 м/с	1 мс/точка
4.5.2 Теодолитный метод	0,1—0,2″	0,5—2″	0,5—2″, 1 мм	Только статическое	—	—
4.5.3 Метод оптических камер	0,0005 % — 0,025 % поля зрения	0,001 % — 0,05 % поля зрения	0,01 % — 0,75 % поля зрения	Динамическое	10 м/с	0,2—4 мс/точка
4.6 Инерциальный метод измерения	5 мкм	0,01 мм	0,03 мм	Динамическое	5 м/с	3 мс/точка
4.7.1 Метод двумерной оцифровки	0,01—0,02 мм	0,02–0,2 мм	0,1—0,5 мм	Динамическое	0,5—3 м/с	10—100 мс/точка

Окончание таблицы 2

Методы измерения	Характеристики аппаратуры			Характеристика измерения	Максимальная скорость отслеживания маршрута	Частота выборки на измеряемом маршруте
	Разрешение	Повторяемость	Точность			
4.7.2 Метод машинного (напольного) измерения координат	0,5 мкм	5 мкм	0,01 мм	Только статическое	—	—
4.8 Метод прорисовки маршрута	0,2 мм		0,2—0,5 мм	Динамическое	—	—

Примечания

1 Данные основаны на номинальных спецификациях изготовителя испытательного оборудования. Для уточнения заявленных характеристик или описания ограничений следует обратиться к изготовителю.

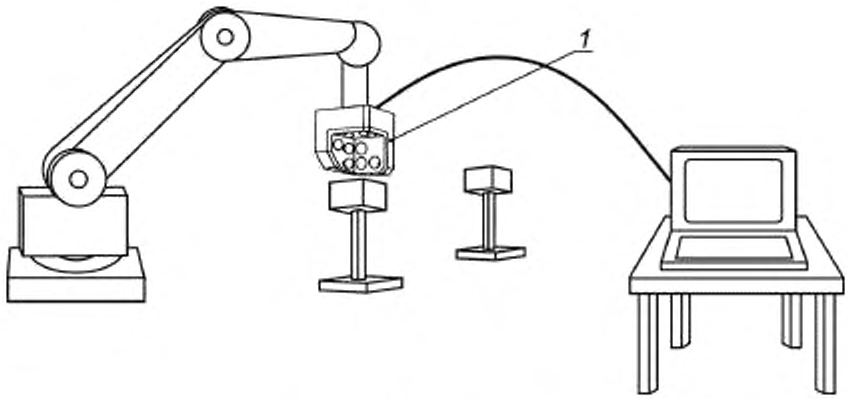
2 Большинство значений повторяемости или точности в таблице являются теоретическими характеристиками, когда отдельное измерительное устройство тщательно установлено, и стабильность всей измерительной системы поддерживается во время измерения.

4 Методы измерения рабочих характеристик роботов

Данный раздел содержит краткие описания и схематические иллюстрации методов измерения, представленных в таблице 1.

4.1 Методы позиционирования пробника

Фактическое пространственное положение рабочего органа робота определяют с помощью пробника, оснащенного датчиками смещения или сближения, который робот позиционирует так, чтобы медленно прикоснуться к специальному тестовому объекту, расположенному в заданном положении, или остановиться вблизи него, чтобы измерить возможное смещение. Типовая компоновка оборудования показана на рисунке *1*. Несколько разных тестовых объектов и пробников могут быть использованы вместе в зависимости от числа параметров пространственного положения, которые необходимо измерить.



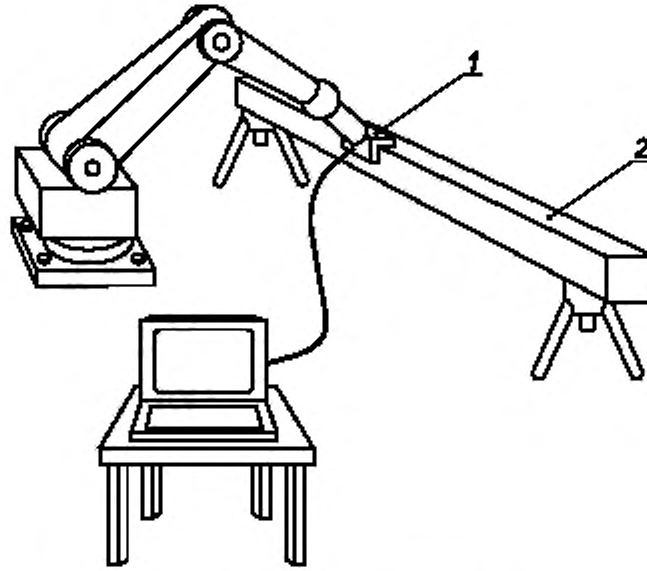
1 — пробник в форме полого куба

Рисунок *1* — Метод позиционирования пробника (тестового куба)

4.2 Методы сравнения маршрутов

4.2.1 Сравнение маршрута с механическим шаблоном

Данный метод основан на сравнении фактического маршрута движения рабочего органа робота с заданным маршрутом, который может состоять из линейных или круговых сегментов. Маршрут формируют с использованием точного механического шаблона или другой эталонной конструкции. На рисунке *2* показана установка для данного метода, где датчики сближения установлены на кубическом пробнике, представляющем собой рабочий орган робота, а заданный маршрут представлен объектом в виде прямоугольной направляющей. Отклонения, возникающие при отработке заданного маршрута, фиксируют с помощью необходимого числа датчиков и используют для определения характеристических параметров (точности и повторяемости) фактического маршрута. Полные отклонения пространственного расположения рабочего органа (его положения и ориентации) также могут быть определены при использовании достаточного числа датчиков.



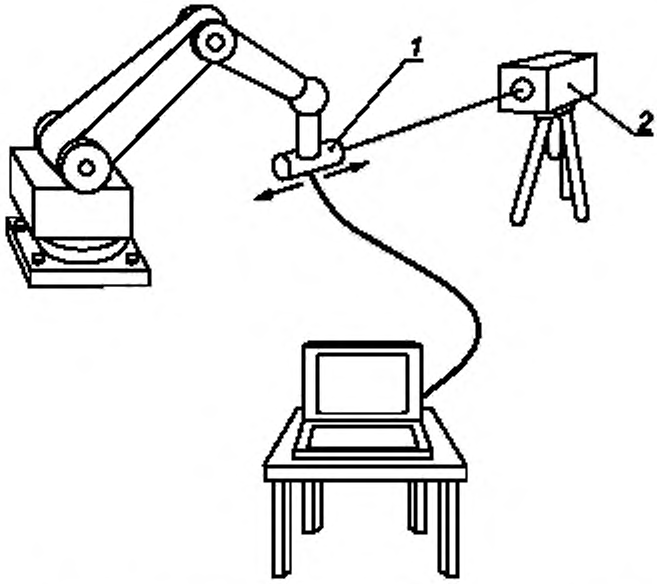
1 — датчики сближения. *2* — механический шаблон

Рисунок *2* — Сравнение маршрута с механическим шаблоном

4.2.2 Сравнение маршрута с лазерным лучом

Точность и повторяемость маршрута движения рабочего органа относительно лазерного луча могут быть изменены с помощью фоточувствительного датчика, который позволяет обнаружить отклонение падающего луча от центра датчика. Типовая компоновка оборудования для данного метода измерения показана на рисунке *3*.

Пространственные расположения рабочего органа робота вдоль луча можно вычислить как функцию времени, если лазерный излучатель заменить лазерным интерферометром, при этом фоточувствительный датчик должен иметь светоотражающую способность.



1 -- фотодиод, фиксирующий отклонение луча от центра датчика; *2* — лазер

Рисунок *3* — Сравнение маршрута с лазерным лучом

4.3 Методы трилатерации

Трилатерация является методом определения декартовых координат (*x*, *y*, *z*) точки *P* в трехмерном пространстве с помощью трех значений расстояния между точкой *P* и тремя позициями наблюдения и значений расстояний между тремя фиксированными позициями. Рисунок *4* поясняет принцип трилатерации в двумерном представлении.

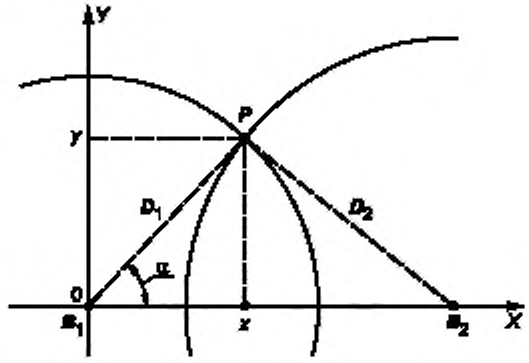
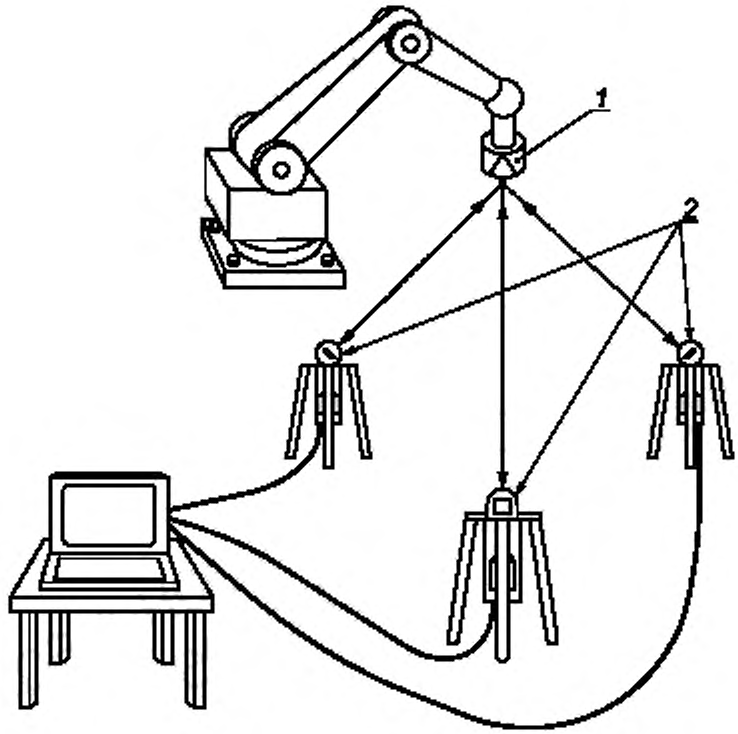


Рисунок *4* — Принцип измерения методом трилатерации (двумерное представление)

4.3.1 Мультилазерная интерферометрия отслеживания

Данный метод основан на использовании трех лазерных лучей, генерируемых тремя лазерными интерферометрами с двухосным сервоприводом, управляющим отслеживанием, которые направлены

на общую цель, расположенную на рабочем органе робота. Типовая компоновка системы показана на рисунке *5*. Характеристика пространственного расположения рабочего органа робота в трехмерном пространстве может быть определена на основе данных о расстоянии, полученных от трех интерферометров. Ориентация рабочего органа может быть измерена, если использовать шесть интерферометров в установке, в которой шесть лучей направлены на три независимые цели на роботе.



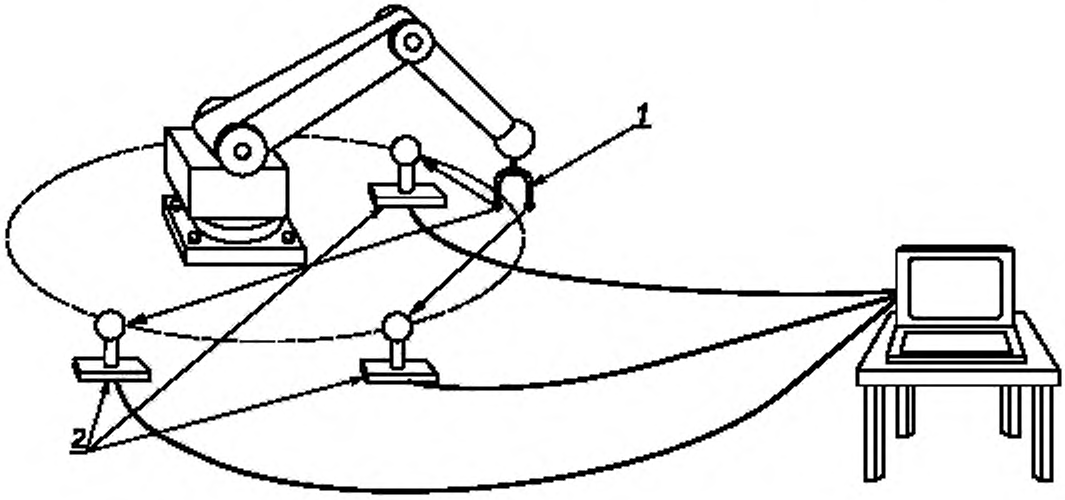
1 — уголковый отражатель, *2* — интерферометры отслеживания

Рисунок *5* — Мультилазерная интерферометрия отслеживания

4.3.2 Ультразвуковая трилатерация

Положение рабочего органа робота в трехмерном пространстве методом ультразвуковой трилатерации вычисляют с помощью данных о расстоянии от трех стационарных ультразвуковых микрофонов, которые получают последовательности ультразвуковых импульсов от источника звука, установленного на роботе. Типовая компоновка системы показана на рисунке *6*.

Ориентация рабочего органа робота может быть измерена, если на нем установлены три независимых источника звука, и каждый стационарный микрофон детектирует последовательности импульсов от всех трех источников звука.

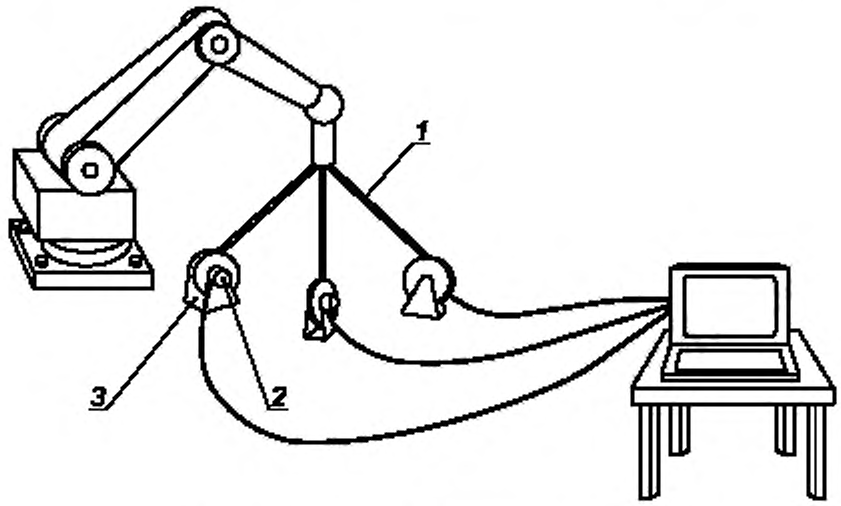


1 — ультразвуковой генератор; *2* — микрофоны

Рисунок *6* — Ультразвуковая трилатерация

4.3.3 Механическая кабельная трилатерация

Данный метод основан на подключении к рабочему органу робота трех кабелей, идущих от трех фиксированных кабелеподающих механизмов, как показано на рисунке *7*. Положение рабочего органа робота определяют замером длины каждого кабеля с помощью потенциометров или кодовых датчиков, установленных на кабелеподающих механизмах, обеспечивающих натяжение кабелей.



1 — кабель; *2* — датчик, *3* — кабелеподающий механизм

Рисунок *7* — Механическая кабельная трилатерация

4.4 Методы измерения полярных координат

Методы измерения полярных координат могут быть использованы для определения декартовых координат (*x*, *y*, *z*) точки в пространстве измерением расстояния *D*, азимута (α) и угла места (β), как показано на рисунке *8*.

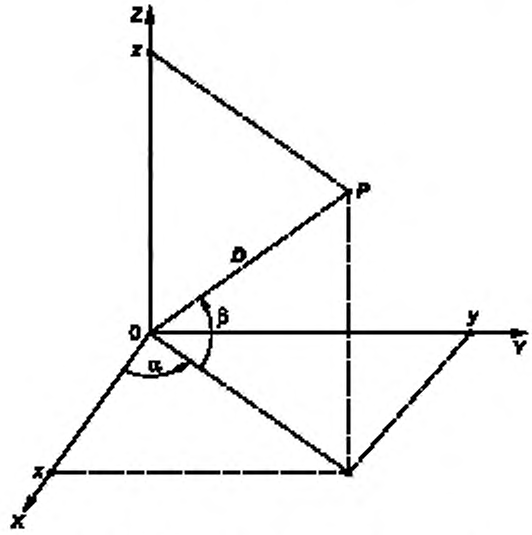
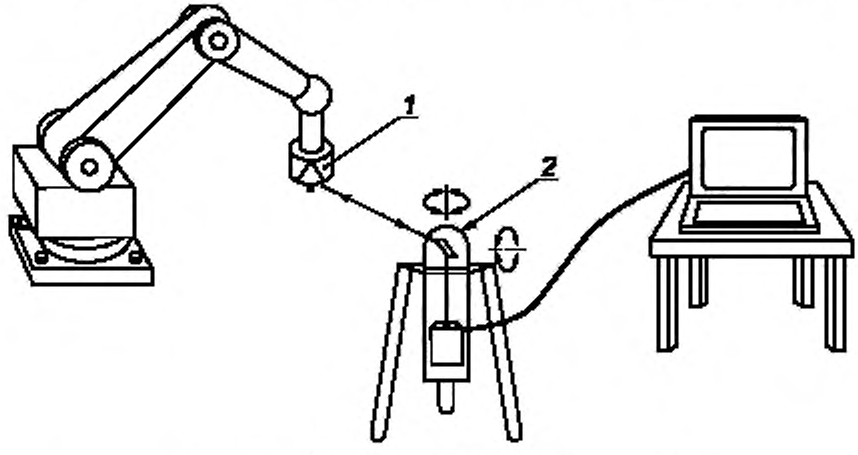


Рисунок *8* — Принцип измерения трехмерных полярных координат

4.4.1 Интерферометрия отслеживания одиночным лазером

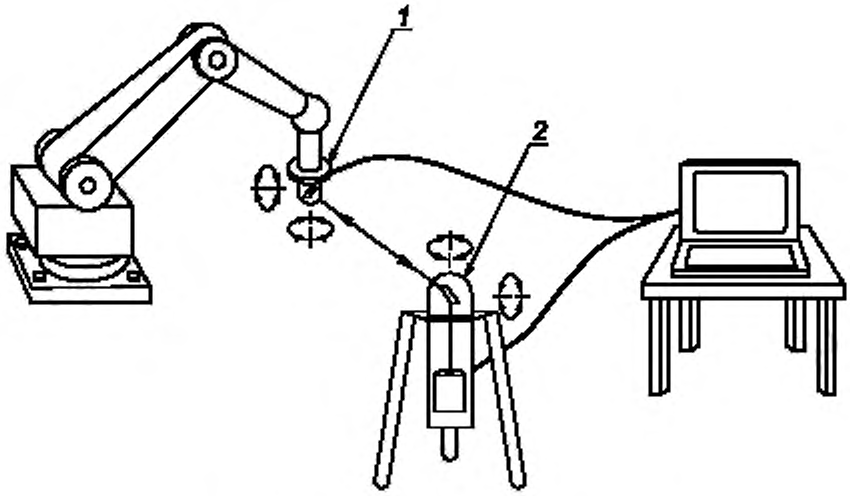
Метод лазерной интерферометрии отслеживания может быть использован для определения положения или ориентации рабочего органа робота. На рисунке *9* показана типовая компоновка одиночного лазерного интерферометра для определения положения рабочего органа робота. Положение рабочего органа робота может быть вычислено на основании данных о расстоянии от лазерного интерферометра и данных об азимуте/угле места, полученных от стационарной системы отслеживания, направленной на зеркало уголкового отражателя, установленного на рабочем органе робота.



1 — уголковый отражатель; *2* — лазерный интерферометр

Рисунок *9* — Интерферометрия отслеживания одиночным лазером для измерения положения рабочего органа робота

Ориентация рабочего органа робота (угол тангажа и угол рыскания) также может быть определена с использованием такой же системы (см. рисунок *10*), если система зеркал уголкового отражателя имеет возможность поддерживать направление оптической оси на стационарную систему отслеживания, или если стационарная система отслеживания может анализировать дифракционное изображение, отраженное уголковым отражателем. Данный метод подходит для оценки характеристик роботов с шестью степенями подвижности.

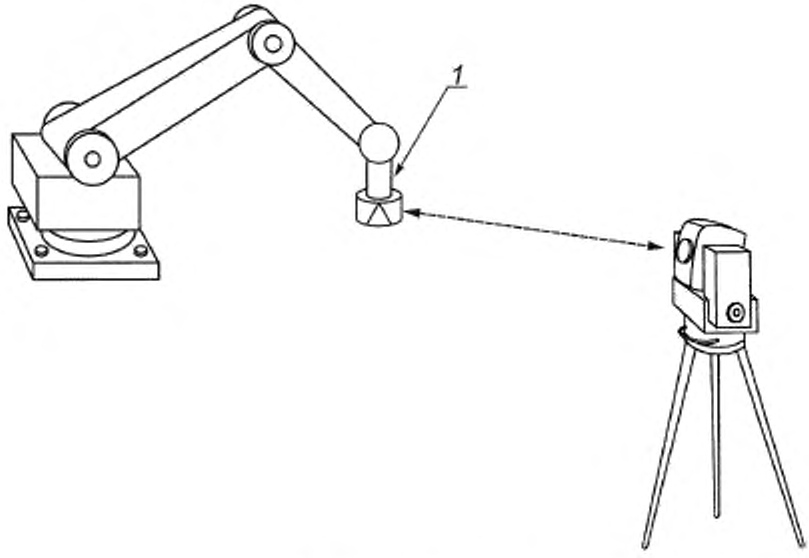


1 — уголковый отражатель; *2* — лазерный интерферометр

Рисунок *10* — Интерферометрия отслеживания одиночным лазером для измерения положения и ориентации рабочего органа робота

4.4.2 Метод одиночного тахеометра (статического или следящего)

Фактическое положение рабочего органа робота может быть определено с помощью статического тахеометра (способного измерять расстояние, азимут и угол места) точка за точкой. Фактическое положение и ориентация рабочего органа робота или фактический маршрут определяют с помощью следящего тахеометра, который отслеживает перемещение уголкового отражателя, установленного на рабочем органе робота. На рисунке *11* показана типовая компоновка данной системы.



1 — уголковый отражатель

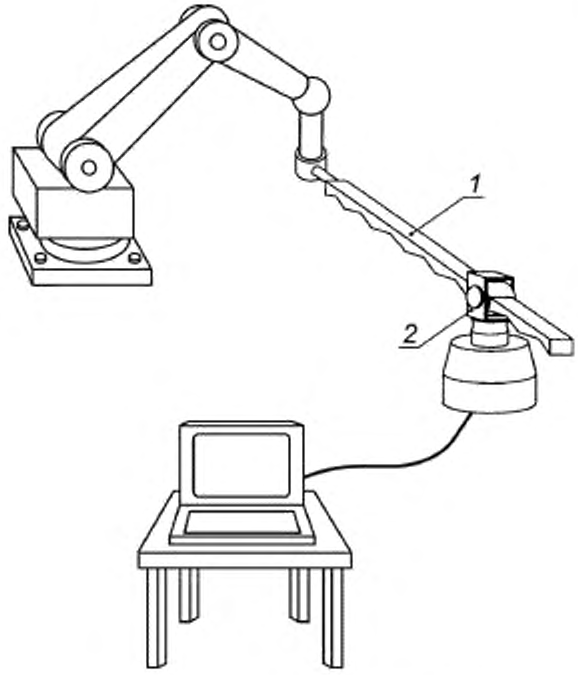
Рисунок *11* — Метод одиночного следящего тахеометра

4.4.3 Метод мерной линейки

Положение рабочего органа робота может быть определено как функция времени с данными о расстоянии и азимуте/угле места, полученными с помощью мерной линейки.

При использовании метода мерной линейки, типовая схема которого показана на рисунке *12*, один конец мерной линейки присоединяют к рабочему органу робота и измеряют расстояние между этим концом и местом, соединенным с кодовыми датчиками.

Данные об азимуте/угле места конца мерной линейки, присоединенного к рабочему органу робота, получают с помощью одного кодового датчика, движущегося горизонтально, и второго кодового датчика, движущегося вертикально.



1 — мерная линейка; *2* — кодовый датчик

Рисунок *12* — Метод мерной линейки

4.5 Методы триангуляции

Триангуляция позволяет определить положение точки в пространстве. При двумерной триангуляции, декартовы координаты (*x*, *y*) точки *P* (см. рисунок *13*) могут быть определены на основе длины базисной линии B_1B_2 и двух азимутов α_1 и α_2.

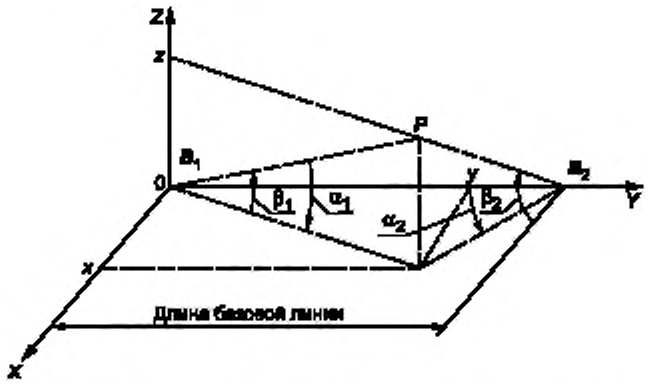
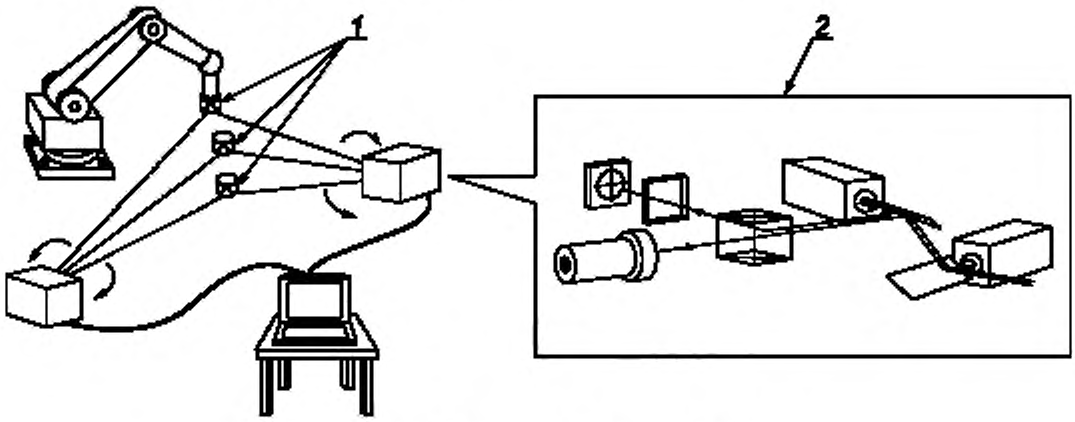


Рисунок *13* — Принцип измерения координат методом триангуляции

4.5.1 Триангуляционные методы оптического отслеживания

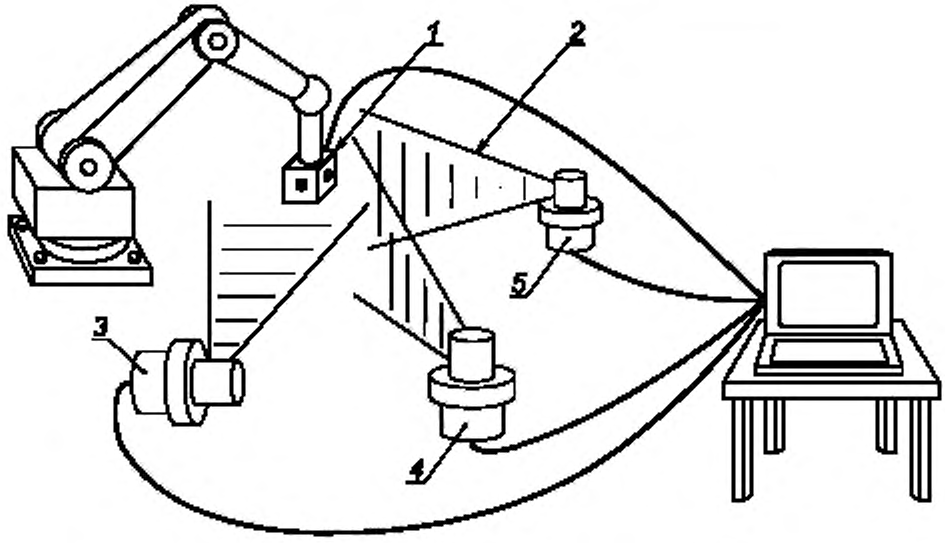
При использовании триангуляционных методов оптического отслеживания положение рабочего органа робота может быть определено как функция времени с двумя наборами данных азимута/угла места от двух систем двуосного оптического отслеживания. Эти методы могут быть использованы как для статических, так и для динамических измерений. На рисунках *14—16* показаны типовые конфигурации трех распространенных триангуляционных систем оптического отслеживания.

В лазерной системе отслеживания, показанной на рисунке *14*, два лазерных луча из двух систем отслеживания постоянно направлены на отражатель, установленный на рабочем органе робота. На рисунке *15* показан еще один метод определения положения рабочего органа робота — метод лазерного сканирования. Метод основан на обнаружении лазерных лучей, направленных из трех лазерных сканеров на установленную на рабочем органе робота цель. Два сканера проецируют вертикальные линии, а третий сканер излучает горизонтальную линию.



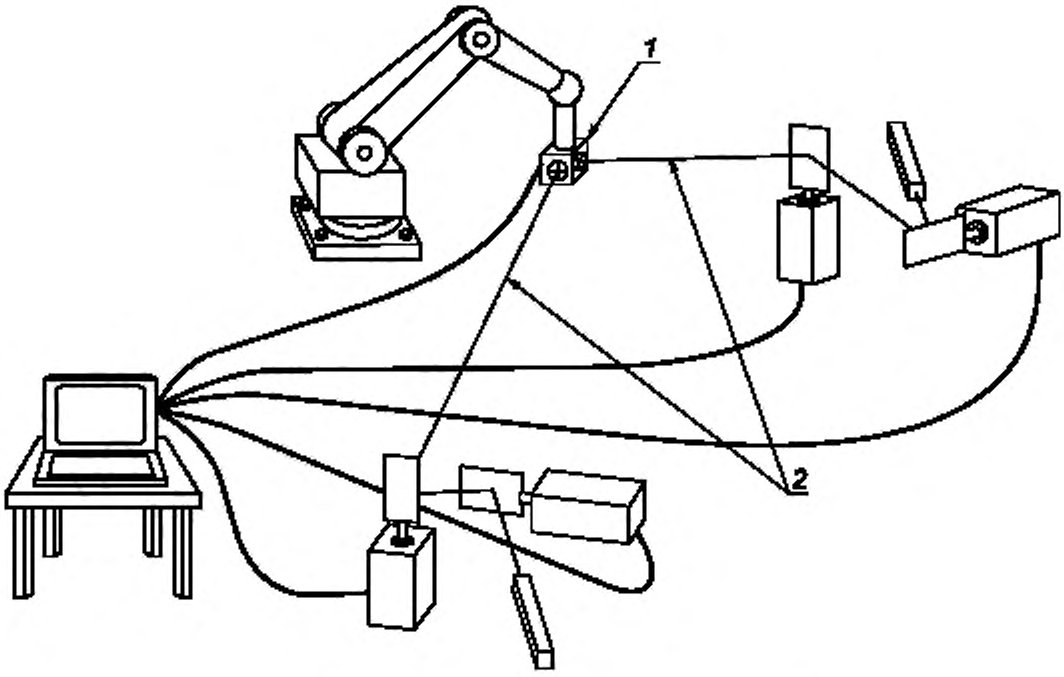
1 — уголковый отражатель; *2* — лазерный сканер

Рисунок *14* — Триангуляционная система лазерного отслеживания



1 — лазерный детектор; *2* — проецирование структурированной линии; *3* — сканер 1; *4* — сканер 2; *5* — сканер 3

Рисунок *15* — Триангуляционная система лазерного сканирования



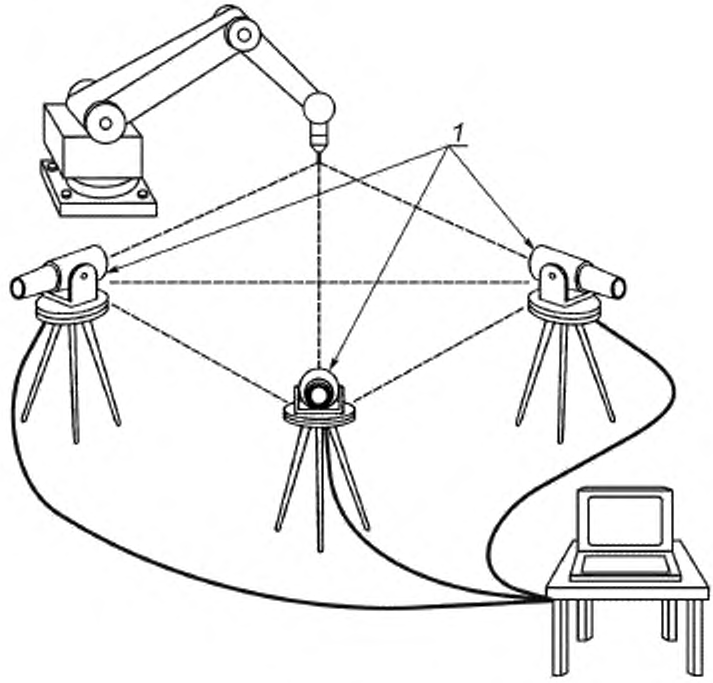
1 — кольцевые ПЗС-датчики; *2* — крестообразные лазерные пучки

Рисунок *16* — Триангуляционная система лазерного отслеживания с ПЗС-датчиками

Ориентация рабочего органа робота может быть рассчитана, если два структурированных лазерных пучка (в форме креста) отслеживают объект в форме куба, оснащенный двумя кольцевыми датчиками на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС-датчиками) на смежных поверхностях куба (см. рисунок *16*).

4.5.2 Теодолитный метод

Фактическое положение робота может быть определено с помощью двух наборов данных об азимуте/угле места, используя два (или более) стационарных теодолита с лучами, направленными на цель, установленную на рабочем органе робота. Типовая компоновка показана на рисунке *17*. Ориентация рабочего органа может быть определена, если на нем имеется несколько целевых точек. Ручные теодолиты пригодны только для статических измерений, так как они управляются вручную.



1 — теодолиты

Рисунок *17* — Теодолитный метод

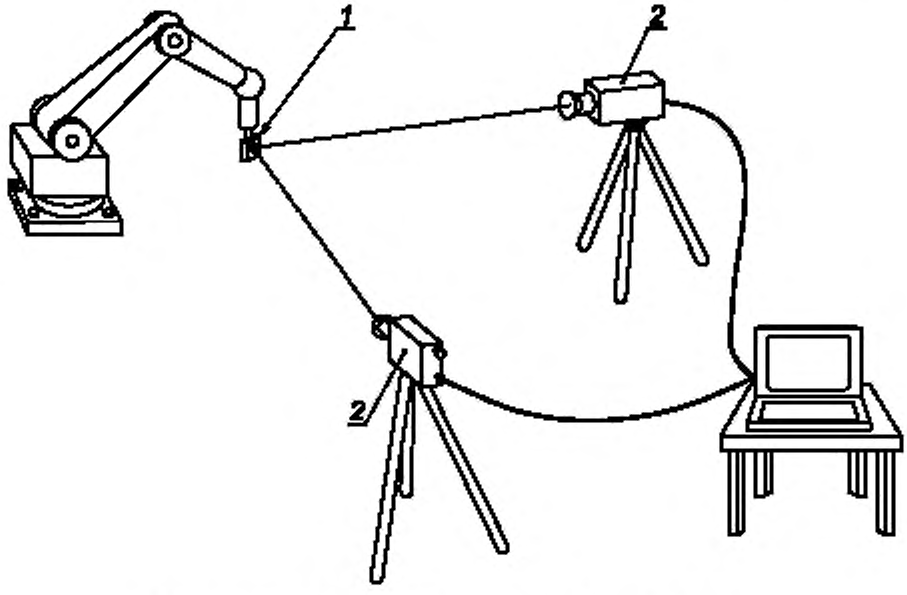
4.5.3 Метод оптических камер

Положение рабочего органа робота может быть определено как функция времени с помощью изображения, захваченного двумя формирователями изображения (одномерными или двумерными).

Ориентация рабочего органа робота может быть определена как функция времени с помощью нескольких источников света, излучение которых будет регистрироваться камерами.

Во время измерения источники света на рабочем органе робота включают последовательно для того, чтобы знать, от какого источника света регистрируется изображение.

Данный метод основан на использовании двух камер, расположенных на известном расстоянии. На рисунке *18* показана типовая компоновка оборудования для данного метода. Камеры контролируют светящуюся цель, установленную на рабочем органе робота. Приборы определения положения (или ПЗС) используют для определения положения цели в системе координат камеры. Эта информация, наряду со знанием расстояния между камерами, позволяет определить положение цели.

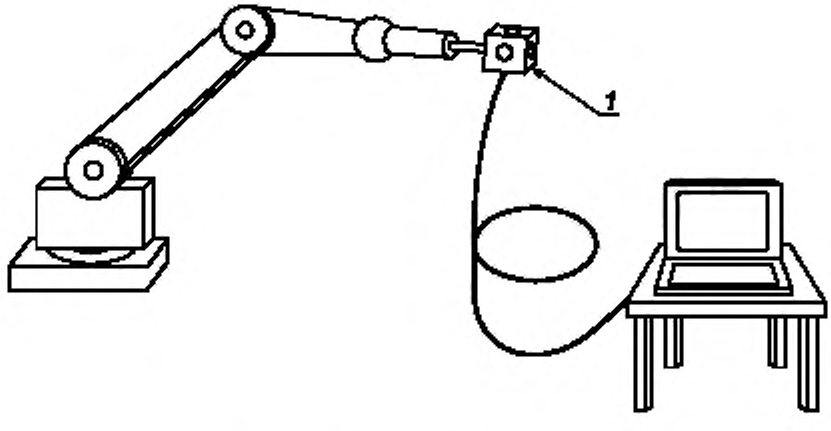


1 — источник света (активный или пассивный); *2* — оптические камеры

Рисунок *18* — Метод оптических камер

4.6 Инерциальный метод измерения

Когда известно начальное состояние робота, характеристики пространственного расположения его рабочего органа и маршрута движения могут быть определены в трех плоскостях с помощью трех датчиков ускорения с обратной связью и трех гироскопов, установленных на рабочем органе робота без использования какого-либо дополнительного внешнего оборудования. На рисунке *19* показана типовая компоновка такой измерительной системы.



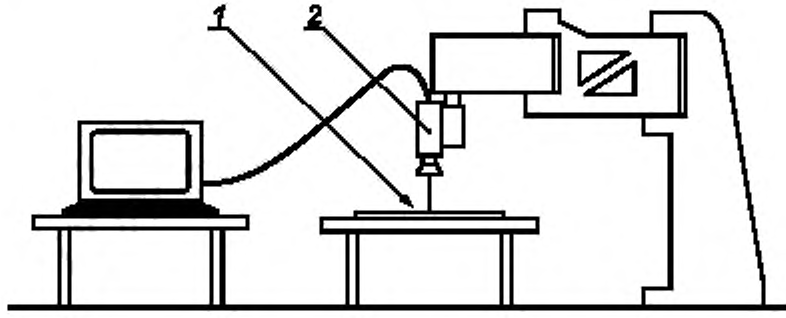
1 — три датчика ускорения и три гироскопа

Рисунок *19* — Инерциальный метод измерения

4.7 Методы измерения декартовых координат

4.7.1 Метод двумерной оцифровки

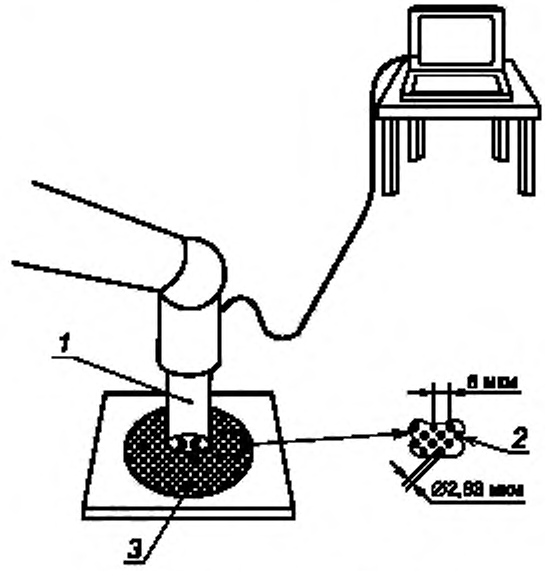
Положение рабочего органа робота в плоскости может быть измерено как значения координат *X*—*Y*, *Y*—*Z* или *Z*—*X* с помощью камеры высокого разрешения, установленной на рабочем органе робота. Типовая компоновка такой измерительной системы показана на рисунке *20*. С помощью камеры подсчитывают линии шкалы высокой точности на пластине, на которой нанесены линии в тестовой плоскости.



1 — шкала с высоким разрешением/высокой точностью. *2* — камера высокого разрешения

Рисунок *20* — Первый метод двумерной оцифровки

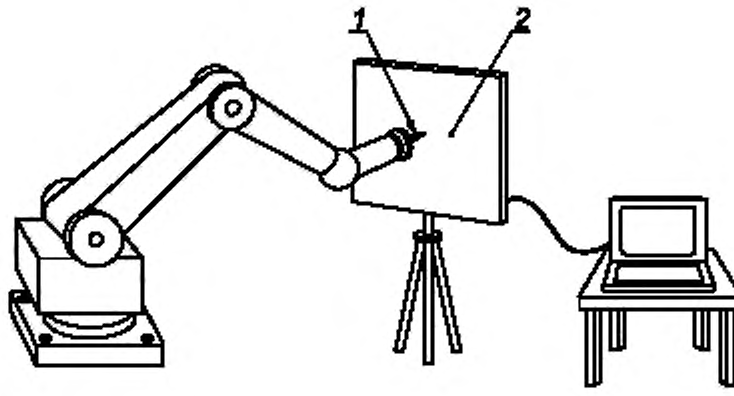
Положение рабочего органа робота в плоскости в ограниченной области может быть определено с помощью интерференционного принципа измерения с субмикронным разрешением. Муаровую картину, созданную на пластине с решеткой из перекрещивающихся линий, захватывает сканирующая головка и ее анализируют с целью получения двумерных значений (см. рисунок *21*).



1 — сканирующая головка; *2* — детали решетки; *3* — пластина с решеткой из перекрещивающихся линий

Рисунок *21* — Второй метод двумерной оцифровки

Положение рабочего органа робота может быть определено как значения координат *X*—*Y*, *Y*—*Z* или *Z*—*X* с помощью оцифровывающего пера, установленного на рабочем органе робота, и планшета в качестве тестовой плоскости (см. рисунок 22). Этот метод может быть использован для поточечной калибровки или для движений по непрерывным маршрутам. Таким образом его используют как для статических, так и для динамических измерений.

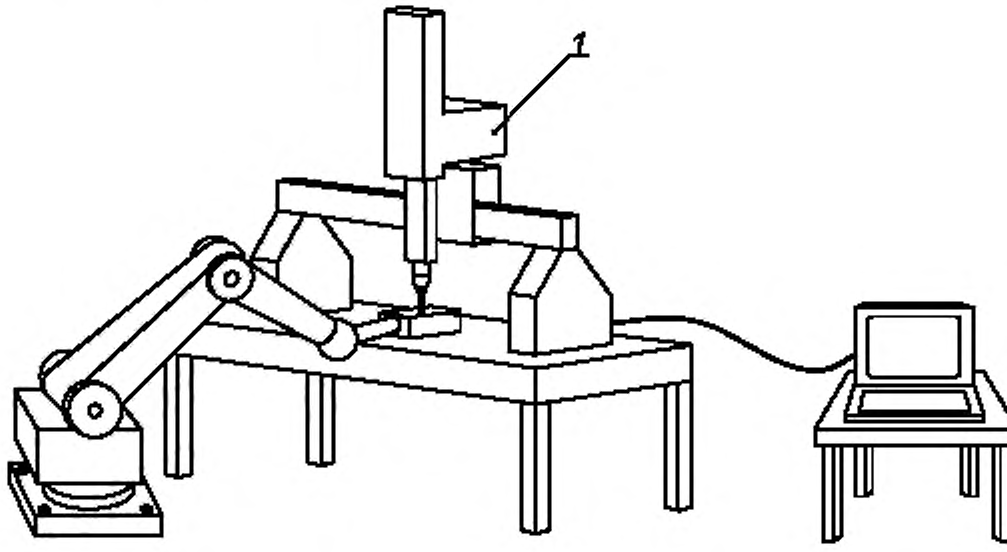


1 — оцифровывающее перо, *2* — планшет

Рисунок *22* — Третий метод двумерной оцифровки

4.7.2 Метод машинного измерения координат

Положение рабочего органа робота может быть определено с помощью значений координат целевой точки на рабочем органе робота, получаемых при ее касании координатно-измерительной машиной (см. рисунок *23*). Ориентация рабочего органа робота может быть измерена с помощью значений координат трех или более точек при касании координатно-измерительной машиной объекта в форме куба, размещенного на рабочем органе.

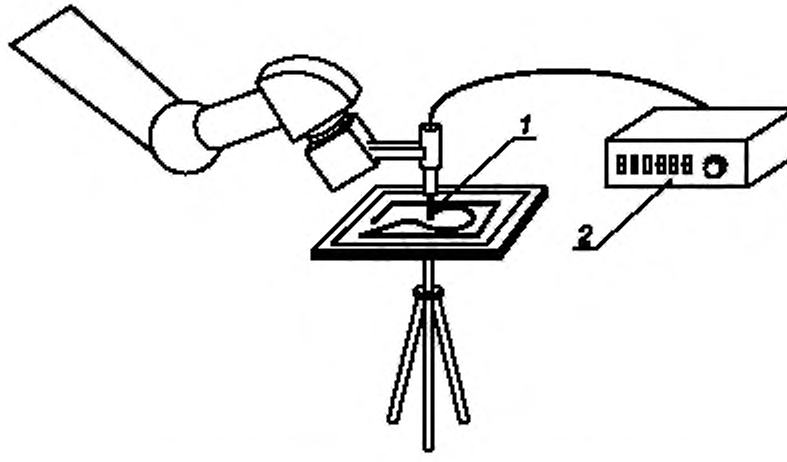


1 — координатно-измерительная машина

Рисунок *23* — Метод машинного измерения координат

4.8 Метод прорисовки маршрута

Двумерный маршрут движения рабочего органа робота может быть зафиксирован на бумаге механическими, электрическими или струйными перьями. На рисунке *24* представлен пример использования термобумаги и электрического пера. Данный метод с помощью синхронизирующих импульсов позволяет определить скорость перемещения рабочего органа робота.



1 — электрическое перо, *2* — генератор синхронизирующих импульсов

Рисунок *24* — Метод прорисовки маршрута

Приложение А
(справочное)

Примеры существующих измерительных систем и датчиков

Таблица А.1 — Примеры существующих измерительных систем и датчиков

Методы измерения	Существующие системы/датчики (изготовитель, страна)
Методы позиционирования пробника (4.1)	REFCUBE 6D (KRYPTON, Бельгия) RPMS 200 (Sun Japan, Япония) MicroSense (ADE, США)
Сравнение маршрута с механическим шаблоном (4.2.1)	—
Сравнение маршрута с лазерным лучом (4.2.2)	ROBOTEST (Polytec, Германия)
Мультилазерная интерферометрия отслеживания (4.3.1)	CMS-3000 конфигурация трилатерации (Chesapeake Laser Systems, США) LTS-1000 (LK Tool, США) LTCMS (Tokyo Seimitsu, Япония)
Ультразвуковая трилатерация (4.3.2)	—
Механическая кабельная трилатерация (4.3.3)	CompuGauge (Dynalog, США) RoboTrak (Robot Simulations, Великобритания)
Интерферометрия отслеживания одиночным лазером (4.4.1)	ROBOTEST (Polytec, Германия) SMART310 (Leica, Швейцария) CMS-3000 (Chesapeake Laser Systems, США)
Метод одиночного тахеометра (статического или следящего) (4.4.2)	статический: PCM1 (Leica, Швейцария) MONMOS (Sokkia, Япония) следящий: AP-L1 (Topcon, Япония)
Метод мерной линейки (4.4.3)	—
Триангуляционные методы оптического отслеживания (4.5.1)	OPTOTRAC (MSSR Group, University of Surrey, Великобритания) LASERTRACE (Automatic Systems Laboratories, Великобритания) LASERTRACKER LTS8000 (KRYPTON, Бельгия)
Теодолитный метод (4.5.2)	ECDS (Leica, Швейцария)
Метод оптических камер (4.5.3)	MultiLab System (SELCOM AB, Швеция) RPM 9200 (Qualisys, Швеция) RODYM 6D (KRYPTON, Бельгия) OPT-FOLLOW (YA-MAN Hamilton, США) Optotrak (Northern Digital, Канада) ICAROS (iMAR GmbH, Германия) Hi-Speed Tracker×2 (EMTEC, Япония) Двумерный PSD S1300 (Hamamatsu Photonics, Япония)
Инерциальный метод измерения (4.6)	ICAROS (iMAR GmbH, Germany)

Окончание таблицы А.1

Методы измерения	Существующие системы/датчики (изготовитель, страна)
Метод двумерной оцифровки (4.7.1)	RODYM 2.5D (KRYPTON, Бельгия) PP109R (Heidenhain, Германия) MODEL 200 (Zimmer, Германия) DrawingPad (CalComp, США)
Метод машинного измерения координат (4.7.2)	Desk top CMM: GEOTIZER 500 (Mitutoyo, Япония) Portable CMM: SYSTEM 6 (ROMER, США)
Метод прорисовки маршрута (4.8)	—

УДК 621.865.8:007.52:006:86:006.354 ОКС 25.040.30

Ключевые слова: роботы, робототехнические устройства, промышленные роботы, манипуляционные роботы, технические характеристики, оценка технических характеристик

БЗ 12—2020

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 11.11.2020. Подписано в печать 24.11.2020. Формат 60×84¼. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,80.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru