

## **ВВЕДЕНИЕ**

Высокая стоимость часа работы многоцелевых станков с ЧПУ вызывает необходимость снижения затрат времени, не связанных непосредственно с процессами формообразования поверхностей деталей. Повышение эффективности обработки является отдельным вопросом и в данном случае не рассматривается. Рассмотрим только вопросы снижения части подготовительно-заключительного и вспомогательного времени в общей структуре операций, выполняемых на многоцелевых станках. Они связаны:

- с подготовкой оборудования к работе, связанной с загрузкой инструментальных наладок в магазины или револьверных головок и введением размерной информации;
- выполнением измерений в процессе обработки и при необходимости внесением коррекции по программе;
- диагностикой состояния инструмента;
- контролем деталей без съема последних со станка при необходимости;
- со сканированием 3D-поверхностей, полученных после обработки.

Дополнительно необходимо выделить простоту оборудования из-за необходимости периодической проверки их технического состояния для гарантированного обеспечения выпуска качественных деталей. Это особенно важно для станков, закрепленных за изготовлением особо ответственных деталей.

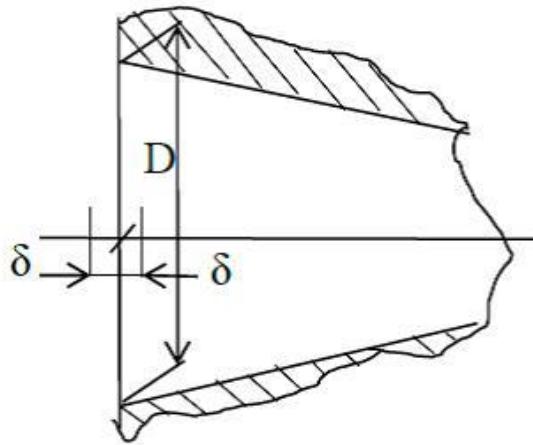
Рассмотрим влияние перечисленных факторов на соотношение основного и части подготовительно-заключительного и вспомогательного времени.

В зависимости от принятого на предприятии порядка подготовки инструментальных наладок их сборка может быть выполнена:

- с точной установкой размеров инструмента относительно присоединительных мест шпинделей или револьверных головок с регистрацией их размеров на бумажных или электронных носителях информации;
- с предварительной установкой размеров в пределах от 0,5 до 3 мм, в зависимости от габаритов инструмента.

В том или ином случае после доставки инструментальных наладок к станкам выполняют их установку в соответствующие гнезда инструментальных магазинов или револьверных головок. После загрузки в первом случае вносят размерную информацию в ЧПУ с распечаток или, как их называют на производстве, «чеков» или электронных носителей, возможна ее загрузка, так же как и программ по оптоволоконным кабелям. При ручном вводе информации с распечаток возможно появление ошибок, что исключено для электронных носителей и передачи по кабелю. Кроме того, независимо от числа применяемых инструментальных наладок, применение электронных носителей или загрузка по кабелю занимает минимальное время. При этом необходимо учитывать, что, в зависимости от типа присоединительных размеров наладок и станков, может иметь место погрешность базирования. Так, например, для конусов NC, MAS-BT, CAT по оси Z установочная база не совпадает с измерительной, следствием чего имеет место погрешность базирования. Для конусов NC,

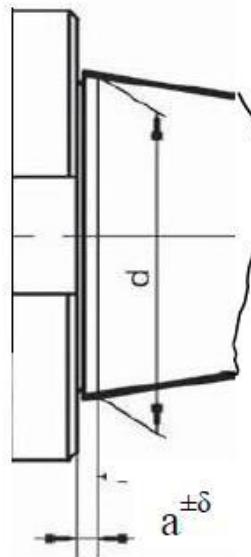
MAS-BT, CAT значения предельных отклонений положений основных диаметров для внутренних и наружных конусов приведены на рисунках В.1, В.2.



**Рис. В.1**

*Предельные отклонения основного диаметра для внутренних конусов:*

$D$  — основной диаметр внутреннего конуса;  $\delta$  — допускаемые отклонения расположения основного диаметра от торца шпинделя.



**Рис. В.2**

*Предельные отклонения основного диаметра для наружных конусов:*

$d$  — основной диаметр наружного конуса;  $a$  — расположения основного диаметра относительно торца вспомогательного инструмента;  $\delta$  — допускаемые отклонения.

В данном случае, т. е. для конусов 7:24, установочные и измерительные базы не совпадают, что приводит погрешности базирования на осевые размеры и, следовательно, к несовпадению размеров инструментальных наладок, измеренных на приборах и фактических после установки на станках. Без учета упругих контактных деформаций, возникающих при закреплении инструментальных наладок, предельные отклонения размеров могут быть определены по формуле

$$\Delta_{(\max,\min)} = \pm (\delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{ст}} + \delta_{\text{и}}), \quad (\text{B.1})$$

где  $\Delta_{(\max,\min)}$  — предельные значения отклонений настроенных размеров наладок на приборе и станке;  $\delta_{\text{пр}}$  — допускаемые отклонения расположения основного диаметра от торца шпинделя прибора;  $\delta_{\text{ст}}$  — допускаемые отклонения расположения основного диаметра от торца шпинделя станка;  $\delta_{\text{и}}$  — допускаемые отклонения расположения основного диаметра от торца вспомогательного инструмента.

Численные значения отклонений равны:

- для прибора для настройки инструмента на размер  $\pm 0,02$  мм;
- станков с ЧПУ с ручной сменой инструмента  $\pm 0,4$  мм (ГОСТ 30064-93);
- многоцелевых станков с автоматической сменой инструмента  $\pm 0,2$  мм (ГОСТ 30064-93);
- конусов 7:24 вспомогательного инструмента: SK  $\pm 0,2$  мм (DIN2080); NC (DIN69791), MAS-BT (JISB6339, MAS403), CAT (ANSI B5-50)  $\pm 0,1$  мм.

С учетом этого максимальные значения погрешностей при настройке инструментальных наладок на приборах могут достигать следующих значений:

- у станков с ручной сменой инструмента —  $\pm 0,61$  мм;
- с автоматической сменой инструмента —  $\pm 0,31$  мм.

Для импортного оборудования погрешность, в зависимости от точности расположения основного диаметра относительно торца шпинделя, может иметь следующие значения. При точности расположения  $\pm 0,2$  мм, она составит  $\pm 0,31$  мм, при точности  $\pm 0,1$  мм —  $\pm 0,21$  мм и точности  $\pm 0,05$  мм —  $\pm 0,16$  мм. Отклонения основного диаметра относительно торца шпинделя  $\pm 0,1$  мм и  $0,05$  мм предусмотрены как российскими, так и зарубежными стандартами и задаются разработчиками оборудования.

Полученные значения недопустимы для обработки тонких полотен на станках с конусами шпинделя 7:24 при переносе размеров инструментальных наладок на приборах. В общем случае допуск на толщину полотна находится в пределах 0,05...0,15 мм [1], что значительно меньше суммарной погрешности базирования. Следовательно, после установки инструментальных наладок и ввода размерной информации необходима коррекция размеров по оси Z, что увеличивает время на подготовку оборудования к работе.

Что касается конусов Морзе, их применение на оборудовании с ЧПУ нежелательно по следующим причинам:

- малые углы конуса, приводящие к самоторможению, что затрудняет извлечение инструмента и, следовательно, исключает возможность его автомати-

ческой замены по программе. На практике в цехах станков с ЧПУ для облегчения замены фрез с конусами Морзе для их извлечения из втулок с конусами 7:24 применяли гидравлические выталкиватели. Один гидравлический выталкиватель на группу станков — это не только облегчало замену фрез, но и уменьшало вероятность повреждения как самих втулок, так и конусов фрез при выбивании молотком;

— очень большая погрешность базирования по оси и возможность осевого смещения при работе с большими осевыми нагрузками. Так, по ГОСТ 25557-2016 регламентировано смещение основной плоскости для внутренних конусов Морзе 4 и 5 в пределах 1,6 мм, а для наружных смещение определяется только калибрами; для данных конусов оно равно 1 мм, т. е. максимальное смещение торца инструмента в этом случае будет 2,6 мм. Кроме того, возможно дополнительное смещение под действием сил закрепления. Повреждение конуса фрезы приведено на рисунке В.3;

— повышенное биение режущих кромок из-за погрешности расположения осей шпинделя и конуса вследствие большой длины конусов. Так, даже на фрезах для обработки высокопрочных материалов очень трудно обеспечить биение режущих кромок порядка 20...30 мкм даже для конусов высокой степени точности. Для сравнения: рабочая часть концевых фрез общего назначения с цилиндрическими хвостовиками характеризуется биением не более 10 мкм.



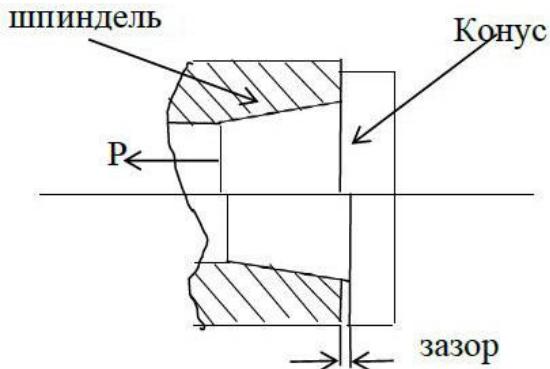
**Рис. В.3**  
*Повреждение конуса фрезы под нагрузкой*

Все это определяет недопустимость применения конусов Морзе на станках с программным управлением.

Для шпинделей с конусами HSK и BIG PLUS установочные и измерительные базы после закрепления инструментальных наладок совпадают (рис. В.4).

При установке в шпиндель оправок или втулок с конусами HSK между их смежными торцами имеет место предварительный зазор величиной 0,010...0,025 мм, в зависимости от их типоразмера. При закреплении происходит упругая деформация тонких стенок конуса HSK инструментальной наладки и силовое замыкание смежных торцов. Контакт торцов шпинделя и инструментальной наладки приводит к совмещению установочной и измерительной баз, что исключает появление погрешности базирования. Высокая твердость контактирующих поверхностей шпинделя и наладки позволяет пренебречь контактными упругими деформациями ввиду их незначительной величины. Все это обеспечивает равенство размеров наладок, полученных на приборах для

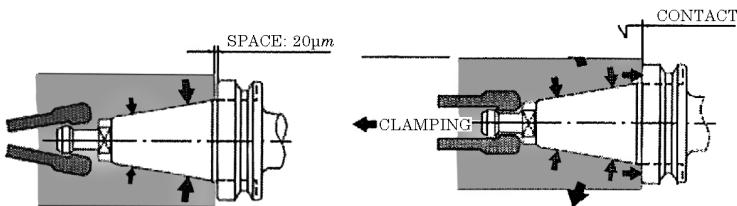
настройки инструмента на размер и станках. Кроме того, короткий конус HSK позволяет снизить влияние несовпадения осей шпинделя и конуса, что обеспечивает биение контрольных оправок на вылете из шпинделя (3...5) D не более 3 мкм и повышение не только точности обработки, но и надежности работы инструмента, следовательно, снижение простоев оборудования.



**Рис. В.4**

*Схема закрепления оправок с конусом HSK*

Аналогична схема закрепления инструментальных наладок с конусами BIG PLUS (рис. В.5).



**Рис. В.5**

*Закрепление наладок с конусами 7:24 BIG PLUS*

В конус шпинделя, изготовленного по требованиям BIG PLUS, можно устанавливать вспомогательный инструмент с конусами 7:27, но не рекомендуется из-за повышенного износа конуса шпинделя. Износ приведет к потере предварительного зазора, необходимого для обеспечения повышенной работоспособности за счет обеспечения контакта как по конусу, так и торцевым поверхностям. Это вызывает необходимость частого контроля состояния сопрягаемых конусов и применения специальных исполнений конусов.

Следовательно, приборы для предварительной настройки инструментальных наладок на размер особенно эффективны для многоцелевых станков с конусами HSK и BIG PLUS, особенно для обработки тонких полотен. В этом случае размеры, полученные на приборах, после передачи на станки воспроизводятся практически без искажений, что сокращает время на подготовку станков к работе.

Если подготовка инструментальных наладок выполняется без точной настройки, то их фактические размеры определяются на станке с применением

измерительных систем для определения размеров инструмента. В этом случае исключается необходимость дополнительной коррекции по оси Z для крутых конусов, и, более того, независимо от предварительной подготовки инструментальных наладок исключается влияние на фактические размеры точности формы сопрягаемых поверхностей станков и инструментальных наладок. Это особенно важно для наладок с большими вылетами инструмента.

Объем измерений в процессе обработки зависит от категории сложности обрабатываемых деталей и зачастую требует высокой квалификации оператора станка и применения сложного мерительного инструмента. Кроме того, для выполнения измерений приходится программировать технологические паузы, открывать доступ в рабочую зону станка и выполнять измерения, зачастую при затрудненном доступе к поверхностям, подлежащим контролю или измерению. Далее закрываем рабочую зону, отменяем технологическую паузу и продолжаем обработку и так далее до следующего измерения. На все это уходит значительное время, и кроме того, на точность измерений оказывают влияние субъективные факторы. Применение измерительных систем исключает:

- потери времени на технологические паузы, открытие и закрытие створок рабочих зон;
- снижает затраты времени на измерение сложных или труднодоступных поверхностей;
- влияние субъективных факторов на точность измерений.

Кроме того, измерительные системы обеспечивают:

- возможность коррекции размеров из-за размерного износа инструмента или температурных деформаций по программе. При этом следует иметь в виду, что несанкционированное внесение коррекций оператором на предприятиях, производящих наукоемкую продукцию, не допускается;
- замер особо ответственных конструктивных параметров деталей и последующую распечатку или электронную регистрацию полученных значений;
- контроль нежестких деталей без съема последних со станка, что значительно сокращает время, по сравнению с применением типовых конструкций измерительных инструментов.

Диагностика состояния инструмента, в свою очередь, обеспечивает:

- исключение повреждений оборудования из-за разрушения крупногабаритного инструмента, что чревато его длительным простоем для ремонта;
- исключение неисправного брака при обработке деталей;
- возможность оперативной замены инструментальной наладки с разрушенным или изношенным инструментом, что обеспечивает минимальный простой станка.

Кроме того, измерительные системы могут быть применены для сканирования 3D-поверхностей, полученных после обработки для деталей с элементами сложной конфигурации, с целью уточнения управляющих программ или размеров моделей для аэро- или гидродинамических исследований.

По данным [2...8], применение измерительных систем значительно изменяет затраты времени как на подготовку оборудования к работе, так и увеличение доли машинного времени в общей структуре временных затрат. Соотноше-

ние затрат времени на подготовку и эксплуатацию оборудования без применения измерительных систем и с их применением приведено на рисунках В.6, В.7.



Рис. В.6

*Соотношение затрат времени на обработку деталей без применения измерительных систем*

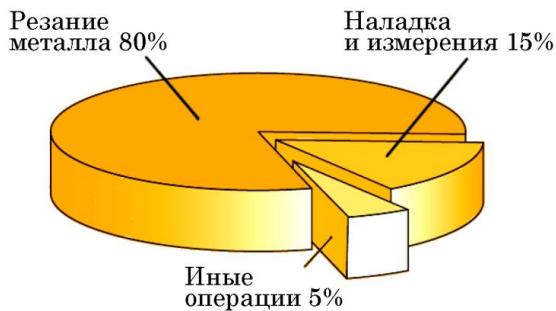


Рис. В.7

*Соотношение затрат времени на обработку деталей с применением измерительных систем*

Приведенные диаграммы показывают значительное повышение эффективности эксплуатации многоцелевых станков с ЧПУ.

Дополнительно необходимо выделить простой оборудования из-за необходимости периодической проверки их технического состояния для гарантированного обеспечения выпуска качественных деталей; для этих целей также находят применение специальные измерительные системы. В ряде случаев могут быть применены производственные методы определения технического состояния станков путем определения их динамической жесткости или податливости в направлении формообразующих осей станков.

# ГЛАВА 1.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Измерительные системы для повышения эффективности применения многоцелевого оборудования с ЧПУ представляют собой измерительные датчики, интерфейсы для связи с системами программного управления и программно-математическое обеспечение как изготовителей систем измерения, так и разработчиков ЧПУ и станков. В общем случае измерительные системы можно классифицировать по назначению:

- для решения технологических задач;
- проверки технического состояния оборудования.

Измерительные системы технологического назначения применяются на станках с ЧПУ для решения следующих задач [2...9]:

- измерение фактических размеров инструментов, установленных в револьверные головки или конуса шпинделей станков, и автоматический ввод коррекции на фактические размеры инструмента в программу обработки детали;
- определение поломок инструмента;
- для перехода (при произвольном закреплении заготовки детали на столе станка) от обработки в системе координат станка к воспроизведению управляющих программ в системе координат детали;
- измерение размеров как при отработке управляющих программ, изготавлении серийных деталей, так и окончательного контроля после обработки деталей;
- измерение параметров шероховатости обработанной поверхности;
- сканирование объемных поверхностей для создания 3D-моделей или их уточнения после обработки.

Достигаемая точность измерения систем технологического назначения зависит от следующих факторов:

- стабильность перемещений узлов станка (точность повторного выхода в заданную позицию);
- размер перемещения измерительного щупа датчика, необходимого для его срабатывания;
- разрешение измерительной системы.

При этом необходимо учитывать, что точность позиционирования для некоторых моделей станков может иметь разные значения по координатным осям станка. Следовательно, показатели точности измерения будут иметь разные значения, т. е. точность измерения по координатам можно записать как векторную сумму погрешностей:

$$\delta_z = \sqrt{\Delta_z^2 + \Delta_d^2 + \Delta_p^2}, \quad (1.1)$$

$$\delta_x = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_d^2 + \Delta_p^2}, \quad (1.2)$$

$$\delta_y = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_d^2 + \Delta_p^2}, \quad (1.3)$$

где  $\Delta_z$ ,  $\Delta_y$ ,  $\Delta_x$  — соответственно точность повторного выхода в позицию по координатным осям станков;  $\Delta_d$  — перемещение щупа датчика, необходимое для его срабатывания;  $\Delta_p$  — разрешение измерительной системы. Точность повторного выхода в позицию не всегда приводится в паспортах станков, ее можно заменить погрешностью позиционирования. Точность повторного выхода в позицию всегда превышает погрешность позиционирования. Погрешность срабатывания датчиков для бесконтактных можно принять равной 1 мкм; для контактных — необходимо принимать по паспорту датчиков; она, в зависимости от конструкции, может быть от 1 до 10 мкм. Большие значения относятся к рычажным системам для станков токарной группы. Разрешающая способность измерительной системы, как правило, порядка 1 мкм, меньшие значения могут быть для систем для шлифовальных станков.

Измерительные системы для определения технического состояния оборудования, в свою очередь, можно разделить на следующие:

- информационно-измерительные системы, определяющие точность перемещений по формообразующим осям станков. Точность перемещений в данном случае определяется измерительными отсчетными устройствами систем;
- точность взаимного расположения узлов оборудования, особенно крупногабаритного;
- комплекс приборов и средств оснащения для диагностики состояния присоединительных мест (конусов) шпинделей, револьверных головок и, соответственно, инструментальных наладок, а также усилий их закрепления.

Измерительные системы технологического назначения состоят из контактных или бесконтактных датчиков, приемников сигналов и интерфейсов, обеспечивающих взаимодействие с системами программного управления и установленным программным обеспечением. Приемники и интерфейсы часто объединены в одном блоке.

Измерительные системы для определения технического состояния оборудования, в свою очередь, имеют аналогичное построение, но интерфейс обеспечивает взаимодействие с внешним компьютером, как правило, ноутбуком. Их основным отличием является то, что линейные и угловые перемещения определяются отсчетными блоками систем и не зависят от механизмов перемещений углов и агрегатов станков.

Передача информации от датчиков может быть выполнена:

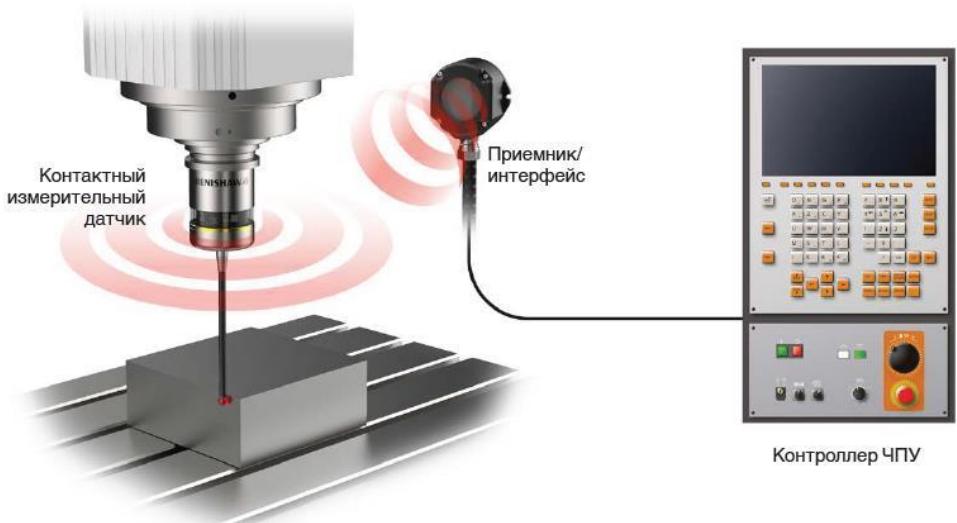
- по проводным линиям связи;
- оптическому каналу;
- радиоканалу;
- индуктивным линиям связи.

Способы передачи информации от датчиков к интерфейсам измерительных систем и системам ЧПУ приведены на рисунках 1.1...1.4.



**Рис. 1.1**  
*Проводная система передачи сигналов*

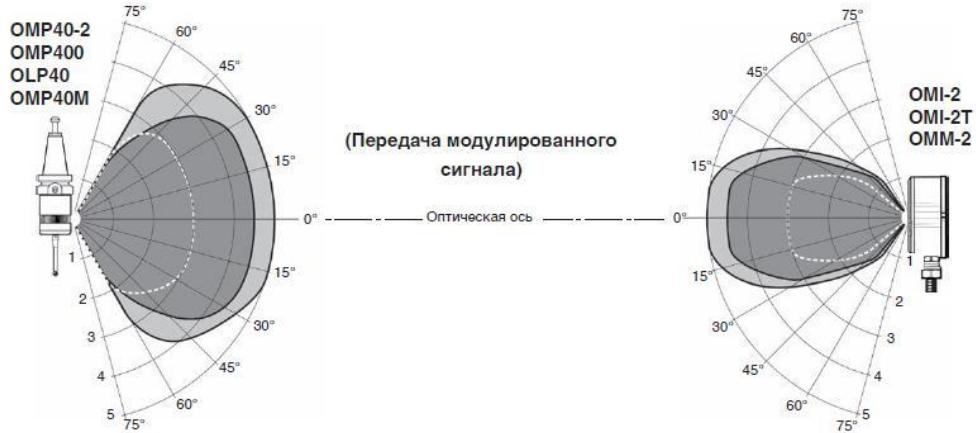
Передача по кабелю, как правило, применяется для датчиков для измерения размеров инструмента и определения его поломки. Кроме того, соединение кабеля с интерфейсом и ЧПУ широко применяется на станках шлифовальной, заточной и зубообрабатывающих групп.



**Рис. 1.2**  
*Оптическая система передачи сигналов*

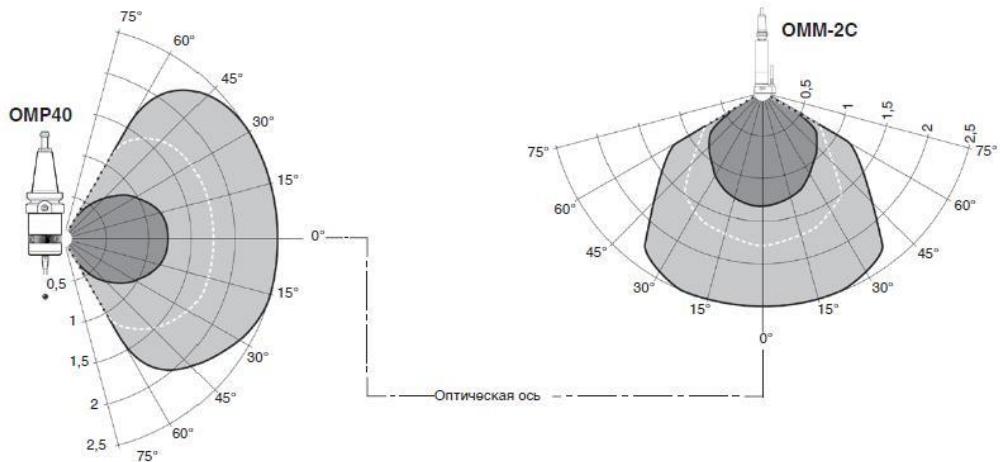
Оптические системы передачи информации применяются для обрабатывающих центров токарной и фрезерной групп для датчиков измерения размеров

деталей. Оптическая передача сигнала может быть выполнена для передачи сигнала на расстоянии от датчика до приемника не более 4...6 м. Кроме того, для передачи сигналов необходима прямая видимость между излучателем сигнала датчика и приемником. К тому же необходимо учитывать расположение датчиков и приемников с учетом диаграмм направленности оптических систем. Кроме взаимного расположения датчиков и приемников диаграммы также зависят от исполнений датчиков на рисунках 1.3...1.7.



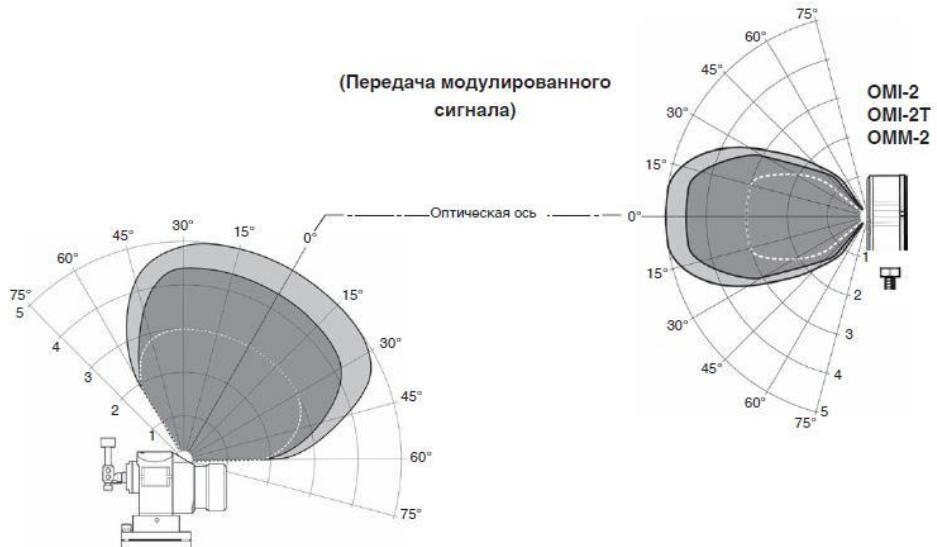
**Рис. 1.3**

*Диаграммы распределения направлений передачи и приема сигналов для оптических систем измерения размеров деталей*



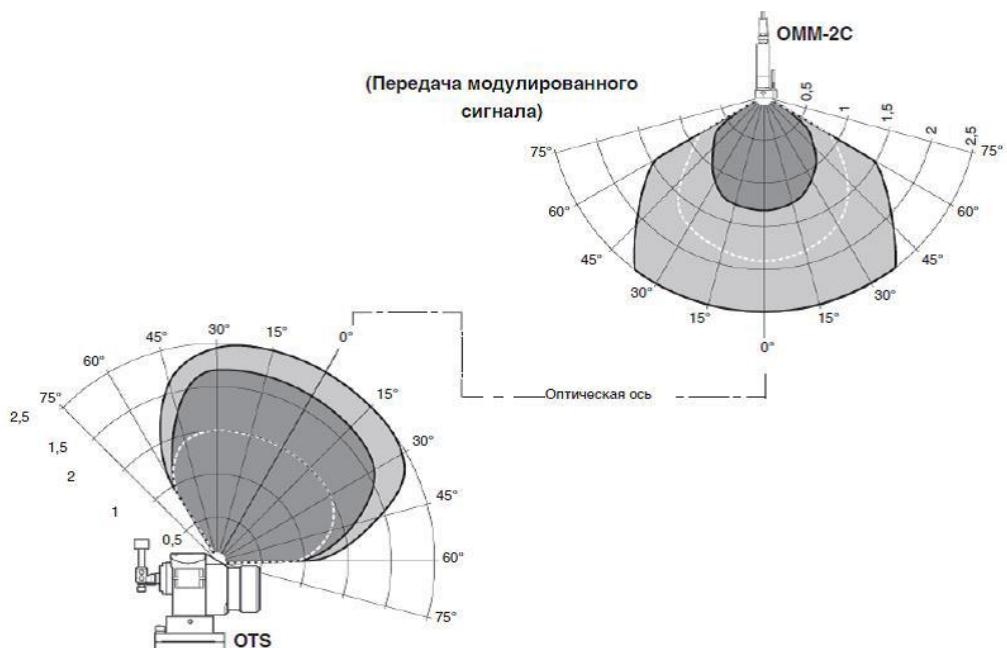
**Рис. 1.4**

*Диаграммы распределения направлений передачи и приема сигналов для оптических систем измерения размеров деталей*



**Рис. 1.5**

Диаграммы распределения направлений передачи и приема сигналов для оптических систем измерения размеров инструмента



**Рис. 1.6**

Диаграммы распределения направлений передачи и приема сигналов для оптических систем измерения размеров инструмента

На диаграммах рисунков 1.3...1.6 оттенком выделены режимы работы измерительных систем (рис. 1.7).

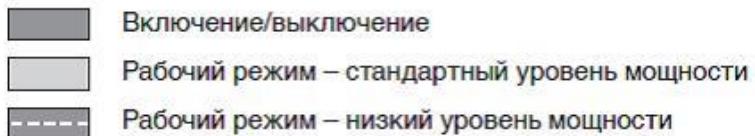


Рис. 1.7

*Режимы работы измерительных систем*

Для датчиков, работающих в измерительных системах, с оптической передачей сигнала требуется применение элементов питания.

Измерительная система с передачей сигналов по радиоканалу приведена на рисунке 1.8.

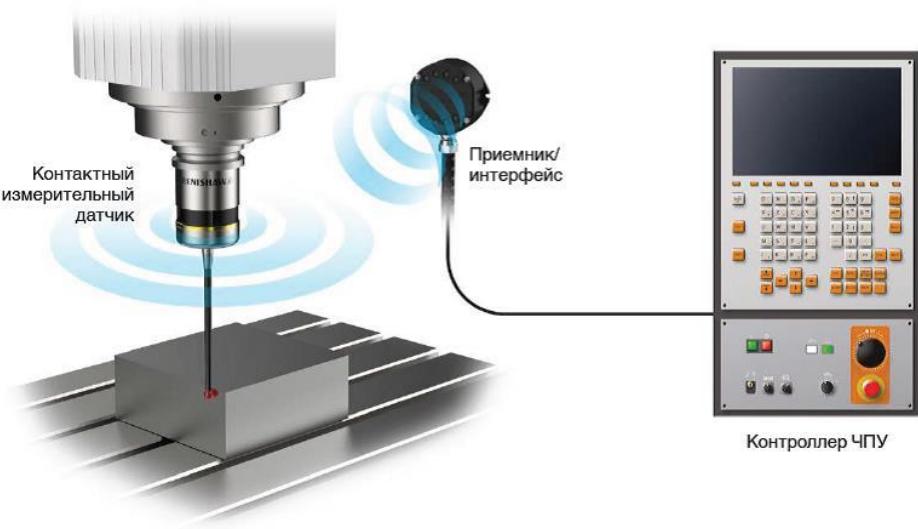


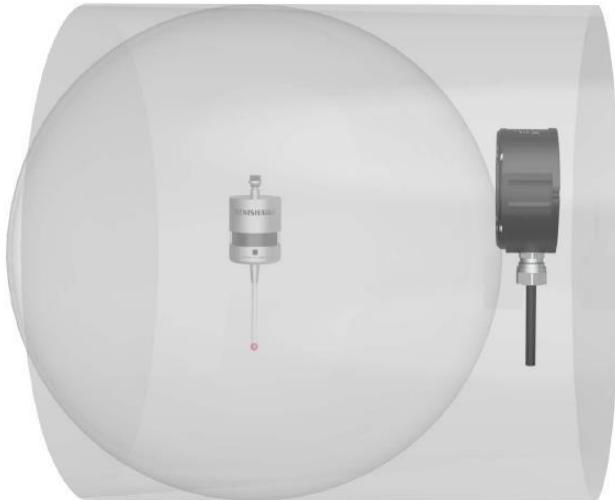
Рис. 1.8

*Система передачи сигналов по радиоканалу*

Схема распределения направлений приема и передачи сигналов приведена на рисунке 1.9.

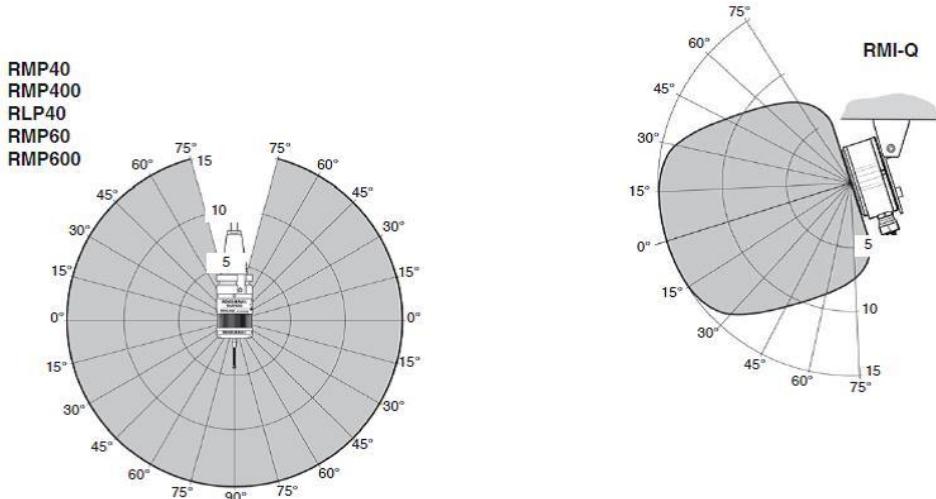
Сигналы от датчика равномерно распространяются по сфере, мертвая зона определяется экранирующим эффектом от элементов для закрепления датчика в шпинделе станка и габаритами шпиндельного узла. Приемник обеспечивает прием сигналов в пространстве, имеющем форму цилиндра. С учетом этого ограничения по допускаемым местам расположения датчиков и приемников минимальны, т. е. не требуется их расположение в пределах прямой видимости. В ряде случаев приемники могут быть установлены вне станка. Радиоканалы передачи информации имеют хорошую защиту от помех. Измерительные системы с передачей информации по радиоканалам применяются на станках средних и больших размеров, причем расстояние между датчиком и приемни-

ком может быть до 15 м. Кроме того, для данных систем возможно применение до четырех датчиков, работающих на один интерфейс и приемник. Для датчиков измерительных систем с передачей информации по радиоканалу необходимо применение элементов питания. Диаграммы направленности измерительных систем с передачей информации по радиоканалам приведены на рисунках 1.10, 1.11.



**Рис. 1.9**

*Схема распределения направлений передачи и приема сигналов для измерительных систем с передачей информации по радиоканалу*



**Рис. 1.10**

*Диаграммы распределения направлений передачи и приема сигналов для систем измерения размеров инструмента с передачей информации по радиоканалу*

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)