Глава 3

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТИ И ОСНОВЫ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ МОНТАЖЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Точность монтажа есть степень соответствия действительных значений параметров, получаемых при выполнении монтажных работ, значениям, заданным чертежами и техническими требованиями. Когда указанные требования относятся к линейным и угловым размерам, то говорят о точности геометрических параметров. Как правило, при монтаже технологического оборудования приходится иметь дело именно с этим видом точности.

Заданная точность монтажа достигается вследствие ее *метрологического* и *технологического* обеспечения.

Метрологическое обеспечение точности — установление и применение научных и организационных основ метрологии, технических средств, методов, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Технологическое обеспечение точности монтажа охватывает вопросы выбора технологии и методов достижения заданной точности, включая способы и средства регулировки, отработку оборудования на монтажную технологичность по критерию точности, в том числе выбор и предъявление требований к необходимому качеству изготовления выверочных (проверочных) и основных монтажных баз, назначение производственных монтажных допусков, требований к точности вспомогательных монтажных и действительных измерительных баз.

Точность изготовления, сборки и монтажа изделий характеризуется допусками и отклонениями их размеров, формы и расположения поверхностей. Сравнивая действительные отклонения с допускаемыми, судят о качестве выполненных работ.

Поскольку основные технические требования и нормы точности устанавливают в машиностроении при конструировании оборудования, то используемые термины и опре-

деления параметров точности при его монтаже следует применять в соответствии с ГОСТ 25346—82 «Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений», ГОСТ 24642—81 «Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения», ГОСТ 24643—81 «Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения».

На характеристики точности отклонений расположения строительных конструкций распространяются термины и определения стандартов «Системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве» ГОСТ 21778—81, ГОСТ 21779—82, ГОСТ 21780—83, ГОСТ 23615—79, ГОСТ 23616—79 и ГОСТ 26607—85.

Номинальный размер — размер, относительно которого определяют предельные размеры и который служит началом отсчета отклонений. Для сопрягаемых деталей номинальный размер является общим. Номинальный размер находят расчетами на прочность и жесткость, определяют из общих конструктивных соображений на основе опыта проектирования аналогичных изделий, а также исходя из совершенства геометрических форм и обеспечения технологичности конструкций.

Действительным называют размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Размер, определяемый путем измерения, будет действительным только в том случае, если точность измерения и применяемые средства контроля соответствуют определенным требованиям.

Предельные размеры — два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Один из предельных размеров является наибольшим, другой — наименьшим. Путем сравнения действительного размера с предельными судят о годности изделия.

Предельные размеры определяют *проходной* и *непроходной* предел размера. Термин *проходной предел* относят к тому из двух предельных размеров, который соответствует максимальному количеству материала. Наибольший предельный размер для вала и наименьший предельный размер для отверстия будут проходными пределами. *Непроходной предел* — термин, применяемый к тому из

двух предельных размеров, который соответствует минимальному количеству материала, а именно нижнему предельному размеру для вала и верхнему предельному размеру для отверстия.

Положения допуска относительно номинального размера удобнее указывать не предельными размерами, а характеризующими их *предельными отклонениями*. Для этой цели вводят понятие нулевой линии.

Нулевая линия — линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок.

Отклонения обозначаются прописными буквами латинского алфавита для отверстия и строчными для вала. Размеры, относящиеся к отверстию или к валу, соответственно обозначают буквами D и d.

Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. *Верхним предельным* отклонением ES (es) называют алгебраическую разность между наибольшим предельным и номинальным размерами $ES = D_{нб} - D$ (для отверстия) и $es = d_{нб} - d$ (для вала).

Соответственно *нижнее предельное отклонение* EI (ei) — алгебраическая разность между наименьшим предельным размером и номинальным: $EI = D_{нм} - D$ (для отверстия) и $ei = d_{нм} - d$ (для вала).

Допуск T — разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами. Если отклонения могут быть как положительными, так и отрицательными, то допуск T всегда положительная величина. Допуск T можно определить как абсолютную величину алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями: $T = ES - EI$ (для отверстия) и $T = es - ei$ (для вала). В системе ЕСДП допуск обозначают буквами IT и рядом ставят номер квалитета.

Поле допуска — поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Поле допуска определяется не только величиной, но и положением его относительно номинального размера.

Размеры разделяют на свободные и сопрягаемые. К сопрягаемым относят те размеры между поверхностями деталей, которыми детали соприкасаются, образуя подвижные или неподвижные соединения. К свободным отно-

сят те размеры между поверхностями деталей, которыми они не соприкасаются с другими деталями.

Изделия машиностроения изготовляют с применением Единой системы допусков и посадок, основанной на рекомендациях Международной организации по стандартизации (ИСО). *Системой допусков и посадок* называют совокупность стандартизованных рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований. Градация значений допусков размеров устанавливается в виде набора единых рядов, называемых квалитетами. В системе ЕСДП 19 квалитетов: *IT*01; *IT*0; *IT*1, ..., *IT*17.

Отклонения формы и расположения. При монтаже в процессе выполнения пригоночных и рихтовочных операций, при выверке оборудования во избежание его деформаций под монтажными нагрузками, при приемке оборудования в монтаж и при его ревизии возникают задачи измерений и контроля отклонений формы поверхностей корпусов машин, агрегатов и их деталей, а при сборке и выверке оборудования — отклонений расположения узлов и агрегатов.

Отклонение формы — отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля.

Точность взаимной ориентации отдельных агрегатов, оборудования в технологических линиях и его узлов после выверки характеризуют отклонениями расположения.

Под *отклонением расположения* понимают отклонение расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения. При оценке отклонений расположения отклонения формы рассматриваемых и базовых элементов следует исключать из рассмотрения. При этом реальные поверхности (профили) заменяют прилегающими, а за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей или профилей принимают оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов.

Реальная поверхность — поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды.

Номинальная поверхность — идеальная поверхность, номинальная форма которой задана чертежом или другой технической документацией.

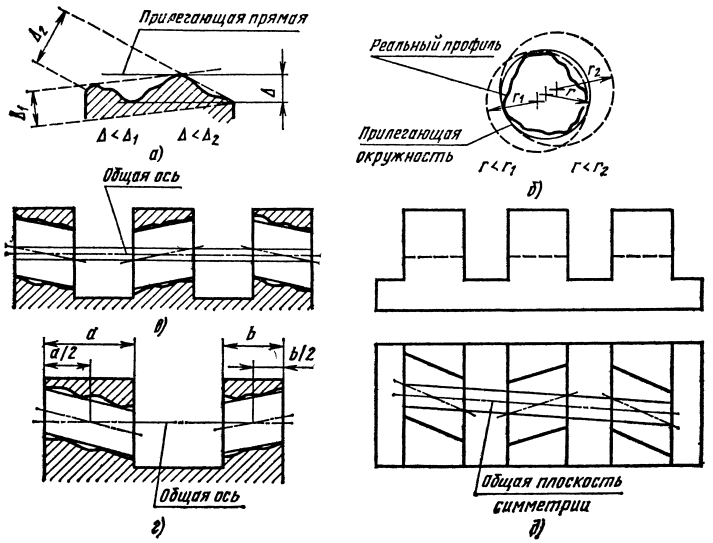


Рис. 1. Элементы, используемые при определении отклонений формы и расположения:

а — прилегающая прямая; *б* — прилегающая окружность; *в* — общая ось поверхностей; *г* — общая ось двух поверхностей; *д* — общая плоскость симметрии

Реальная ось — геометрическое место центров сечений поверхности вращения, перпендикулярных оси прилегающей поверхности; за центр сечения принимается центр прилегающей окружности.

Элемент — обобщенный термин, под которым в зависимости от соответствующих условий может пониматься поверхность, линия, точка.

Прилегающая прямая — прямая, соприкасающаяся с реальным профилем и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реального профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение (рис. 1, *а*).

Прилегающая окружность — окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения, или максимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения (рис. 1, *б*).

Количественно отклонение формы оценивается наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к прилегающей поверхности (профилю). Шероховатость поверхности не включают в отклонение формы. В обоснованных случаях при назначении отклонения формы допускается учитывать шероховатость поверхности. Волнистость включают в отклонение формы. Иногда допускается нормировать отдельно волнистость поверхности или часть отклонения формы без учета волнистости.

Для плоских поверхностей различают отклонения: от плоскостности, от прямолинейности (а также вогнутость и выпуклость). Для цилиндрических поверхностей различают отклонения: от цилиндричности, от круглости (овальность, огранка), отклонение профиля продольного сечения (конусообразность, бочкообразность, седлообразность).

Допуск формы — наибольшее допускаемое значение отклонения формы.

Поле допуска формы — область в пространстве или на плоскости, внутри которой должны находиться все точки реального рассматриваемого элемента в пределах нормируемого участка.

Ширина или диаметр поля допуска определяется значением допуска, а расположение относительно реальной поверхности определяется прилегающим элементом.

Номинальное расположение — расположение рассматриваемого элемента (поверхности или профиля), определяемое номинальными линейными и угловыми размерами между ним и базами или между рассматриваемыми элементами, если базы не заданы.

Реальное расположение — расположение рассматриваемого элемента (поверхности или профиля), определяемое реальными линейными и угловыми размерами между ним и базами или между рассматриваемыми элементами, если базы не заданы.

Общая ось — прямая, относительно которой наибольшее отклонение осей нескольких рассматриваемых поверхностей вращения в пределах длины этих поверхностей имеет минимальное значение (рис. 1, *в*).

Для двух поверхностей общей осью является прямая, проходящая через оси рассматриваемых поверхностей в их средних сечениях (рис. 1, *г*).

Общая плоскость симметрии — плоскость, относительно которой наибольшее отклонение плоскостей симметрии нескольких рассматриваемых элементов в пределах длины этих элементов имеет минимальное значение (рис. 1, *д*).

Среди отклонений расположения различают отклонения от параллельности (плоскостей, прямых в плоскости, осей в пространстве, оси и плоскости); торцовое и радиальное биение; отклонения от перпендикулярности (плоскостей, осей или оси и плоскости); отклонения от соосности (относительно базовой поверхности, общей оси), а также отклонения от пересечения осей; отклонения от симметричности осей относительно номинального расположения; отклонения размеров, координирующих положение осей и повторяющихся элементов.

При монтаже оборудования встречаются случаи контроля всех видов отклонений. Наиболее часто проверяют отклонения расположения оборудования относительно координатных, базовых осей и плоскостей (горизонтальной и вертикальной).

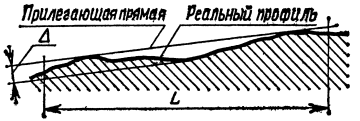
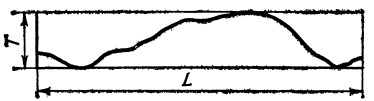
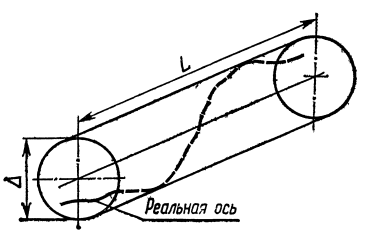
Основные термины и определения, характеризующие отклонения и допуски формы, приведены в табл. 1, а характеризующие отклонения и допуски расположения — в табл. 2.

Правила указания допусков формы и расположения на чертежах устанавливает ГОСТ 2.308—79 (табл. 3).

Отклонения расположения, относящиеся к различным узлам в монтажных чертежах, обычно указывают в виде текстовой записи на свободном поле чертежа.

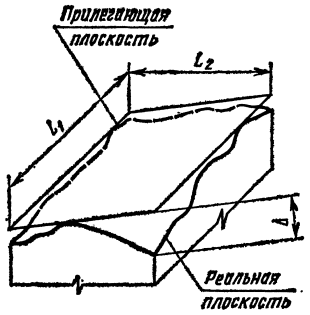
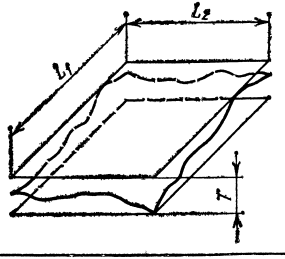
Условные обозначения и допуски формы и расположения помещают в прямоугольных рамках, которые соединяют выносной линией со стрелкой с контурной линией поверхности или с размерной линией параметра, или с осью симметрии, если отклонение относится к общей оси. Прямоугольные рамки делят на две или три части: в первой указывают знак допуска, во второй — значение предельного отклонения. Третья часть рамки вводится тогда, когда нужно показать еще буквенное обозначение базовой или другой поверхности, к которой отно-

1. Основные отклонения и допуски формы

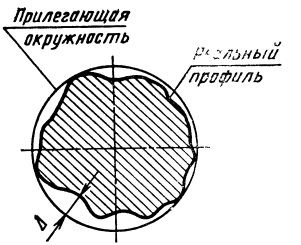
Термин	Определение	Эскиз
	Отклонение от прямолинейности и допуск прямолинейности	
Отклонение от прямолинейности в плоскости	Наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка L	
Допуск прямолинейности Поле допуска прямолинейности в плоскости	Наибольшее допускаемое значение отклонения от прямолинейности Область на плоскости, ограниченная двумя параллельными прямыми, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску прямолинейности T	
Отклонение от прямолинейности оси (или линии) в пространстве Поле допуска прямолинейности оси (или линии) в пространстве	Наибольшее значение диаметра Δ цилиндра, внутри которого располагается реальная ось поверхности вращения (линия) в пределах нормируемого участка Область в пространстве, ограниченная цилиндром, диаметр которого равен допуску прямолинейности. Область в пространстве, ограниченная прямоугольным параллелепипедом, стороны сечения которого равны допускам прямолинейности оси (линии) в двух	

	взаимно перпендикулярных направлениях, а боковые грани соответственно перпендикулярны плоскостям заданных направлений	

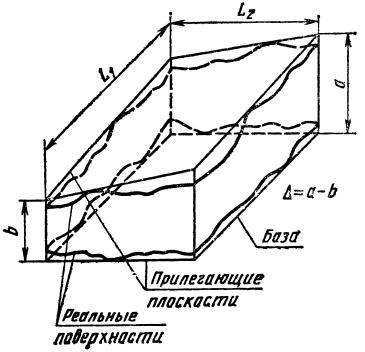
Отклонения от плоскостности и допуск плоскостности

Отклонение от плоскостности	Наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка с размерами L_1 и L_2	
Допуск плоскостности	Наибольшее допускаемое значение отклонения от плоскостности	
Поле допуска плоскостности	Область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску плоскостности T	

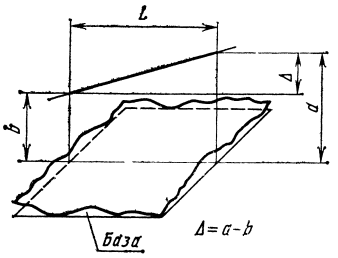
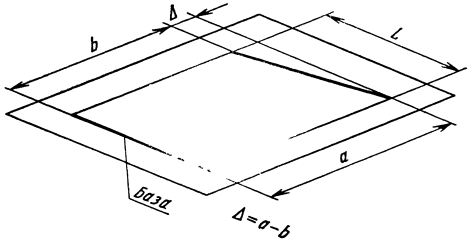
Продолжение табл. 1

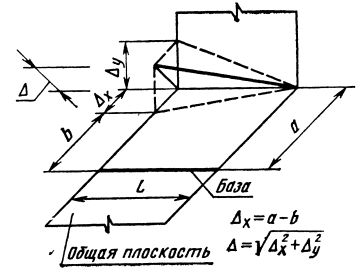
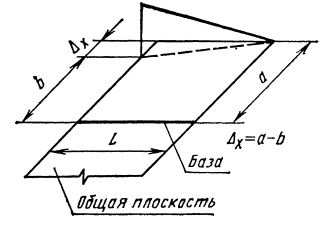
Термин	Определени	Эскиз
Отклонение от круглости и допуск круглости		
Отклонение от круглости Допуск круглости	Наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля до прилегающей окружности Наибольшее допускаемое значение отклонения от круглости	
Поле допуска круглости	Область на плоскости, перпендикулярной оси поверхности вращения или проходящей через центр сферы, ограниченная двумя концентрическими окружностями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску круглости	

2. Основные отклонения и допуски расположения

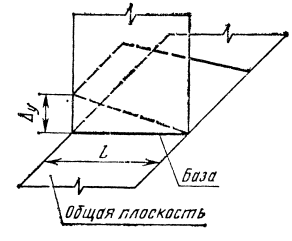
Термин	Определение	Эскиз
Отклонение от параллельности и допуск параллельности		
Отклонение от параллельности плоскостей	Разность Δ наибольшего a и наименьшего b расстояний между плоскостями в пределах нормируемого участка	
Допуск параллельности	Наибольшее допускаемое значение отклонения от параллельности	

Продолжение табл. 2

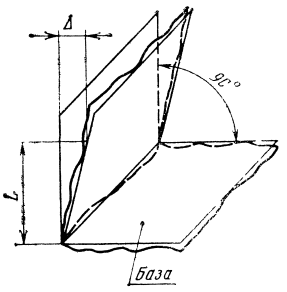
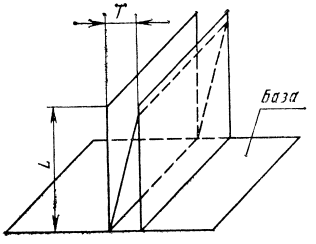
Термин	Определение	Эскиз
Отклонение от параллельности оси (или прямой) и плоскости	Разность Δ наибольшего a и наименьшего b расстояний между осью (прямой) и плоскостью на длине нормируемого участка	
Отклонение от параллельности прямых в плоскости	Разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний между прямыми на длине нормируемого участка	

Отклонение от параллельности осей (или прямых) в пространстве	Геометрическая сумма Δ отклонений от параллельности проекций осей (прямых) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях; одна из этих плоскостей является общей плоскостью осей	
Отклонение от параллельности осей (или прямых) в общей плоскости	Отклонение от параллельности Δ_x проекций осей (прямых) на их общую плоскость	

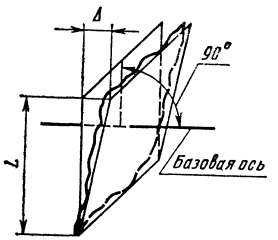
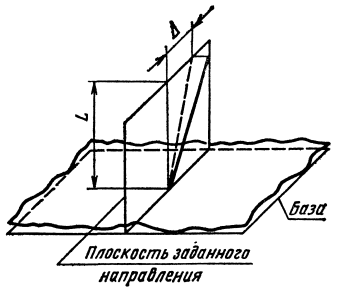
Продолжение табл. 2

Термин	Определение	Эскиз
Перекос осей (или прямых)	Отклонение от параллельности Δ_y проекций осей (прямых) на плоскость, перпендикулярную к общей плоскости осей и проходящую через одну из осей (базовую)	
Отклонение плоскости от горизонтальности	Отклонение от параллельности рассматриваемой и горизонтальной плоскостей (разность наибольшего и наименьшего расстояния между рассматриваемой и горизонтальной плоскостями в пределах нормируемого участка). Горизонтальная плоскость (ГОСТ 22268—76) — плоскость, перпендикулярная отвесной линии, проходящей через данную точку. Отвесная линия — прямая, совпадающая с направлением действия силы тяжести	
Отклонение оси от горизонтальности	Отклонение от параллельности оси и горизонтальной плоскости (разность наибольшего и наименьшего расстояния между осью и горизонтальной плоскостью на длине нормируемого участка)	
Отклонение оси от вертикальности	Отклонение от параллельности рассматриваемой оси от отвесной линии	

Отклонение от перпендикулярности и допуск перпендикулярности

Отклонение от перпендикулярности плоскостей Допуск перпендикулярности	Отклонение угла между плоскостями от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах Δ на длине нормируемого участка Наибольшее допускаемое значение отклонения от перпендикулярности	
Поле допуска перпендикулярности плоскостей	Область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску перпендикулярности T, и перпендикулярными базовой плоскости	

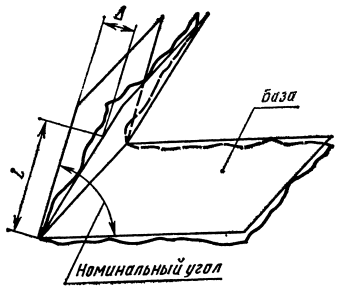
Продолжение табл. 2

Термин	Определение	Эскиз
Отклонение от перпендикулярности плоскости или оси (или прямой) относительно оси (прямой)	Отклонение угла между плоскостью или осью (прямой) и базовой осью от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах Δ на длине нормируемого участка	
Отклонение от перпендикулярности оси (или прямой) относительно плоскости в заданном направлении	Отклонение угла между проекцией оси поверхности вращения (прямой) на плоскость заданного направления (перпендикулярную базовой плоскости) и базовой плоскостью от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах Δ на длине нормируемого участка	
Поле допуска перпендикулярности оси (или прямой) относительно плоскости в заданном направлении	Область на плоскости заданного направления, ограниченная двумя параллельными прямыми, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску перпендикулярности, и перпендикулярными к базовой плоскости	
Отклонение от перпендикулярности оси	Отклонение угла между осью поверхности вращения (прямой) и базовой	

(или прямой) относительно плоскости	плоскостью от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах Δ, на длине нормируемого участка
Отклонение плоскости от вертикальности	Отклонение от перпендикулярности рассматриваемой горизонтальной плоскости

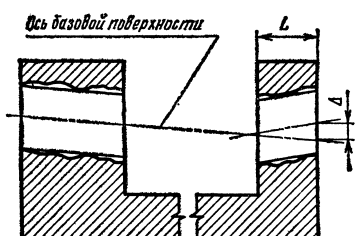
Отклонение и допуск наклона

Отклонение наклона плоскости относительно плоскости или оси (или прямой)	Отклонение угла между плоскостью и базовой плоскостью или базовой осью (прямой) от номинального угла, выраженное в линейных единицах Δ на длине нормируемого участка
Допуск наклона	Наибольшее допускаемое значение отклонения наклона

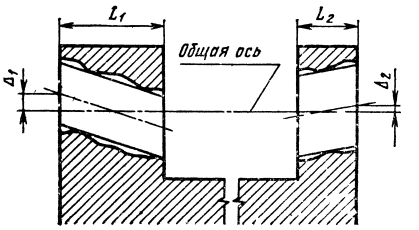
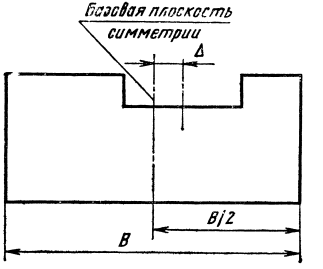


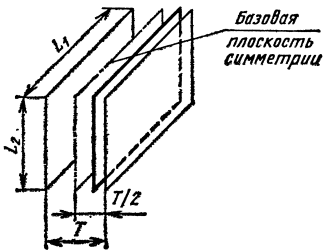
Отклонение от соосности и допуск соосности

Отклонение от соосности относительно оси базовой поверхности	Наибольшее расстояние Δ между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности на длине нормируемого участка

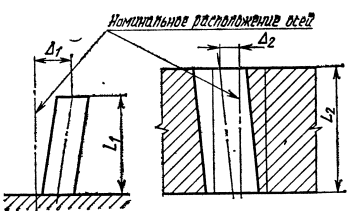


Продолжение табл. 2

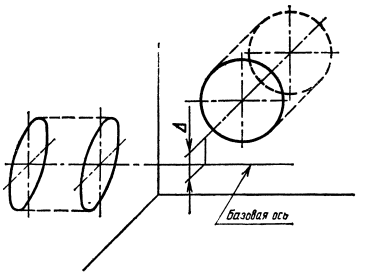
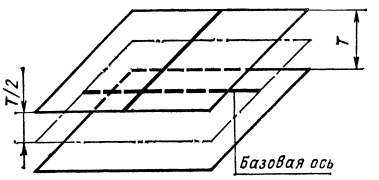
Термин	Определение	Эскиз
Отклонение от соосности относительно общей оси	Наибольшее расстояние (Δ_1, Δ_2, ...) между осью рассматриваемой поверхности вращения и общей осью двух или нескольких поверхностей вращения на длине нормируемого участка	
Допуск соосности	Допуск в диаметральном выражении — удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения от соосности. Допуск в радиусном выражении — наибольшее допускаемое значение отклонения от соосности	
Поле допуска соосности	Область в пространстве, ограниченная цилиндром, диаметр которого равен допуску соосности в диаметральном выражении или удвоенному допуску соосности в радиусном выражении, а ось совпадает с базовой осью	
Отклонение от симметричности и допуск симметричности		
Отклонение от симметричности относительно базового элемента	Наибольшее расстояние Δ между плоскостью симметрии (осью) рассматриваемого элемента (или элементов) и плоскостью симметрии базового элемента в пределах нормируемого участка	
Допуск симметричности	Допуск в диаметральном выражении — удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения от симметричности.	

	Допуск в радиусном выражении — наибольшее допускаемое значение отклонения от симметричности	
Поле допуска симметричности	Область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску симметричности в диаметральном выражении T или удвоенному допуску симметричности в радиусном выражении $T/2$, и симметричная относительно базовой плоскости симметрии или базовой оси	

Позиционное отклонение и позиционный допуск

Позиционное отклонение	Наибольшее расстояние Δ между реальным расположением элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка	
Позиционный допуск	Допуск в диаметральном выражении — удвоенное наибольшее допускаемое значение позиционного отклонения элемента. Допуск в радиусном выражении — наибольшее допускаемое значение позиционного отклонения элемента	

Продолжение табл. 2

Термин	Определение	Эскиз
Отклонение от пересечения и допуск пересечения осей		
Отклонение от пересечения осей Допуск пересечения осей	Наименьшее расстояние Δ между осями, номинально пересекающимися Допуск в диаметральном выражении — удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения от пересечения осей. Допуск в радиусном выражении — наибольшее допускаемое значение отклонения от пересечения осей	
Поле допуска пересечения осей	Область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску пересечения в диаметральном выражении T или удвоенному допуску пересечения в радиусном выражении $T/2$, и расположенными симметрично относительно базовой оси	

3. Знаки обозначения допусков

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуски формы	Допуск плоскостности	
	Допуск прямолинейности	
	Допуск цилиндричности	
	Допуск круглости	
	Допуск профиля продольного сечения	
Допуски расположения	Допуск параллельности	
	Допуск перпендикулярности	
	Допуск соосности	
	Допуск пересечения осей	
	Допуск симметричности	
	Позиционный допуск	

Продолжение табл. 43

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального биения Допуск торцового биения Допуск биения в заданном сечении	
	Допуск полного радиального биения Допуск полного торцового биения	
	Допуск формы заданного профиля	
	Допуск формы заданной поверхности	

ется допуск или какое-либо еще необходимое обозначение. Зависимый допуск обозначается буквой *M* в кружке и указывается в прямоугольной рамке рядом с величиной допускаемого отклонения.

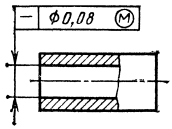
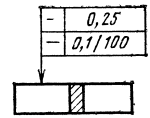
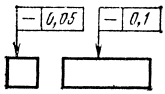
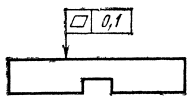
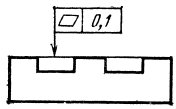
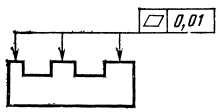
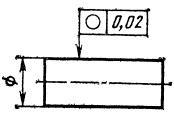
Если на чертеже большинство допусков расположения зависимы, то независимые допуски обозначаются буквой *S* в кружке рядом с величиной отклонения.

Условные обозначения на чертежах допусков формы и расположения поверхностей приведены в табл. 4.

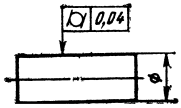
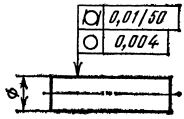
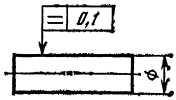
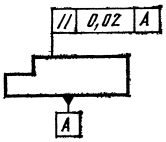
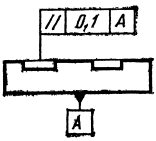
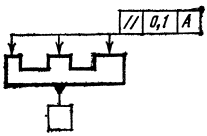
В текстовой части дается краткое наименование заданного отклонения и буквенное обозначение или наименование параметра (например, поверхности), для которого задается отклонение и его числовая величина. Если допускаемое отклонение относится к расположению поверхностей, то показываются еще и базы, относительно которых задано отклонение. В этом случае базой может быть поверхность, линия, общая ось, плоскость симметрии и др.

Преимущественно в качестве баз должны использоваться реальные поверхности деталей, свободные для контроля,

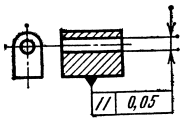
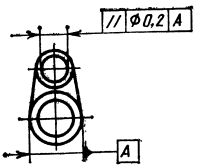
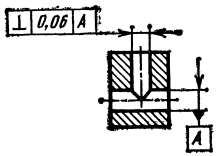
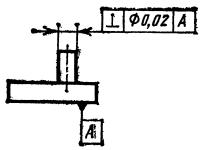
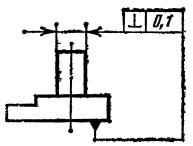
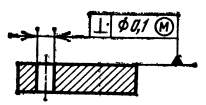
4. Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей на чертежах

Допуск прямолинейности		Допуск прямолинейности оси отверстия ⌀ 0,08 мм (зависимый допуск)
		Допуск прямолинейности поверхности 0,25 мм на всей длине и 0,1 мм на длине 100 мм
		Допуск прямолинейности поверхности в поперечном направлении 0,05 мм, в продольном направлении 0,1 мм
Допуск плоскостности		Допуск плоскостности поверхности 0,1 мм
		Допуск плоскостности поверхностей относительно общей прилегающей плоскости 0,1 мм
		Допуск плоскостности каждой поверхности 0,01 мм
Допуск круглости		Допуск круглости вала 0,02 мм

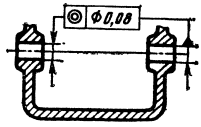
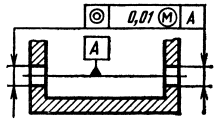
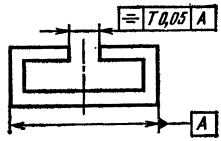
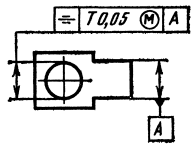
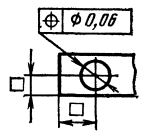
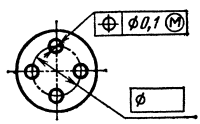
Продолжение табл. 4

Допуск цилиндричности		Допуск цилиндричности вала 0,04 мм
		Допуск цилиндричности вала 0,01 мм на длине 50 мм. Допуск круглости вала 0,004 мм
Допуск профиля продольного сечения		Допуск профиля продольного сечения вала 0,1 мм
Допуски параллельности		Допуск параллельности поверхности относительно поверхности *А* 0,02 мм
		Допуск параллельности общей прилегающей плоскости поверхностей относительно поверхности *А* 0,1 мм
		Допуск параллельности каждой поверхности относительно поверхности *А* 0,1 мм

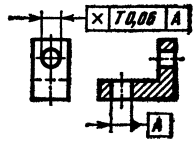
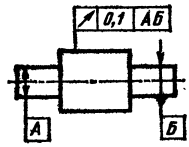
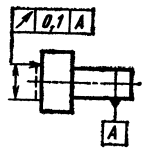
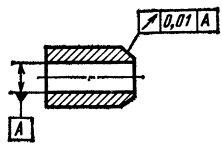
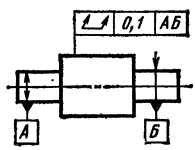
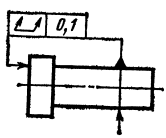
Продолжение табл. 4

Допуск параллельности		Допуск параллельности оси отверстия относительно основания 0,05 мм
		Допуск параллельности оси отверстия относительно оси отверстия *A* ∅ 0,2 мм
Допуск перпендикулярности		Допуск перпендикулярности оси отверстия относительно оси отверстия *A* 0,06 мм
		Допуск перпендикулярности оси выступа относительно поверхности *A* ∅0,02 мм
		Допуск перпендикулярности оси выступа относительно основания 0,1 мм
		Допуск перпендикулярности оси отверстия относительно поверхности ∅ 0,1 мм (зависимый допуск)

Продолжение табл. 4

Допуск соосности		Допуск соосности отверстия относительно отверстия ⌀ 0,08 мм
		Допуск соосности двух отверстий относительно их общей оси ⌀ 0,01 м (зависимый допуск)
Допуск симметричности		Допуск симметричности паза T 0,05 мм. База — плоскость симметрии поверхности A
		Допуск симметричности отверстия T 0,05 мм (зависимый допуск). База — плоскость симметрии поверхности A
Позиционный допуск		Позиционный допуск оси отверстия ⌀ 0,06 мм
		Позиционный допуск четырех отверстий ⌀ 0,1 мм (зависимый допуск)

Продолжение табл. 4

Допуск пересечения осей		Допуск пересечения осей отверстий *Т* 0,06 мм
Допуск радиального биения		Допуск радиального биения поверхности относительно общей оси поверхностей *А* и *Б* 0,1 мм
Допуск торцового биения		Допуск торцового биения на диаметре 20 мм относительно оси поверхности *А* 0,1 мм
Допуск биения в заданном направлении		Допуск биения конуса относительно оси отверстия *А* в направлении, перпендикулярном к образующей конуса, 0,01 мм
Допуск полного радиального биения		Допуск полного радиального биения относительно общей оси поверхности *А* и *Б* 0,1 мм
Допуск полного торцового биения		Допуск полного торцового биения поверхности относительно оси поверхности 0,1 мм

Для каждого вида допусков формы и расположения поверхностей по ГОСТ 24642—81 установлены 16 степеней точности. Числовые значения допусков регламентированы ГОСТ 24643—81. Отклонения формы и расположения поверхностей принято обозначать буквой греческого алфавита «дельта» Δ, а допуск и поле допуска формы и расположения — буквой латинского алфавита *T*.

Нормирование точности в строительстве имеет определенные особенности. На проектирование зданий и соору-

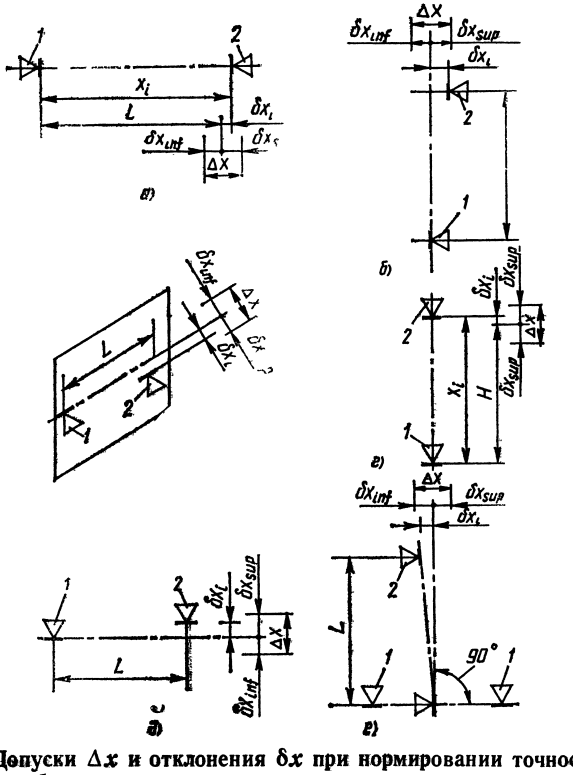


Рис. 2. Допуски Δx и отклонения δx при нормировании точности разбивочных работ:

а — для разбивки точек и осей в плане; *б* — для передачи точек и осей по вертикали; *в* — для створности точек; *г* — для высотных отметок; *д* — для передачи высоких отметок; *е* — для перпендикулярности осей: *1* — ориентир, принимаемый за начало отсчета; *2* — ориентир, устанавливаемый в результате передачи

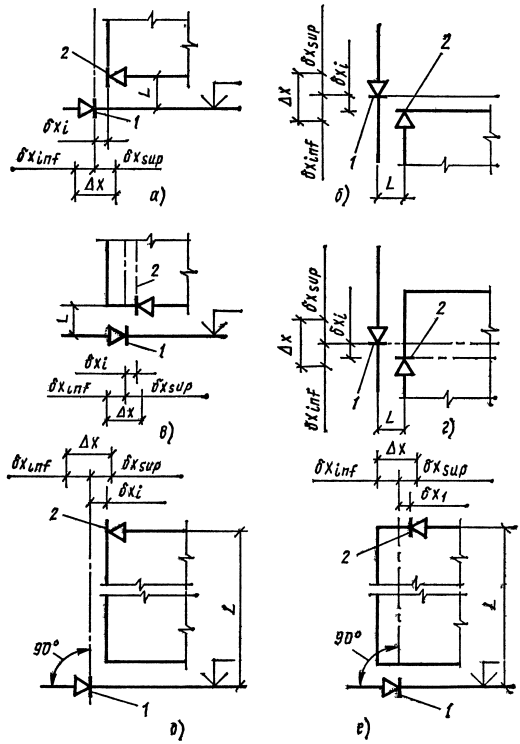


Рис. 3. Допуски совмещения Δx и отклонения δx_i от совмещения ориентиров при установке:

а — поверхности элемента в плане; *б* — поверхности элемента по высоте; *в* — заданной оси элемента в плане; *г* — оси элемента по высоте; *д* — угловой точки элемента в плане относительно заданной оси; *е* — оси элемента в плане относительно заданной оси; *1* — ориентир, принимаемый за начало отсчета; *2* — ориентир устанавливаемого элемента

жений, изготовление и сборку их элементов, выполнение разбивочных работ для строительства и монтажа технологического оборудования распространяются стандарты «Системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве» (СОТГПС). Стандарты этой системы устанавливают принципы нормирования, номенклатуру и значения технологических допусков геометрических параметров. Для линейных размеров использованы те же принципы построения допусков, однако значения

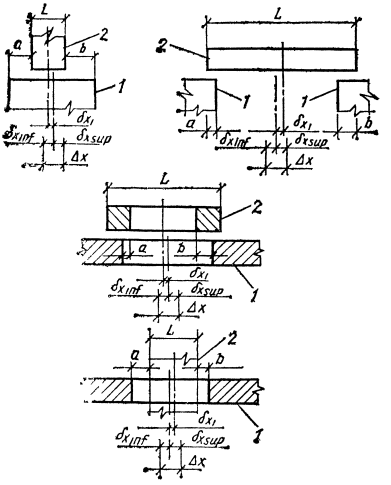


Рис. 4. Допуски симметричности Δx и отклонения δx_i от симметричности $\left(\delta x_i = \frac{a-b}{2}\right)$ установки элементов:

1 — установленный элемент; *2* — устанавливаемый элемент

допусков разделены на девять классов точности. Точность формы поверхности в этой системе характеризуют допусками прямолинейности и плоскостности, а также отклонениями от прямолинейности и от плоскостности. При этом отклонения могут отсчитываться не только от прилегающего элемента (прямой или плоскости), но и от условного элемента, проходящего через три крайние точки реальной поверхности. Для допусков прямолинейности установлено девять классов точности. Точность взаимного расположения поверхностей элементов также регламентирована девятью классами точности на допуски перпендикулярности.

В системе стандартов СОТГПС отдельно установлена точность выполнения разбивочных работ, которая характеризуется допусками Δx и предельными отклонениями (δx_{sup} — верхнее отклонение и δx_{inf} — нижнее отклонение) разбивки точек и осей в плане, а также их передачи по вертикали, допусками створности и предельными отклонениями от створности, допусками и предельными отклонениями разбивки и передачи высотных отметок, допусками и предельными отклонениями от перпендикулярности осей. Схемы нормирования допусков Δx и отклонений δx_i при разбивочных работах показаны на рис. 2. Допуски разбивочных работ регламентированы ГОСТ 21779—82 для шести классов точности.

В системе СОТГПС точность выполнения строительных и монтажных работ при возведении зданий, сооружений и их элементов характеризуется допусками Δx и отклонениями δx_i совмещения ориентиров (рис. 3) и

симметричности установки элементов, а также их отклонениями от совмещения и от симметричности (рис. 4). Под ориентирами понимают поверхности, точки, оси, линии, риски и т. п.; допуски разбиты на шесть классов точности.

2. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ

При метрологическом обеспечении точности достигается:

повышение качества изделий монтажного производства, эффективности управления и технического уровня производственных процессов;

взаимозаменяемость, повышение качества приемочного контроля и его достоверности, создания условий для развития специализации производства;

повышение эффективности испытаний;

достоверность учета и эффективности использования материльных ценностей и энергетических ресурсов;

повышение эффективности мероприятий по нормированию и контролю условий труда, охране окружающей среды.

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Значение величины, полученное в результате измерения, выражают через число, показывающее, сколько раз единица измерения содержится в измеряемой величине.

Для того чтобы можно было сравнить или оценить результаты измерений каких-либо параметров изделий, их значение должно быть выражено в одних и тех же единицах, а результаты измерений, иногда выполняемых в различных условиях должны иметь достаточную точность.

Значение физической величины — оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Различают истинное и действительное значение физической величины.

Истинное значение физической величины — значение, которое идеальным образом отражает в качественном и

количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Действительное значение физической величины — значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него. В технике за действительный размер принимают не всякий результат его измерения, а только значение измерения, погрешность которого не более допускаемой.

Единица физической величины — физическая величина, которой по определению дано числовое значение, равное единице.

Производная единица физической величины — единица производной физической величины, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из других единиц данной системы.

Система единиц физических величин — совокупность основных и производных единиц, относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами. Например, международная система единиц (СИ).

Сопоставимость результатов, полученных в науке и технике (в том числе при выполнении производственных процессов), достигается обеспечением *единства измерений* — состояния измерений, при которых их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности известны с заданной вероятностью. Единство измерений достигается метрологическим обеспечением — одной из основных частей комплексной системы управления качеством продукции. Научной основой метрологического обеспечения является метрология, а технической основой — система эталонов единиц физических величин.

Эталон — средство измерений, обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение физической единицы с целью передачи ее размера нижестоящими по поверочной схеме средствами измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Если эталон воспроизводит единицу с наивысшей в стране точностью, то он называется *первичным*.

Эталоны, значения которых установлены по первичному эталону, называются *вторичными*. Они создаются и утверждаются для организации поверочных работ и для обеспечения сохранности и наименьшего износа государственного эталона.

Вторичные эталоны по своему метрологическому назначению делятся на эталоны-копии, эталоны сравнения, эталоны-свидетели и рабочие эталоны.

Эталон-копия предназначен для хранения единицы и передачи ее размера рабочим эталонам.

Эталон сравнения применяется для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть сличаемы друг с другом.

Эталон-свидетель применяется для проверки сохранности государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты.

Рабочий эталон применяется для хранения единицы и передачи ее размера образцовым средствам измерения высшей точности и при необходимости — наиболее точным рабочим мерам и измерительным приборам.

Образцовое средство измерений — мера, измерительный прибор или измерительный преобразователь, служащие для поверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

Порядок, точность и методы передачи единиц физических величин, соподчиненность эталонов и средств измерений называют поверочной схемой.

Принцип построения поверочной схемы показан на рис. 5. Задача поверочной схемы — обеспечение необходимой точности рабочих средств измерений, непосредственно применяемых в производстве, в том числе и на монтажных работах.

Рабочее средство измерений применяется для измерений, не связанных с передачей размера единицы, т. е. для технических измерений непосредственно на производстве или в лабораториях (микрометр, штангенциркуль, рулетка).

Поверка средств измерений — определение погрешностей средств измерений и установление его пригодности к применению.

Различают категории поверки: государственную, ведомственную, первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную и др.

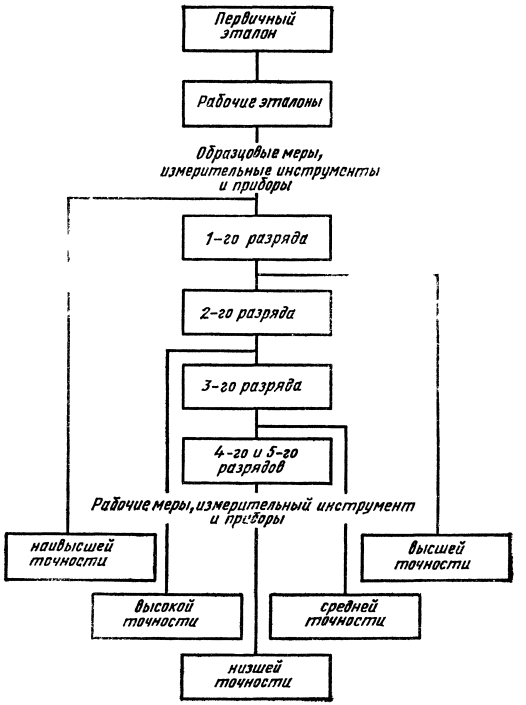


Рис. 5. Схема передачи размеров единиц от первичных эталонов рабочим мерам и измерительным средствам

Заданная точность выполнения монтажных технологических процессов и операций, заготовительных, слесарных, сборочных и вспомогательных работ может быть достигнута лишь в результате предварительного осуществления при подготовке производства полного комплекса мероприятий по метрологическому обеспечению работ.

Метрологическое обеспечение подготовки производства монтажных работ — это комплекс организационно-технических мероприятий, обеспечивающих определение с требуемой точностью геометрических характеристик монтируемых изделий и технологических процессов и позволяющих добиться значительного повышения качества монтажа и снижения непроизводительных затрат.

Мероприятия по метрологическому обеспечению подготовки производства осуществляют на основе стандартов различного уровня и инструктивно-производственной документации. В составе указанных мероприятий предусмотрено: 1) установление рациональной номенклатуры измеряемых параметров и норм точности измерений, обеспечивающих достоверность входного и приемочного контроля, характеристик и результатов технологических процессов (например, выверки на отдельных ее этапах); 2) обеспечение технологических процессов наиболее эффективными методиками измерений, средствами измерений; разработки и изготовления нестандартизованных средств контроля; метрологического обслуживания и, прежде всего, поверки средств измерений; условий выполнения измерений; 3) подготовка производственного персонала к выполнению контрольно-измерительных операций; 4) организация и проведение метрологического контроля или экспертизы документации.

При монтаже оборудования и выполнении вспомогательных работ необходимый уровень их качества и, прежде всего, требуемой точности достигается соблюдением технологической дисциплины, правильным выбором методов и средств измерений, квалифицированным их применением с соблюдением основных метрологических правил. Для этой цели необходимо знать основные метрологические понятия и характеристики применяемых методов и средств измерений, принципы их выбора, понимать основные законы формирования погрешностей измерений, уметь применять аттестованные или рекомендуемые технологической документацией методы контроля точности различных видов геометрических параметров.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ

Базы и базирование при монтаже. Достижение требуемого положения оборудования при монтаже обеспечивают в процессе его *установки* в проектное положение, включающего в себя *базирование* и *закрепление*.

Следует различать установку в проектное положение от предварительной (для последующей выверки) установки оборудования на фундаменты с помощью грузоподъемных средств.

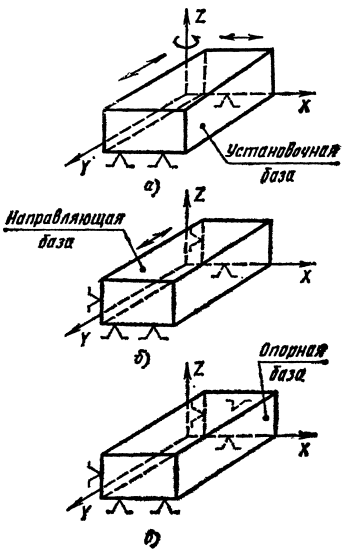


Рис. 6. Установка элемента в прямоугольной системе координат:

а — с неполной ориентацией при использовании установочной базы; *б* — с неполной ориентацией при использовании установочной и направляющей базы; *в* — с полной ориентацией при использовании установочной, направляющей и опорной базы

Базирование — придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат. В условиях монтажной площадки при базировании достигается требуемое положение оборудования относительно выбранной системы координат, а в результате *закрепления*, осуществляемого приложением сил или пар сил к монтируемому элементу, обеспечивается постоянство его положения, достигнутого при базировании. Иногда вместо термина «базирование» применяют его синоним «ориентирование».

Базирование оборудования и контроль точности его положения осуществляются с помощью баз, которые специально выделяют в конструкторской и технологической документации.

База — поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, используемые для базирования. При монтаже базы определяют положение заготовки, детали, узла или оборудования в процессе сборки, установки и контроля точности.

Для того чтобы придать монтируемому элементу (плите, станине, корпусной детали и т. п.) заданное вертикальное положение, необходимо установить его опорную поверхность на три опоры или три опорных точки (рис. 6, *а*). Это лишает возможности элемент перемещаться в вертикальной плоскости и поворачиваться вокруг двух взаимно перпендикулярных горизонтальных осей (элемент лишается трех степеней свободы вследствие наложения трех связей). Под связями подразумевают

ограничения на движение рассматриваемого тела. Перемещение тела ограничивают *позиционными связями*, а скорость перемещения — *кинематическими связями*. При этом связи являются двусторонними, т. е. при перемещении тела контакт его поверхности с наложенной связью не нарушается. Базу монтируемого элемента, находящуюся в контакте с *тремя* опорными точками, лишающими его трех степеней свободы, принято называть *установочной*. Установленный подобным способом элемент может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости и поворачиваться относительно вертикальной оси. Если рассматриваемый элемент лишить еще двух степеней свободы, добавив две опорные точки, расположенные по боковой вертикальной плоскости, то у него останется возможность перемещаться в горизонтальном направлении вдоль рассматриваемой боковой поверхности. Базу, находящуюся в контакте с *двумя* опорными точками и лишающую элемент двух степеней свободы, называют *направляющей базой* (рис. 6, *б*). Для того чтобы ориентация рассматриваемого элемента полностью была определена, необходимо лишить его возможности перемещаться в горизонтальной плоскости вдоль направляющей базы, т. е. наложить еще одну связь, добавив одну опорную точку по торцовой боковой поверхности. Эта поверхность будет опорной базой, имеющей контакт с одной опорной точкой и лишающей элемент одной степени свободы (рис. 6, *в*).

Базу, выбранную при проектировании изделия, технологического процесса его изготовления или ремонта, называют *проектной*.

Погрешность базирования — отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого.

Погрешность установки — отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого.

Действительная база — база, фактически используемая в конструкции при изготовлении, эксплуатации или ремонте изделия.

Технологическая база—база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления, монтажа или ремонта.

Технологическую базу, используемую для определения положения и ориентации изделия или его элемента в процессе монтажа, называют *монтажной базой.*

Базы могут быть *скрытыми* и *явными.* Скрытой называют базу изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки, а явной — базу в виде реальной поверхности, разметочной риски, оси или точки.

Среди монтажных баз следует различать *основные* и *вспомогательные* базы.

Монтажные базы, принадлежащие устанавливаемому оборудованию (детали), являются *основными*, а принадлежащие элементам строительных конструкций или ранее установленному оборудованию (его деталям), т. е. те, с которыми сопрягается основными базами присоединяемая деталь, узел, машина и др., являются *вспомогательными* базами.

Для определения пространственного положения оборудования на месте эксплуатации необходимо иметь комплекты баз, образующих систему координат оборудования (детали), и (или) систему координат, относительно которой осуществляют базирование и измерения.

При выборе баз их выявление, назначение и использование осуществляют применительно к конкретным операциям или процессам с учетом конструктивных особенностей оборудования и условий монтажа.

Базы, используемые при установке оборудования (детали) в проектное положение на месте эксплуатации, следует разделять на *монтажные* и *контрольные.* По монтажным базам осуществляют сопряжение (стыковку) узлов и деталей при установке и укрупнительной сборке оборудования. Деталь, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней сборочные единицы или другие детали, называют *базовой.* При монтаже в качестве базовых наиболее часто используют корпусные детали и станины.

Для определения положения монтируемого элемента (оборудования, детали) при измерениях используют контрольные базы.

В монтажной документации, технологических картах и проектах производства работ контрольные базы разделяют на *выверочные* (проверочные) и *измерительные.*

Выверочной (проверочной) базой является контрольная база, принадлежащая монтируемому элементу и слу-

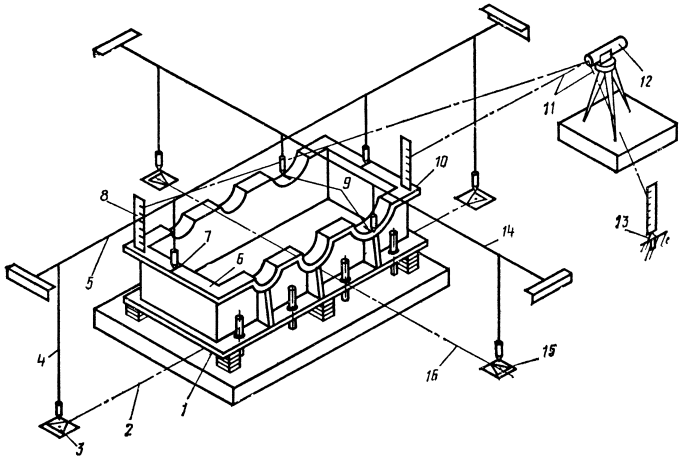


Рис. 7. Схема выверки корпуса редуктора:

1 — основание корпуса редуктора (основная монтажная база); *2* — поперечная ось редуктора (геодезическая основа); *3* — плашка закрепления поперечной оси (основная измерительная база для выверки редуктора в плане); *4* — отвес для вынесения струны; *5* — струна для вынесения монтажной поперечной оси редуктора; *6* — разъем корпуса редуктора (вспомогательная монтажная база для присоединения крышки); *7* — риска, фиксирующая поперечную ось редуктора; *8* — малогабаритная нивелирная рейка-линейка; *9* — риски, фиксирующие оси расточек подшипников тихоходного вала редуктора (выверочная база для установки корпуса редуктора в плане); *10* — выверочная база корпуса редуктора для его установки по высоте и горизонтали (плоскость разъема); *11* — визирные оси нивелира (вспомогательные измерительные базы); *12* — нивелир; *13* — репер (основная измерительная база для установки по высоте и горизонтали); *14* — струна для вынесения монтажной продольной оси привода; *15* — плашка закрепления оси привода (основная измерительная база для выверки редуктора в плане); *16* — оси привода (геодезическая основа)

жащая для установки накладных измерительных средств и контрольных приспособлений. По положению выверочной базы судят о правильности положения оборудования, его узла или детали.

В качестве *измерительных* используют контрольные базы, не принадлежащие монтируемому элементу, т. е. элементы строительных конструкций или базы ранее смонтированного агрегата, относительно которых задают требуемое или контролируют фактическое положение оборудования (детали).

Схема выверки корпуса редуктора приведена на рис. 7. Основной монтажной базой является основание корпуса редуктора, соприкасающееся с выверочными под-

кладками. По числу накладываемых связей (три) это установочная база.

Разъем корпуса служит вспомогательной монтажной базой, по которой присоединяют крышку редуктора. При монтаже крышки поверхность ее разъема будет основной монтажной базой. При установке корпуса редуктора в плане используют выверочные базы — риски, нанесенные по его осям. Поверхность разъема редуктора является выверочной базой для его установки по высоте и горизонтали.

Контрольными измерительными базами при выверке редуктора служат оси геодезической основы, закрепленные на плашках, и высотный репер. Рабочие оси для удобства выверки материализованы в виде струн и отвесов.

Методы достижения заданной точности при монтаже. Принятая технология и используемые базы при монтаже оборудования должны обеспечивать достижение требуемой точности его положения на месте эксплуатации с наименьшими трудовыми и материальными затратами.

В качестве основы для выбора контрольных баз, технологии выверки и разработки требований по обеспечению точности при подготовке производства монтажных работ используют правила базирования, расчеты и анализ соответствующих размерных цепей с учетом особенностей монтажа.

Процессы базирования и требования к базам при установке оборудования или его деталей различают в зависимости от применяемых методов достижения точности (взаимозаменяемости или компенсации) по каждому из контролируемых при монтаже параметров (размер, отклонение расположения).

Метод взаимозаменяемости при установке оборудования (деталей) предполагает достижение заданной точности контролируемого параметра путем соединения монтажных баз без использования регулировочных и пригоночных операций.

Метод компенсации при установке оборудования (деталей) предполагает достижение заданной точности контролируемого параметра путем изменения размера или положения одного из сопрягаемых элементов при использовании пригоночных или регулировочных операций.

Выбор контрольных баз должен проводиться с учетом погрешностей, возникающих при их использовании для контроля относительного положения исполнительных поверхностей в процессе установки и укрупнительной сборки оборудования.

В качестве выверочных (проверочных) баз следует максимально использовать наружные поверхности оборудования или специальные обработанные участки на них, исключающие необходимость непроизводительных затрат по его разборке.

Мероприятия по технологическому обеспечению точности установки оборудования, связанные с анализом и назначением норм точности на положение монтажных баз, должны быть, в первую очередь, направлены на создание условий для реализации метода взаимозаменяемости (безвыверочного монтажа).

Точность контролируемых параметров с использованием метода компенсации должна быть обеспечена выбором рациональных конструкций регулировочных устройств на основе определения необходимой компенсации и точности регулировки

При разработке технологии монтажа оборудования, поставляемого в виде отдельных узлов или блоков, т. е. с установкой базовой детали на месте эксплуатации (станины, рамы и т. д.) и последующей укрупнительной сборкой, учитывают, что допуски на положение базовой детали должны быть увязаны точностными расчетами с допусками на положение исполнительных поверхностей с учетом погрешностей деталей, устанавливаемых при укрупнительной сборке.

При выверке оборудования, при выборе технологии контроля положения монтируемых элементов учитывают точность изготовления контрольных баз и их связь с узлами, деталями или их поверхностями, положение которых задано в технической документации.

Возможность реализации метода взаимозаменяемости при монтаже или максимальное исключение пригоночных работ определяется точностью изготовления элементов оборудования и обоснованным назначением допусков на его монтаж. В процессе технологической подготовки производства монтажных работ к поставляемому оборудованию могут быть предъявлены требования монтажной техноло-

гичности по критерию точности. Выбор рациональной технологии выверки оборудования, баз при его установке и контроле точности, назначение монтажных допусков и требований к качеству изготовления оборудования и его деталей выполняют на основе анализа точности.

Размерные цепи. Расчет размерных цепей является основным методом точностного анализа при конструировании оборудования, изготовлении его деталей, сборке и монтаже.

Размерной цепью называют совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур. Обозначается размерная цепь прописной буквой русского или строчной буквой греческого (кроме букв α, δ, ξ, λ, ω) алфавитов без индексов (A, $Б$, ... или β, j, ...).

Звено размерной цепи — один из размеров, образующих размерную цепь. Обозначается оно той же буквой, что и размерная цепь, но с применением индексов 1, 2, 3, ..., n или других. Например, A_1, A_2, A_3, ..., A_n.

Замыкающее звено — звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения. Обозначается это звено буквой с индексом $\Delta(\sum)$. Например, A_Δ, β_Δ или A_Σ, β_Σ.

Прописные буквы русского алфавита применяют для обозначения линейных размерных цепей и их звеньев, которыми являются линейные размеры. Строчные буквы греческого алфавита применяют для обозначения угловых размерных цепей и их звеньев, когда звеньями являются угловые размеры.

Увеличивающееся (уменьшающееся) звено — составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается (уменьшается).

Компенсирующее звено — составляющее звено размерной цепи, изменением которого достигается требуемая точность замыкающего звена. Обозначается это звено, как и составляющее, но с буквой, заключенной в прямоугольник.

Общее звено — звено, одновременно принадлежащее нескольким размерным цепям.

Плоская размерная цепь — размерная цепь, звенья которой расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях.

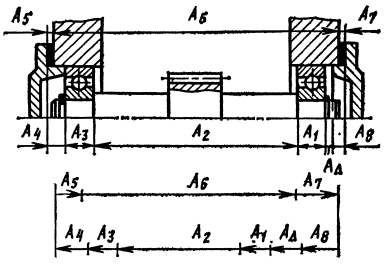


Рис. 8. Сборочная плоская размерная цепь

Пространственная размерная цепь — размерная цепь, звенья которой расположены в непараллельных плоскостях.

Параллельно связанные размерные цепи имеют одно или несколько общих звеньев, а последовательно связанные — одну общую базу с предыдущей.

В зависимости от цели расчета размерных цепей их разделяют на конструкторские, технологические и измерительные.

Конструкторская размерная цепь — размерная цепь, определяющая расстояние или относительный поворот между поверхностями или осями поверхностей деталей в изделии при конструировании.

Технологическая размерная цепь — размерная цепь, обеспечивающая требуемое расстояние или относительный поворот между поверхностями изготовляемого изделия при выполнении операции или ряда операций какого-либо технологического процесса (обработки, сборки, установки и т. д.).

Измерительная размерная цепь — размерная цепь, возникающая при определении расстояния или относительного поворота между поверхностями, их осями или образующими поверхностей изготовляемого или изготовленного изделия. Измерительная размерная цепь связывает измерительную базу, исполнительные поверхности средств измерения и контрольную базу.

В качестве примера на рис. 8 показана сборочная плоская размерная цепь, определяющая величину замыкающего звена — зазора A_Δ между крышкой подшипника и наружным кольцом. Звенья A_5, A_6, A_7 являются увеличивающими, а звенья A_1, A_2, A_3, A_4, A_8 уменьшающими. В этой размерной цепи, уменьшая или увеличивая толщину прокладок, можно изменять величину зазора, поэтому звенья A_5 и A_7 могут служить компенсаторами. Зная характеристики точности отдельных звеньев, с помощью расчета размерной цепи можно решать разно-

образные задачи. При решении *прямой задачи* заданы точностные параметры, т. е. допуск, поле рассеяния, предельные отклонения замыкающего звена, а определяют параметры составляющих звеньев. *В обратной задаче* по заданным точностным параметрам составляющих звеньев определяют параметры замыкающего звена. Расчеты размерных цепей в зависимости от характера решаемых задач выполняют методом *максимума-минимума* (для обеспечения *полной взаимозаменяемости*) или *вероятностным методом* (для обеспечения *неполной взаимозаменяемости*).

Основы расчета размерных цепей. Наиболее простой вид имеют расчетные формулы для наиболее часто встречающихся плоских размерных цепей с параллельными звеньями при их решении методом максимума-минимума.

При применении метода максимума-минимума (полной взаимозаменяемости) требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается у всех без исключения объектов при включении в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или какой-либо подгонки. Метод исходит из предположения, что в одной размерной цепи одновременно могут оказаться все звенья с предельными значениями, причем в любом из двух наиболее неблагоприятных сочетаний (все увеличивающие звенья с верхними предельными размерами, а уменьшающие — с нижними или наоборот).

В этом случае номинальный размер замыкающего звена

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} k_i A_i = k_1 A_1 + k_2 A_2 + k_3 A_3 + \dots + k_i A_i,$$

где i — номер замыкающего звена; $i = 1, 2, 3, \dots, m-1$; m — общее число звеньев в размерной цепи, включая замыкающее; k_i — передаточное отношение, равное $k = +1$ для увеличивающих звеньев и $k = -1$ для уменьшающих звеньев размерной цепи.

При числе увеличивающих звеньев n в размерной цепи и уменьшающих звеньев p номинальный размер замыкающего звена

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{n} A_i - \sum_{i=1}^{p} A_i.$$

Например, для размерной цепи, показанной на рис. 8, увеличивающие звенья $n = 5, 6, 7$, а уменьшающие звенья $p = 1, 2, 3, 4$ и 8. Для этого случая номинальный размер замыкающего звена

$$A_\Delta = A_5 + A_6 + A_7 - A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_8.$$

Допуск замыкающего звена $T_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} T_i = T_1 + T_2 + T_3 + \ldots + T_i$, т. е. в плоской размерной цепи с параллельными звеньями допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех составляющих звеньев.

Предельные верхние ES_i и нижние EI_i отклонения составляющих звеньев и соответствующие отклонения замыкающего звена связаны соотношением

$$ES_\Delta = \sum_{i=1}^{n} ES_i - \sum_{i=1}^{p} EI; \quad EI_\Delta = \sum_{i=1}^{n} EI - \sum_{i=1}^{p} ES_i.$$

Предельные размеры замыкающего звена

$$A_{\Delta\,\max} = A_\Delta + ES_\Delta, \quad A_{\Delta\,\min} = A_\Delta + EI_\Delta.$$

Координата середины поля допуска замыкающего звена

$$E_c = \sum_{i=1}^{m-1} k_i A_{0i} = \sum_{i=1}^{n} A_{0i} - \sum_{i=1}^{p} A_0.$$

Если в плоской размерной цепи звенья не параллельны, то передаточное отношение k_i не равно единице. В этом случае оно показывает, как изменяется замыкающее звено при изменении i-го составляющего звена, и определяется отношением указанных приращений.

При применении *вероятностного метода* (неполной взаимозаменяемости) требуемая точность замыкающего звена размерной цепи в условиях беспригоночной сборки достигается не у всех узлов, а лишь у достаточно большой, заранее обусловленной их части, например у 99,73% узлов, предполагая, что приблизительно у трех узлов из тысячи точность может быть и не обеспечена, т. е. задают процент риска p. Этот метод применяют, когда экономически целесообразно назначать более широкие допуски на составляющие звенья в предположении, что их дей-

ствительные размеры будут группироваться в более узких пределах по одному из вероятностных законов и процент риска выхода отклонений замыкающего звена за пределы поля допуска не превысит заранее принятого значения.

Обеспечить точность при сборке и монтаже различных изделий можно путем введения в их состав звена-компенсатора. Если для достижения требуемой точности замыкающего звена с компенсатора каждого объекта удаляют излишний в данном случае слой материала, то это метод пригонки. Если предусмотрена возможность изменять действительный размер компенсатора без снятия материала (подбором из ряда заранее изготовленных либо перемещением с последующей фиксацией), то это метод регулирования.

Можно также применять метод групповой взаимозаменяемости, при котором точность замыкающего звена достигается в результате включения в размерную цепь отдельных составляющих звеньев, предварительно рассортированных по действительным размерам на группы. Однако этот метод возможен лишь, когда собирается множество однотипных изделий.

При расчете размерных цепей вводят понятие относительного среднеквадратического отклонения λ_i, характеризующего закон рассеяния i-го размера, и коэффициент риска t. Коэффициент риска зависит от выбранного или заранее заданного процента риска: $t = 2{,}57$ при проценте риска $p = 1$; $t = 3{,}00$ при $p = 0{,}27$.

При расчете по вероятностному методу допуск замыкающего звена

$$T_\Delta = t\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} k_i^2 \lambda_i^2 T_i^2}.$$

Для наиболее часто встречающегося случая, когда $p = 0{,}27$ ($t = 3$), в расчетах плоских размерных цепей с параллельными звеньями допуск замыкающего звена

$$T_\Delta = 3\sqrt{\lambda_i^2 T_i^2}.$$

Для изделий мелкосерийного и единичного производства, когда о характере рассеяния звеньев размерной цепи ничего не известно, как это обычно бывает для мон-

тируемых изделий, $\lambda_i^1 = 1/3$, а для изделий крупносерийного производства $\lambda_i^2 = 1/9$.

При расчете размерных цепей отклонения и допуски расположения поверхностей учитывают, исходя из особенности их нормирования. Определения отклонений расположения даны выше. Действительное расположение рассматриваемых элементов характеризуют действительными размерами между рассматриваемым и базовым элементами или между рассматриваемыми элементами, если базы не заданы. Отклонение расположения элемента определяется отклонением прилегающего к нему элемента от его номинального расположения. В процессе рассмотрения отклонений расположения реальные поверхности заменяют прилегающими. При этом за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей деталей соответственно принимают оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов. За базовые элементы принимают плоскости или оси, определяющие одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой определяются отклонения расположения. Суммарное отклонение формы и расположения оценивают по точкам рассматриваемого элемента относительно прилегающих базовых элементов или их осей.

Допуски отклонений формы и расположения элементов, относящихся к одной детали, лежат в пределах допуска на размер. Допуски отклонений формы и расположения несопрягаемых деталей и элементов могут не являться составной частью допуска размера, определяющего расстояние между элементами, а их числовые значения могут превышать допуск соответствующего размера (расстояния).

При составлении и анализе размерных цепей для удобства расчета отклонения и допуски расположения поверхностей рекомендуется рассматривать как совокупность соответственно отклонений и допусков размеров, которыми характеризуется тот или иной тип расположения. Например, по ГОСТ 24642—81 отклонение от соосности относительно оси базовой поверхности определяют как наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности на длине нормируемого участка. В то же время в расчетах размерных цепей соосность характеризуют двумя разме-

рами: линейным (расстоянием, равным нулю между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности) и угловым (углом, равным нулю между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности), а отклонение от соосности рассматривают как совокупность отклонений этих размеров в соответствии с определениями.

Используя расчет размерных цепей, осуществляют выбор выверочных и монтажных баз, обосновывают принятую технологию монтажа и требования к точности изготовления базовых поверхностей.

Выбор контрольных баз. Контрольные базы (выверочные, измерительные), используемые при определении положения оборудования в процессе монтажа, должны обеспечивать возможность достоверного контроля относительного положения исполнительных поверхностей в пределах, регламентированных техническими условиями.

В случаях, когда допуски в технической документации указаны относительно неявных баз или поверхностей, применение которых для базирования измерительных средств требует разборки оборудования, а также при назначении рациональной технологии монтажа, осуществляют выбор контрольных баз.

Выверочные и действительные измерительные контрольные базы выбирают на основе анализа размерных связей, исходя из заданной точности расстояний и взаимного расположения исполнительных поверхностей оборудования и проектных измерительных баз. Для обеспечения достоверности контроля относительного положения исполнительных поверхностей монтируемого оборудования по результатам измерений точности расстояний или взаимного расположения контрольных баз должно соблюдаться следующее соотношение:

$$T \geqslant T_{в} + T_{р} + T_{м},$$

где T — заданный в технических условиях или инструкции завода-изготовителя допуск на положение исполнительных поверхностей устанавливаемого оборудования относительно проектной измерительной базы; $T_{в}$ — расчетный допуск, определяющий точность расстояний или взаимного расположения выверочной (проверочной) базы

и исполнительной поверхности оборудования; $T_р$ — расчетный допуск, определяющий точность расстояний или взаимного расположения между действительной и проектной измерительными базами; $T_м$ — монтажный допуск на положение выверочной (проверочной) базы относительно действительной измерительной базы.

Выбор выверочных баз наиболее эффективен, если его осуществляют на стадии технологической подготовки монтажных работ до заводского изготовления оборудования. При этом конструктивное оформление и точность привязки баз к исполнительным поверхностям отражают в конструкторской документации (инструкция на сборку и монтаж, установочные чертежи, паспорт, технические условия на изготовление и поставку).

В других случаях выбор действительных измерительных баз и назначение монтажных допусков осуществляют на стадии проектирования технологии монтажа и отражают в технологической монтажной документации: проекте производства работ, технологических картах и технологических схемах производства работ.

Назначаемые выверочные (проверочные) базы должны исключать необходимость разборки оборудования для «вскрытия» внутренних баз и обеспечивать при монтаже этого оборудования возможность контроля по наружным поверхностям или специально обрабатываемым участкам на них.

Внутренние базовые поверхности оборудования, применявшиеся при его сборке и обеспечивающие необходимую точность контроля положения исполнительных поверхностей, используют при монтаже только в тех случаях, когда результаты размерного анализа показывают невозможность использования в качестве выверочных баз наружных поверхностей оборудования. Для редуктора, поставляемого на монтаж в собранном виде (рис. 9), в табл. 5 приведены схемы размерных цепей для некоторых вариантов выбранных баз, применяемых при установке редуктора по высоте. При этом задан монтажный допуск $T_м$ на высотное положение оси вращения тихоходного вала редуктора.

Для рассмотренного редуктора в качестве выверочных баз могут быть использованы поверхности выступающего конца ведомого вала и опорная поверхность

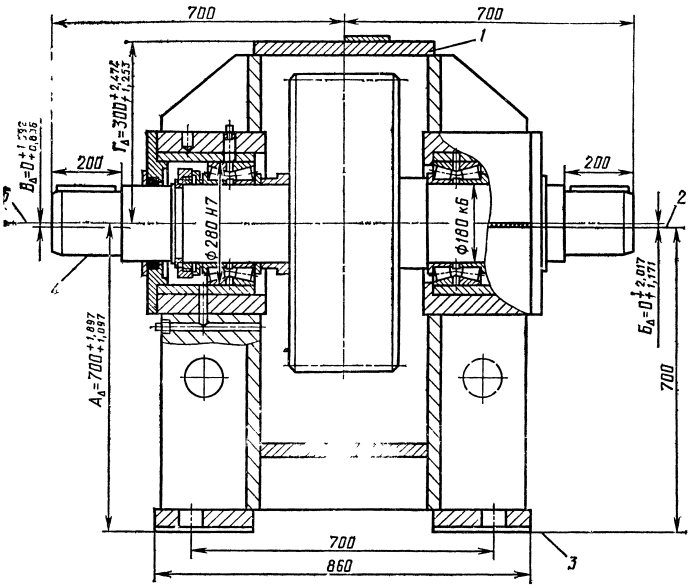
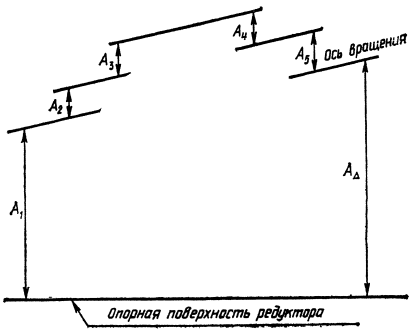


Рис. 9. Схема редуктора с вариантами выверочных баз:
1 — обработанная площадка; *2* — плоскость разъема; *3* — опорная поверхность; *4* — базовая поверхность выступающего конца вала; *5* — ось вращения вала

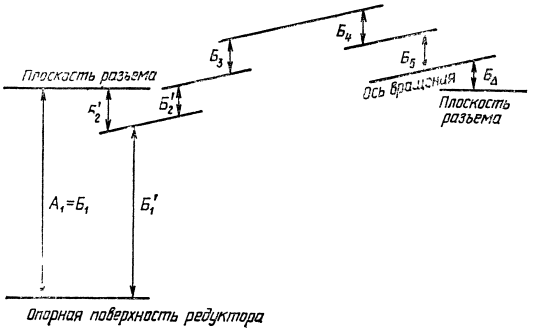
редуктора. Чем короче размерная цепь и меньше звеньев связывают исполнительные поверхности оборудования с выверочными и монтажными базами, тем меньше потери точности и бóльшие допускаемые отклонения можно задать для монтажа.

Наиболее эффективно использовать принципы совмещения (единства) и постоянства баз. При применении *принципа совмещения* для изготовления оборудования, его сборки, монтажа и контроля точности в качестве технологических баз принимают поверхности, которые одновременно являются конструкторскими, сборочными и измерительными базами.

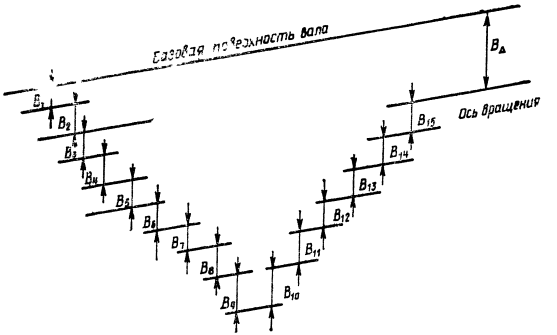
5. Размерные цепи при выборе выверочных баз

Выверочная база и замыкающее звено размерной цепи	Составляющие звенья размерной цепи	Схема размерной цепи
Опорная поверхность редуктора; A — расстояние от опорной поверхности до оси вращения вала	A_1 — расстояние от опорной поверхности корпуса до оси отверстий под опоры вала; A_2 — расстояние от общей оси отверстий под опоры вала до оси наружной поверхности стакана опоры (подшипника); A_3 — расстояние от оси наружной поверхности стакана до оси дорожки качения наружного кольца подшипника; A_4 — расстояние от оси дорожки качения наружного кольца подшипника левой опоры до такой же оси у правой опоры; A_5 — расстояние от оси дорожки качения наружного кольца подшипника правой опоры до оси вращения вала в точке, лежащей на выходном кольце этого вала	

Продолжение табл. 5

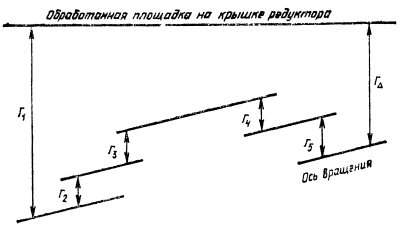
Выверочная база и замыкающее звено размерной цепи	Составляющие звенья размерной цепи	Схема размерной цепи
Плоскость разъема; $Б_\Delta$ — расстояние от плоскости разъема до оси вращения вала	$Б_2^1$ — расстояние от плоскости разъема до общей оси отверстий под подшипники (при растачивании технологической базой является плоскость разъема). Остальные составляющие звенья совпадают со звеньями размерной цепи A: $Б_2 = A_2$; $Б_3 = A_3$; $Б_4 = A_4$; $Б_5 = A_5$ или $Б_1' = A_1 + Б_2'$ (если при растачивании отверстий технологической базой является опорная поверхность корпуса)	
Поверхность выступающего конца вала; B_Δ — радиальное биение поверхности выступающего конца вала	B_1 — отклонение от цилиндричности поверхности конца вала; B_2 — отклонение от соосности поверхности конца вала и посадочной поверхности вала под левый подшипник; B_3 и B_{15} — отклонение от цилиндричности посадочных поверхностей вала под левый и	

правый подшипник; B_4 и B_{14} — несовпадение центров дорожек качения и отверстий внутренних колец подшипников; B_5 и B_{13} — несовпадение центров дорожек качения и посадочных поверхностей для наружных колец подшипников; B_6 и B_{12} — смещение осей наружных колец подшипников в стаканах; B_7 и B_{11} — несовпадение центров наружных и внутренних поверхностей для стаканов; B_8 и B_{10} — смещение осей стаканов в посадочных отверстиях; B_9 — несовпадение центров отверстий опор под подшипники



Специально обработанные площадки на крышке корпуса редуктора; $Г_\Delta$ — отклонение расстояния от площадки на крышке до оси вращения вала в точке, лежащей на его выходном конце

$Г_1$ — расстояние от плоскости площадки до плоскости разъема крышки; $Г_2 = Б_2$; $Г_3 = Б_3$; $Г_4 = Б_4$; $Г_5 = Б_5$. Величина зазора определяется толщиной обжатой прокладки (при ее наличии) и неравномерностью затяжки болтов



Принцип постоянства баз заключается в том, что при разработке всех технологических процессов назначают одну и ту же базу.

4. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОНТАЖА

Точность взаимного расположения машин и агрегатов и соответствие их установки проектному положению во многом определяется качеством геодезического обоснования монтажа.

Геометрической основой проекта промышленного объекта являются разбивочные оси и система высотных отметок. Различают проектные и фактические отметки. *Проектной отметкой* называют высоту точки относительно исходного уровня, заданную проектом. *Фактическая отметка* — это существующая высота точки относительно исходного уровня. Разность высот точек называют превышением.

Оси промышленного объекта строят с применением геодезических сетей.

Разбивочная сеть — геодезическая сеть, создаваемая для перенесения объекта в натуру.

Строительная геодезическая сетка — геодезическая сеть в виде системы квадратов или прямоугольников, ориентированных параллельно большинству разбивочных осей сооружений.

Монтажная геодезическая сетка — геодезическая сеть в виде системы квадратов или прямоугольников, предназначенных для переноса в натуру осей агрегатов и выполнения контрольных измерений.

Геодезической основой монтажа называют совокупность продольных и поперечных осей и высотных отметок, которые служат для установки и выверки технологического оборудования. Оси детальной разбивки, предназначенные для монтажа машин и агрегатов, называются *монтажными*. Создание такой основы называют геодезическим обоснованием монтажа. Геодезическая основа монтажа является системой координат, относительно которой устанавливают монтируемое оборудование. Разработка требований к геодезическому обоснованию монтажа является важнейшей задачей технологической подготовки производства.

Геодезическую основу монтажа, а также строительства всего объекта создают в результате выполнения геодезических разбивочных работ, т. е. построения геодезической разбивочной сети. Разбивочные работы выполняют с точностью, обеспечивающей соблюдение допусков на монтаж оборудования. Как правило, эта точность значительно выше предусмотренной ГОСТ 21779—82 для выполнения разбивочных работ при построении строительной сетки. Поэтому точность геодезической основы монтажа специально обосновывают в техническом задании на разработку проекта производства геодезических работ (ППГР) в виде схемы геодезического обоснования.

Точность и качество выполнения геодезической основы должны тщательно проверять монтажники в процессе приемки строительной части объекта под монтаж оборудования.

Монтажные (технологические) оси располагают параллельно строительным разбивочным осям, совмещая их с осями технологически важных линий или осями оборудования. *Продольные и поперечные* разбивочные оси «привязывают» к главным осям сооружения, которые, в свою очередь, привязаны к пунктам геодезической основы. Это обеспечивает заданное положение всех видов технологического оборудования относительно фундаментов, коммуникаций, строительных и технологических конструкций цеха.

При выборе мест расположения монтажных осей учитывают удобство установки машин и агрегатов в проектное положение, а также возможность использования этих осей для контроля положения технологического оборудования в процессе эксплуатации.

Различают *контрольные и рабочие* монтажные оси и отметки. По рабочим осям и высотным отметкам осуществляют установку и выверку оборудования, а по контрольным осям проверяют положение рабочих осей и отметок. Во избежание ошибок рабочие и контрольные оси и отметки выносятся от сетки геодезического обоснования цеха независимо друг от друга.

Основные и контрольные монтажные оси и отметки закрепляют с помощью фундаментальных знаков с глубиной их заложения до коренных пород или с помощью облегченных металлических знаков, устанавливаемых

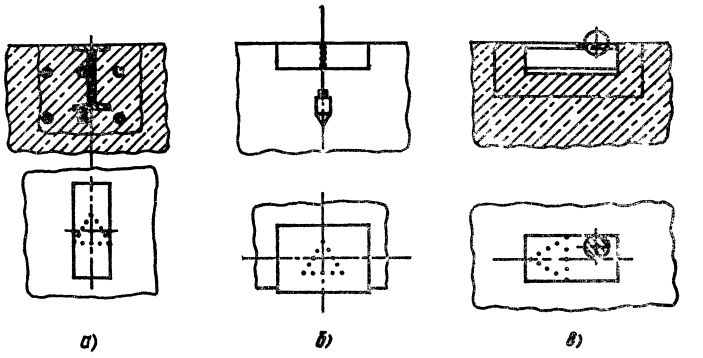


Рис. 10. Плашки для закрепления монтажных осей:
а — горизонтальной, *б* — вертикальной и горизонтальной; *в* — горизонтальной в сочетании с репером

в теле фундаментов. Тип знака выбирают в зависимости от необходимой точности выверки и установки технологического оборудования. Фундаментальные знаки применяют только для сложного прецизионного оборудования. Сложные знаки имеют специальные приспособления для точного автоматического центрирования устанавливаемых на них приборов и визирных марок Эти приспособления изготовляют в виде конических или цилиндрических втулок, шариковых устройств и т. п.

Устанавливаемые в теле фундамента простые знаки, определяющие положение осей, называют *плашками* (рис. 10), а знаки высотных отметок *реперами* (рис. 11).

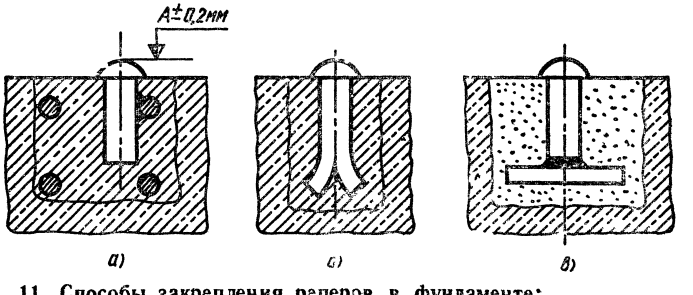


Рис. 11. Способы закрепления реперов в фундаменте:
а — приваркой к арматуре; *б* — заливкой бетоном; *в* — заливкой цементным раствором

Верхнюю часть репера устанавливают с точностью $\pm 1{,}5$ мм, а затем определяют его фактическую высотную отметку с заданной проектом точностью. Крепление реперов и плашек осуществляют с помощью закладных деталей, которые замоноличивают в фундаментах, колоннах или перекрытиях промышленных сооружений.

Рабочие монтажные оси, часто изменяемые в процессе работы, нередко закрепляют с помощью струн и отвесов, а также временно задают визирной осью оптических приборов или лучом лазера.

Закрепив монтажные оси, проверяют их плановое положение и взаимную перпендикулярность. Расстояние между осями измеряют с помощью инварных лент, проволочных длиномеров или других приборов, приводя результаты измерений к средней эксплуатационной температуре. Угловые измерения выполняют точными оптическими теодолитами. Полученные данные сравнивают с проектными значениями и при необходимости исправляют положения осей, смещая точки на знаках крепления.