

М. А. ПАЛЕЙ  
А. Б. РОМАНОВ  
В. А. БРАГИНСКИЙ

# Допуски и посадки

СПРАВОЧНИК

2



ПОЛИТЕХНИКА

Электронный аналог печатного издания: Палей М. А. Допуски и посадки: Справочник: В 2 ч. Ч. 2 / М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. — 9-е изд., перераб. и доп. — СПб. : Политехника, 2009. — 629 с. : ил.

УДК 621.753.1/.2(035)

ББК 34.41я2

П14



**ПОЛИТЕХНИКА**  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Санкт-Петербург 2011

www.polytechnics.ru

**Издано при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России».**

**П14 Палей М. А.**

Допуски и посадки: Справочник: В 2 ч. Ч. 2/М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. — 9-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2011. — 629 с.: ил.

ISBN 978-5-7325-0885-6 (общ.)

ISBN 978-5-7325-0887-1 (Ч. 2)

Справочник содержит основные материалы и рекомендации по расчету, применению в машино- и приборостроении, других отраслях техники Единой системы допусков и посадок (ЕСДП), основных норм взаимозаменяемости (ОНВ) в их увязке с международными стандартами (ИСО). Материал приведен по состоянию на январь 2008 г.

В части 2 справочника рассмотрены основы и методы расчета размерных цепей, допуски и посадки типовых соединений — конических, резьбовых, шпоночных, шлицевых, с подшипниками качения, допуски зубчатых и червячных передач, допуски и посадки изделий из пластмасс, резин, керамики, древесины, нормы точности отливок из металлов и сплавов.

Справочник предназначен для ИТР, занимающихся разработкой, конструированием изделий, а также производством и контролем машин, механизмов, деталей любых отраслей техники. Может быть полезен маркетологам, студентам технических университетов, техникумов, колледжей, а также преподавателям и научным работникам.

УДК 621.753.1/.2(035)

ББК 34.41я2

ISBN 978-5-7325-0885-6



9 785732 508857

ISBN 978-5-7325-0887-1



9 785732 508871

**СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ**

**Палей Марк Абрамович**

**Романов Аркадий Борисович**

**Брагинский Владимир Абрамович**

**ДОПУСКИ И ПОСАДКИ**

**Часть 2**

Заведующая редакцией *Е. В. Шарова*. Редактор *М. И. Козицкая*. Переплет художника *В. В. Пожидаева*. Технический редактор *Т. М. Жилич*. Корректоры *Т. Н. Гринчук*, *З. С. Романова*, *Е. П. Смирнова*. Компьютерная верстка *А. И. Цветковой*

Подписано в печать 28.03.2011. Электронных текстовых данных 34,5 Мб.

Электронный текст подготовлен ОАО «Издательство «Политехника»».

191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6.

**Перепечатка без согласования с авторами и издательством запрещена**

© М. А. Палей, А. Б. Романов,  
В. А. Брагинский, 2011

© Издательство «Политехника»,  
лит. и худ.-граф. обработка текста и рис., 2011

ISBN 978-5-7325-0885-6 (общ.)

ISBN 978-5-7325-0887-1 (Ч. 2)

## Г л а в а 3

### РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

#### 3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ

##### РАЗМЕРНАЯ ЦЕПЬ И ЕЕ ЗВЕНЬЯ

При конструировании механизмов, машин, приборов и других изделий, проектировании технологических процессов, выборе средств и методов измерений возникает необходимость в проведении размерного анализа, с помощью которого достигается правильное соотношение взаимосвязанных размеров и определяются допустимые ошибки (допуски). Подобные геометрические расчеты выполняются с использованием теории размерных цепей.

*Размерной цепью* называют совокупность размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей (или осей) одной или нескольких деталей. Замкнутость размерной цепи приводит к тому, что размеры, входящие в размерную цепь, не могут назначаться независимо, т. е. значение и точность по крайней мере одного из размеров определяются остальными. Размерная цепь состоит из отдельных звеньев. Звеном называют каждый из размеров, образующих размерную цепь. Звеньями размерной цепи могут быть любые линейные или угловые параметры: диаметральные размеры, расстояния между поверхностями или осями, зазоры, натяги, перекрытия, мертвые ходы, отклонения формы и расположения поверхностей (осей) и т. д.

Размерные цепи классифицируются по ряду признаков (табл. 3.1).

##### ИСХОДНОЕ (ЗАМЫКАЮЩЕЕ) И СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЗВЕНЬЯ

Любая размерная цепь имеет одно исходное (замыкающее) звено и два или более составляющих звеньев.

*Исходным* называют *звено*, к которому предъявляется основное требование точности, определяющее качество изделия в соответствии с техническими условиями. Понятие исходного звена используется при проектном расчете размерной цепи (см. с. 17).

В процессе обработки или при сборке изделия исходное звено получается обычно последним, замыкающим размерную цепь. В этом случае такое *звено* именуется *замыкающим*. В детальной

## 3.1. Классификация размерных цепей [8]

Классификационный признак	Название размерной цепи	Назначение, характеристика
Область применения	Конструкторская	Решается задача обеспечения точности при конструировании изделий
	Технологическая	Решается задача обеспечения точности при изготовлении изделий
	Измерительная	Решается задача измерения величин, характеризующих точность изделий
Место в изделии	Детальная	Определяет точность относительного положения поверхностей или осей одной детали
	Сборочная	Определяет точность относительного положения поверхностей или осей деталей, входящих в сборочную единицу
Расположение звеньев	Линейная	Звенья цепи являются линейными размерами. Звенья расположены на параллельных прямых
	Угловая	Звенья цепи представляют собой угловые размеры, отклонения которых могут быть заданы в линейных величинах, отнесенных к условной длине, или в градусах
	Плоская	Звенья цепи расположены произвольно в одной или нескольких параллельных плоскостях
	Пространственная	Звенья цепи расположены произвольно в пространстве
Характер звеньев	Скалярная	Все звенья цепи являются скалярными величинами
	Векторная	Все звенья цепи являются векторными погрешностями
	Комбинированная	Часть составляющих звеньев размерной цепи — векторные погрешности, остальные — скалярные величины
Характер взаимных связей	Параллельно связанные	Размерные цепи (две или более), имеющие хотя бы одно общее звено
	Независимые	Размерные цепи, не имеющие общих звеньев

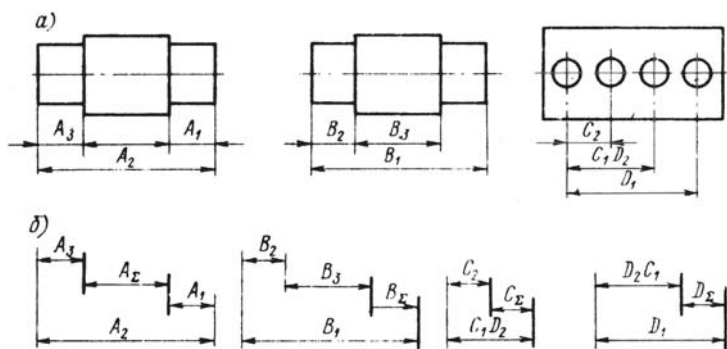


Рис. 3.1

размерной цепи замыкающим будет размер, значение и точность которого определяются другими размерами. В сборочной размерной цепи это размер, который возникает только при сборке и относится к двум деталям (зазор, натяг, перекрытие и т. д.). Понятие замыкающего звена используется при поверочном расчете размерной цепи (см. с. 17). Таким образом, замыкающее звено непосредственно не выполняется, а представляет собой результат выполнения (изготовления) всех остальных звеньев цепи.

*Составляющими* называют все остальные звенья, с изменением которых изменяется и замыкающее звено.

На рис. 3.1 приведены примеры деталей размерных цепей, по которым в зависимости от простановки размеров в чертежах

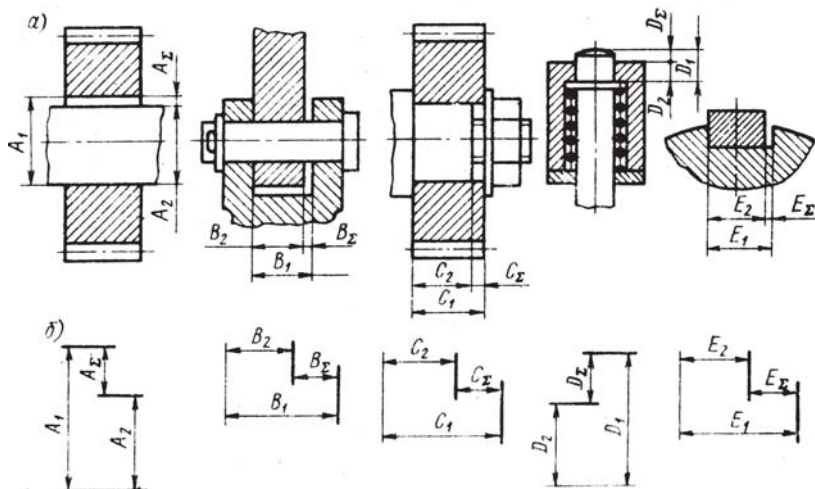


Рис. 3.2

ступенчатого валика и планок (рис. 3.1, а) можно определить величину и точность замыкающего звена (звенья с индексом  $\Sigma$ ). На рис. 3.2, а, б показано несколько примеров сборочных размерных цепей, с помощью которых решаются задачи достижения заданной точности зазоров  $A_\Sigma$ ,  $B_\Sigma$ ,  $C_\Sigma$ ,  $E_\Sigma$  и размера  $D_\Sigma$ , являющихся здесь исходными звеньями<sup>1</sup>. Для упрощения решения размерных цепей последние часто изображают в виде размерных схем. На рис. 3.1, б и 3.2, б построены схемы соответствующих размерных цепей. В простых случаях схемы изображаются непосредственно на эскизах деталей или узлов.

### УМЕНЬШАЮЩИЕ И УВЕЛИЧИВАЮЩИЕ ЗВЕНЬЯ

Составляющие звенья размерной цепи разделяются на две группы. К первой группе относятся звенья, с увеличением которых (при прочих постоянных) увеличивается и замыкающее звено. Такие звенья называются *увеличивающими*. Ко второй группе относятся звенья, с увеличением которых уменьшается замыкающее звено. Такие составляющие звенья называются *уменьшающими*. Параметры (размеры, допуски, отклонения) увеличивающих и уменьшающих звеньев обозначаются в дальнейшем с индексами соответственно «ув» и «ум». На рис. 3.1 звенья  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $C_1$ ,  $D_1$  являются увеличивающими, остальные звенья — уменьшающими. На рис. 3.2 звенья  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$ ,  $D_1$ ,  $E_1$  — увеличивающие, звенья  $A_2$ ,  $B_2$ ,  $C_2$ ,  $D_2$ ,  $E_2$  — уменьшающие.

В более сложных размерных цепях можно выявить увеличивающие и уменьшающие звенья, применив правило *обхода по контуру*. На схеме размерной цепи исходному звену предписывается определенное направление, обозначаемое стрелкой над буквенным

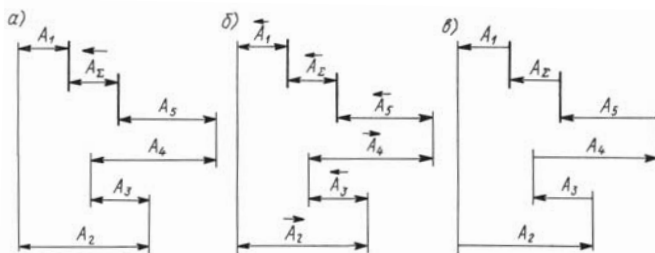


Рис. 3.3

<sup>1</sup> В рабочих чертежах размеры исходных (замыкающих) звеньев ( $A_\Sigma$ ,  $B_\Sigma$ ,  $C_\Sigma$  и т. д.) не проставляются. На рис. 3.2 и других аналогичных рисунках они указаны как звенья размерных схем.

обозначением звена (рис. 3.3, а). Это направление обычно согласовывается с расположением входящих в размерную цепь размеров в чертеже. Все составляющие звенья также обозначаются стрелками, начиная от звена, соседнего с исходным, и должны иметь один и тот же замкнутый поток направлений (рис. 3.3, б). Тогда все составляющие звенья, имеющие то же направление стрелок, что и у исходного звена, будут уменьшающими ( $A_1, A_3, A_5$ ), а остальные звенья цепи — увеличивающими ( $A_2, A_4$ ). Вместо стрелок над буквенными обозначениями звеньев удобно размерные схемы проставлять в виде совокупности векторов (стрелки указываются у одной стороны размера звена), направленных соответственно правилу обхода по контуру (рис. 3.3, в).

### ВЫЯВЛЕНИЕ ЗВЕНЬЕВ И СОСТАВЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

При проведении размерного анализа рекомендуется выделять звенья и составлять размерные цепи, руководствуясь следующими замечаниями.

1. Должна быть четко сформулирована задача, для решения которой рассчитывается размерная цепь или несколько размерных цепей. В каждой размерной цепи может быть только одно исходное (замыкающее) звено.

2. Для выявления исходного звена необходимо установить требования к точности, которым должно удовлетворять изделие или сборочная единица. Эти требования можно разделить на две группы: точность взаимного расположения деталей, сборочных единиц, обеспечивающая качественную работу изделия при эксплуатации, например: перпендикулярность оси вращения шпинделя вертикально-сверлильного станка рабочей поверхности стола; радиальное и осевое биения базовой поверхности вала; отклонение межосевого расстояния зубчатой или червячной передачи; точность взаимного расположения деталей, сборочных единиц, обеспечивающая собираемость изделия, в частности точность относительного положения валов, соединяемых муфтой. По чертежам общих видов и сборочных единиц выявляются и фиксируются все требования к точности, которые должны быть выполнены при изготовлении и сборке изделия, т. е. выявляются все исходные (замыкающие) звенья. Так, для обеспечения нормальной работы коническо-цилиндрического редуктора (рис. 3.4) необходимо при изготовлении и сборке выполнить следующие требования к точности относительного положения деталей [6]: а) вершины делительных конусов конических колес должны совпадать по трем взаимно перпендикулярным направлениям; смещения вершин делительных конусов шестерни и колеса ( $f_{AMr}$ ) относительно осей

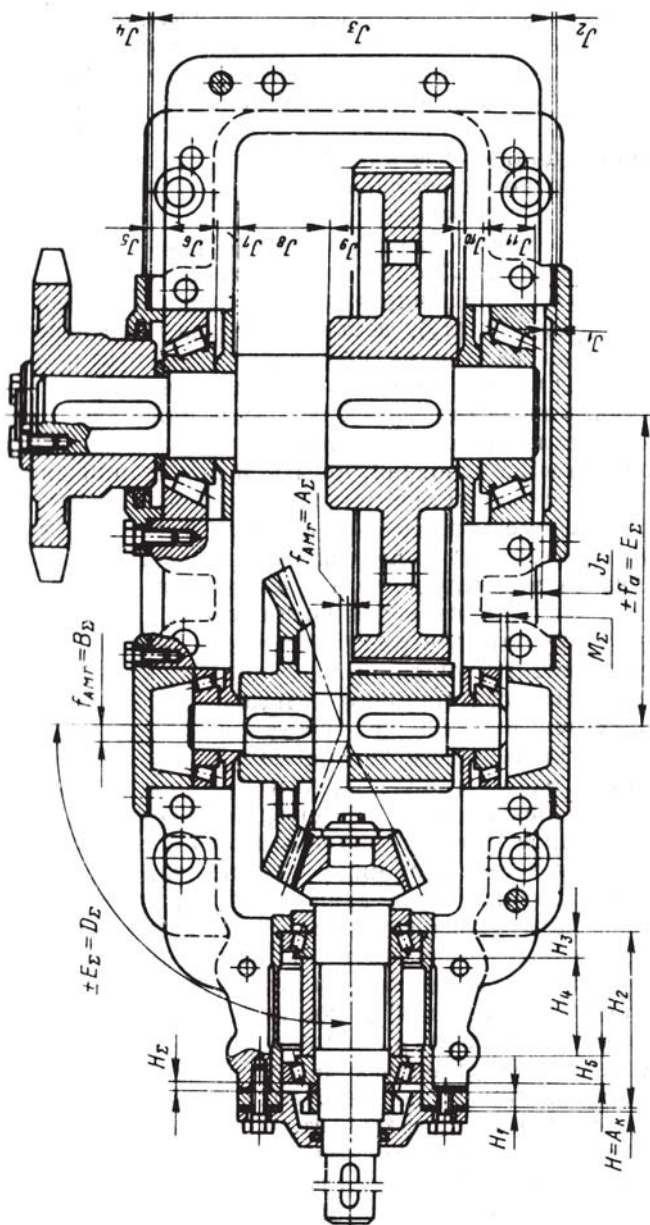


Рис. 3.4



вращения соответственно колеса и шестерни, а также непересечение осей вращения ( $f_{ar}$ ) должны находиться в заданных пределах (три исходных звена); б) угол между осями вращения конических колес должен быть выдержан в определенных пределах ( $\pm E_{\Sigma}$ , одно исходное звено); в) действительное расстояние между осями вращающихся цилиндрических зубчатых колес не должно значительно отличаться от номинального (допускаемые отклонения межосевого расстояния  $\pm f_a$ , одно исходное звено);

г) оси вращения цилиндрических зубчатых колес должны быть параллельны в плоскости чертежа (рис. 3.4, допуск на непараллельность осей  $f_x$ ) и в плоскости, перпендикулярной к плоскости чертежа (допуск на перекося осей  $f_y$ ); всего — два исходных звена;

д) для нормальной работы подшипников между крышками и торцами наружных колес подшипников при сборке необходимо обеспечить зазоры ( $H_{\Sigma}$ ,  $J_{\Sigma}$ ,  $M_{\Sigma}$ ), достаточные для компенсации теплового расширения вала и не превышающие допустимой величины осевой игры валов (три исходных звена).

3. При выявлении исходных звеньев их номинальные размеры и допускаемые отклонения устанавливаются по стандартам, техническим условиям, на основании опыта эксплуатации аналогичных изделий, путем теоретических расчетов и специально поставленных экспериментов. Допуск исходного звена устанавливается: в конструкторских размерных цепях исходя из функционального назначения изделия или его механизма; в технологических размерных цепях в соответствии с допуском на расстояние или относительный поворот поверхностей (осей) детали (деталей), которые необходимо получить при осуществлении технологического процесса обработки или сборки изделия [13]; в измерительных размерных цепях исходя из требуемой точности измерения для ограничения погрешности измеряемого размера.

4. Для нахождения составляющих звеньев после определения исходного звена следует идти от поверхностей (осей) деталей, образующих исходное звено, к основным базам (осям базирующих поверхностей) этих деталей, от них — к основным базам деталей, базирующих первые детали, и т. д. вплоть до образования замкнутого контура. Таким образом, можно выявить, последовательно связывая сопряженные размеры деталей, все составляющие звенья цепи, непосредственно влияющие на исходное звено. Все выявленные исходное (замыкающее) и составляющие звенья должны образовать замкнутый контур. Несовпадения (зазоры, несоосности) поверхностей соединяемых деталей, если они возможны, учитываются отдельными звеньями. Например, в размерной цепи  $J$  значение зазора  $J_{\Sigma}$  (рис. 3.4) зависит от относительного положения наружного кольца первого подшипника и упорного торца крышки (осевой зазор условно отнесен к этому подшипнику). В свою очередь, положение торца крышки относительно корпуса

редуктора определяется расстоянием между торцовыми поверхностями крышки и толщиной прокладки. Следовательно, первым звеном  $J_1$  является размер между торцовыми поверхностями крышки и вторым  $J_2$  — толщина прокладки между крышкой и корпусом. Третьим звеном цепи  $J_3$  служит расстояние между стенками корпуса. Толщина прокладки  $J_4$  определяет положение второй крышки относительно корпуса. Расстояние  $J_5$  между торцовыми поверхностями второй крышки определяет положение торца, в который упирается наружное кольцо правого подшипника. Положение упорного торца внутреннего кольца второго подшипника зависит от отклонений монтажной высоты  $J_6$  подшипника. Переходя последовательно от одной поверхности к другой, получим:  $J_7$  — толщина кольца,  $J_8$  — толщина буртика вала,  $J_9$  — длина ступицы зубчатого колеса,  $J_{10}$  — толщина кольца,  $J_{11}$  — монтажная высота первого подшипника. Таким образом, мы пришли ко второй поверхности, образующей исходное звено. Схема цепи  $J$  приведена на рис. 3.5. На рис. 3.4 показаны аналогично выявленные составляющие звенья размерной цепи  $H$ .

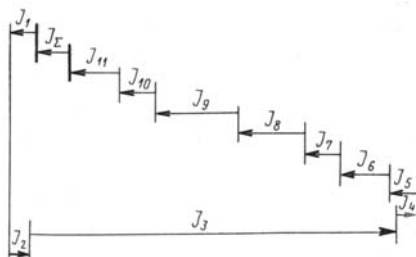


Рис. 3.5

В число составляющих звеньев необходимо включать размеры деталей, непосредственно влияющих на исходное (замыкающее) звено и стремиться к тому, чтобы от каждой детали в линейную цепь входил только один размер. (В плоских и пространственных цепях два и более размеров одной детали могут быть составляющими звеньями.) Каждая размерная цепь должна состоять из возможно меньшего числа звеньев (принцип «кратчайшей» размерной цепи).

5. При составлении схемы размерной цепи все ее составляющие звенья обозначаются прописными буквами латинского алфавита (кроме букв  $O$ ,  $L$ ,  $P$ ,  $K$ )<sup>1</sup> с цифровым индексом (например, первая цепь  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и т. д., вторая  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  и т. д.). Исходные (замыкающие) звенья обозначаются теми же буквами с индексом  $\Sigma$  (например, исходное звено первой цепи  $A_\Sigma$ , второй —  $B_\Sigma$ ).

Числовой индекс составляющих звеньев определяет их порядковый номер в цепи (например,  $B_2$  — второе звено размерной цепи). Звенья нумеруются (см. рис. 3.3, б) последовательно по направлению потока векторов составляющих звеньев, начиная со звена, соседнего с исходным (замыкающим).

<sup>1</sup> Эти буквы используются в размерных цепях для обозначения других величин.

6. Среди линейных и угловых составляющих размеров цепи различают соответственно линейные и угловые зазоры (натяги).

Линейным зазором называется расстояние между параллельными поверхностями или осями сопрягающихся деталей типа вал — отверстие (паз — выступ). Угловым зазором называется угол между поверхностями или осями сопрягающихся деталей.

При геометрическом расчете машин следует иметь в виду, что погрешности (ошибки, отклонения) в размерах деталей разделяются на скалярные (одномерные, простые), полностью определяемые одной характеристикой — своей величиной, и векторные (двухмерные), определяемые величиной (модулем) и направлением. К скалярным ошибкам относятся, например, отклонения длины вала, втулки, монтажной высоты подшипника, отклонения в расстоянии между осями и т. п. К векторным ошибкам относятся отклонения от соосности цилиндрических поверхностей, несоосность отверстий, радиальное биение поверхностей за счет эксцентриситета осей, биение торцовых поверхностей и т. п. Векторные погрешности могут быть составляющими звеньями размерных цепей. Расчет векторных размерных цепей см. [6, 13] и п. 3.9.

7. В числе составляющих звеньев цепи могут оказаться линейные или угловые зазоры, из-за которых может происходить относительное смещение деталей. Различают три варианта конструктивного исполнения соединений с зазорами: *I* — сопряжение вала (штыря) с отверстием, *II* — сопряжение вала (штыря) с пазом, *III* — сопряжение выступа с пазом (рис. 3.6).

Если в процессе сборки и эксплуатации зазоры полностью выбираются в одном направлении (под действием груза, рабочих усилий, пружин или любым другим способом), то размерные цепи для *II* и *III* вариантов составляются так, чтобы зазоры не оказывали влияния на величину замыкающего звена. Схемы размерных цепей, зависящие от направления, в котором выбирается образующий зазор, представлены на рис. 3.6 и 3.7. Если в процессе сборки или эксплуатации зазоры выбираются попеременно (при реверсивных движениях) в противоположных направлениях, то необходимо рассчитывать две размерные цепи (рис. 3.6 и 3.7). По результатам расчетов берутся такие наибольшие (из одной цепи) и наименьшие (из другой цепи) предельные отклонения замыкающего звена, при которых допуск его оказывается наибольшим. В некоторых случаях для уменьшения графических и расчетных работ эскиз и схема цепи строятся при номинальном положении деталей, но в местах стыка осей вводится вектор несоосности, равный нулю с двумя симметричными отклонениями. Если при сборке и эксплуатации положение деталей в поле зазора оказывается случайным (зазор полностью или частично выбирается в произвольном направлении), то для вероятностного расчета таких размерных цепей необходимо знать характер распределения дета-

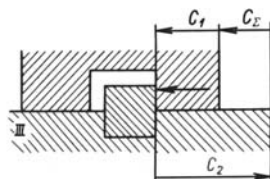
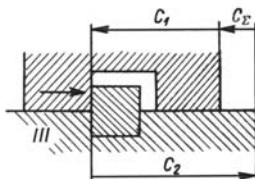
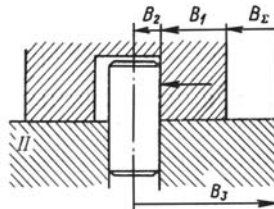
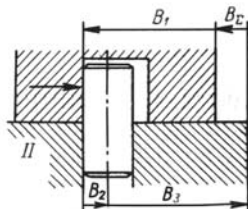
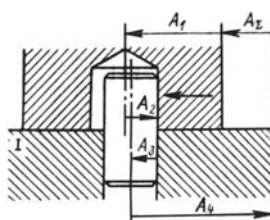
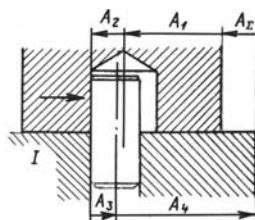


Рис. 3.6

Рис. 3.7

лей в поле зазора. В работах П. Ф. Дунаева рассматриваются некоторые частные случаи таких распределений: деталь примыкает к стенке отверстия равновероятно в любой точке, деталь занимает равновероятное положение в любой точке зазора и т. д.

8. В некоторых случаях один и тот же размер может входить в качестве звена в несколько размерных цепей (параллельно связанные цепи). Такие общие звенья обозначаются буквами соответствующих цепей. Например, звено, принадлежащее одновременно цепям  $A$  и  $B$ , будет обозначено теми же буквами с присвоенными им индексами (рис. 3.8, звено  $A_2B_3 = B_3A_2$ ; рис. 3.1, звено  $C_1D_2 = D_2C_1$ ). В таких параллельно связанных цепях размеры и отклонения (допуски) общих звеньев должны быть одинаковыми, что достигается иногда несколькими перерасчетами. Для уменьшения подобных перерасчетов необходимо расчет связанных размерных цепей начинать с той цепи, для которой допуски общих звеньев окажутся наименьшими. Ориентировочно это можно установить, зная для каждой цепи допуск исходного звена и число составляющих звеньев. Если исходным звеном размерной цепи является одно из составляющих звеньев другой (основной) размерной цепи, то такие цепи называются производными (рис. 3.9,

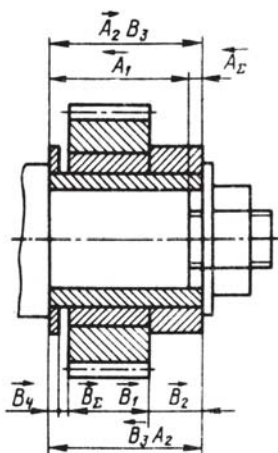


Рис. 3.8

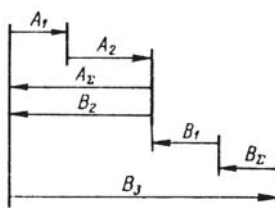


Рис. 3.9

размерная цепь  $B$  — основная, размерная цепь  $A$  — производная). Последовательность расчетов производной или основной цепи определяется характером решаемых задач (см. п. 3.2).

9. Произвольно расположенные в одной или нескольких параллельных плоскостях звенья плоской цепи проецируются на направление, совпадающее с направлением замыкающего звена (рис. 3.10), т. е. плоская цепь приводится к линейной. При расчете плоских цепей следует учитывать не только погрешности (отклонения) линейных размеров, но и погрешности углов между ними, если последними нельзя пренебречь. Погрешности углов приводятся к линейному размеру замыкающего звена в виде дополнительных звеньев. Произвольно расположенные в не-

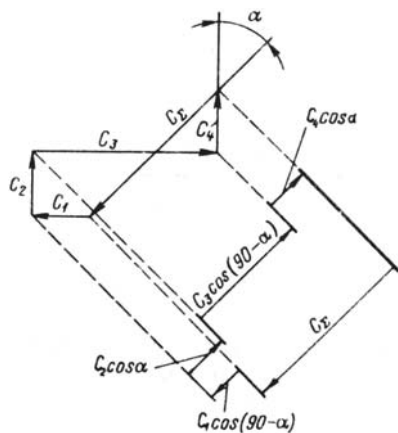


Рис. 3.10

параллельных плоскостях звенья пространственной цепи проецируются на три (или два) взаимно перпендикулярных направления, т. е. пространственная цепь также преобразуется к линейному виду (трем линейным цепям).

Иной подход к расчету пространственных размерных цепей связан с представлением каждого звена цепи как радиуса-вектора и матрицы поворотов [1, 5]. Звено характеризуется шестью параметрами (тремя расстояниями и тремя углами поворота),

изменения которых влияют на параметры замыкающего (суммирующего векторы) звена. Область суммарной предельной погрешности и радиус-вектор замыкающего звена являются функцией радиусов-векторов и матриц поворотов составляющих звеньев.

### 3.2. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Расчет размерных цепей является необходимым этапом конструирования, производства и эксплуатации широкого класса изделий (машин, механизмов, приборов, аппаратов и т. п.). С помощью теории размерных цепей могут быть решены следующие конструкторские, технологические и метрологические задачи: 1) установление геометрических и кинематических связей между размерами деталей, расчет номинальных значений, отклонений и допусков размеров звеньев; 2) расчет норм точности и разработка технических условий на машины и их составные части; 3) анализ правильности простановки размеров и отклонений на рабочих чертежах деталей; 4) расчет межоперационных размеров, припусков и допусков, пересчет конструктивных размеров на технологические (при несовпадении конструктивных и технологических баз); 5) обоснование последовательности технологических операций при изготовлении и сборке изделий; 6) обоснование и расчет необходимой точности приспособлений; 7) выбор средств и методов измерений, расчет достижимой точности измерений. Полный расчет размерных цепей выполняется в процессе разработки рабочего проекта машины, предварительные расчеты следует производить еще при конструктивной отработке технического проекта.

#### ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ

Для проведения размерного анализа кроме размерной схемы составляется уравнение размерной цепи, вытекающее из условия замкнутости. Для линейных (параллельно-звенных) и некоторых плоских размерных цепей

$$\xi_1 A_1 + \xi_2 A_2 + \dots + \xi_{m+n} A_{m+n} = 0, \quad (3.1)$$

где  $A_1, A_2, \dots, A_{m+n}$  — номинальные значения всех звеньев размерной цепи;  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{m+n}$  — коэффициенты, характеризующие расположение звеньев по величине и направлению, или передаточные отношения.

В размерных цепях с параллельными звеньями (линейные цепи)

$$|\xi_1| = |\xi_2| = \dots = |\xi_{m+n}| = 1. \quad (3.1a)$$

В плоских и пространственных размерных цепях (общий случай)

$$f(A_{\Sigma}, A_1, \dots, A_i, \dots, A_{m+n}) = 0. \quad (3.16)$$

Пользуясь правилом обхода по контуру для размерной цепи по рис. 3.3, получим следующее уравнение:

$$-A_1 + A_2 - A_3 + A_4 - A_5 - A_{\Sigma} = 0.$$

Все звенья цепи, имеющие однонаправленный поток векторов (размеров), записываются с одним произвольно выбранным знаком (+ или -). Решив уравнение относительно  $A_{\Sigma}$ , получим

$$A_{\Sigma} = (A_2 + A_4) - (A_1 + A_3 + A_5).$$

Для размерной цепи по рис. 3.10 из условия замкнутости составим уравнение

$$-C_1 \cos(90^\circ - \alpha) + C_2 \cos \alpha + C_3 \cos(90^\circ - \alpha) + C_4 \cos \alpha - C_{\Sigma} = 0.$$

Решив полученное уравнение относительно  $C_{\Sigma}$ , получим

$$C_{\Sigma} = [C_2 \cos \alpha + C_3 \cos(90^\circ - \alpha) + C_4 \cos \alpha] - C_1 \cos(90^\circ - \alpha).$$

Если угол на чертеже не задан, то уравнение размерной цепи будет

$$C_{\Sigma}^2 = (C_3 - C_1)^2 + (C_2 + C_4)^2$$

или

$$C_{\Sigma} = \sqrt{(C_3 - C_1)^2 + (C_2 + C_4)^2}.$$

В приведенных уравнениях линейной размерной цепи (рис. 3.3) абсолютные величины коэффициентов  $\xi_i$  равны единице. В уравнении плоской размерной цепи (рис. 3.10)  $|\xi_i| = \cos \alpha$ , или  $|\xi_i| = \cos(90^\circ - \alpha)$ .

Передаточные отношения звеньев размерных цепей учитывают степень и направленность влияния составляющих звеньев на замыкающее звено. В линейных размерных цепях передаточные отношения увеличивающих звеньев равны +1, уменьшающих звеньев равны -1.

По рис. 3.1-3.9 можно установить, что для линейных размерных цепей номинальное значение замыкающего звена представляет собой разность между суммами номинальных значений увеличивающих и уменьшающих звеньев.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Принятые обозначения . . . . .	3
<b>Глава 3<sup>1</sup>. Размерные цепи . . . . .</b>	<b>4</b>
3.1. Основные понятия, термины, определения, обозначения . . . . .	4
Размерная цепь и ее звенья . . . . .	4
Исходное (замыкающее) и составляющие звенья . . . . .	4
Уменьшающие и увеличивающие звенья . . . . .	7
Выявление звеньев и составление рациональных размерных цепей . . . . .	8
3.2. Задачи, решаемые с помощью размерных цепей . . . . .	15
Основное уравнение размерной цепи . . . . .	15
Прямая и обратная задачи . . . . .	17
Методы достижения заданной точности исходного звена . . . . .	17
Выбор метода достижения заданной точности исходного звена . . . . .	21
3.3. Расчет линейных размерных цепей методом полной взаимозаменяемости . . . . .	25
Расчетные формулы . . . . .	25
Прямая задача . . . . .	27
Обратная задача . . . . .	30
Примеры расчетов . . . . .	31
3.4. Расчет линейных размерных цепей вероятностным методом . . . . .	35
Основные законы рассеяния размеров деталей . . . . .	35
Нормальный закон (закон Гаусса) . . . . .	36
Закон равной вероятности . . . . .	37
Закон треугольника (Симпсона) . . . . .	38
Расчетные формулы . . . . .	38
Значения коэффициентов $\alpha_i$ и $\lambda_i$ . . . . .	42
Значения коэффициентов $\alpha_\Sigma$ и $\lambda_\Sigma$ . . . . .	43
Прямая задача . . . . .	44
Обратная задача . . . . .	48
Примеры расчетов . . . . .	49
Упрощенный расчет линейных размерных цепей вероятностным методом . . . . .	53
3.5. Расчет линейных размерных цепей методами неполной взаимозаменяемости . . . . .	54
Метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки) . . . . .	54
Расчетные формулы . . . . .	54
Примеры расчетов . . . . .	60
Метод пригонки . . . . .	62
Определение компенсации . . . . .	62
Определение размера заготовки компенсатора . . . . .	63
Примеры расчетов . . . . .	65
Метод регулирования . . . . .	67
Подвижные и неподвижные компенсаторы . . . . .	67
Примеры конструкций неподвижных и подвижных компенсаторов . . . . .	68

---

<sup>1</sup> Главы 1, 2 — см. ч. 1



Расчет компенсирующих деталей (сменных колец, втулок и т. д.), подбираемых при сборке . . . . .	68
Расчет компенсирующих прокладок одинаковой толщины . . . . .	76
Расчет компенсирующих прокладок разной толщины . . . . .	77
Примеры расчетов . . . . .	78
3.6. Расчет угловых размерных цепей . . . . .	82
Расчетные формулы . . . . .	82
Пример расчета . . . . .	84
3.7. Расчет плоских размерных цепей . . . . .	86
Метод полной взаимозаменяемости . . . . .	86
Расчетные формулы . . . . .	86
Прямая задача . . . . .	87
Обратная задача . . . . .	88
Пример расчета . . . . .	88
Вероятностный метод . . . . .	91
Расчетные формулы . . . . .	91
Прямая задача . . . . .	92
Обратная задача . . . . .	93
Пример расчета . . . . .	94
3.8. Расчет размерных цепей с учетом эксплуатационных изменений звеньев . . . . .	95
Расчетные формулы . . . . .	95
Прямая задача . . . . .	100
Обратная задача . . . . .	103
Примеры расчета . . . . .	104
3.9. Основные сведения о расчете векторных размерных цепей . . . . .	108
Расчетные формулы . . . . .	108
Пример расчета . . . . .	110
3.10. Основные сведения о расчете размерных цепей методом статистического моделирования (методом Монте-Карло) . . . . .	111
Список литературы . . . . .	116
<b>Глава 4. Допуски и посадки типовых соединений . . . . .</b>	<b>117</b>
4.1. Угловые размеры и гладкие конические соединения . . . . .	117
Нормальные углы и допуски на угловые размеры . . . . .	117
Единицы измерения . . . . .	117
Нормальные ряды и размеры углов . . . . .	117
Допуски угловых размеров . . . . .	125
Гладкие конические соединения . . . . .	135
Виды конических соединений . . . . .	135
Общие положения системы допусков и посадок . . . . .	136
Допуски и поля допусков . . . . .	138
Расчетные соотношения между допусками диаметра, угла и формы конуса . . . . .	144
Расчет предельных базорасстояний конического соединения . . . . .	147
Методы и схемы контроля углов и конусов . . . . .	160
4.2. Резьбовые соединения. Общие сведения . . . . .	162
Определения . . . . .	162

Основные параметры резьбы . . . . .	163
Допуски и посадки . . . . .	166
Приведенный средний диаметр . . . . .	168
Стандартные резьбы общего и специального назначения . .	169
Основные средства контроля резьбовых изделий . . . . .	169
4.3. Резьба метрическая от 0,25 до 600 мм . . . . .	174
Назначение и размеры . . . . .	174
Отклонения и допуски метрической резьбы с зазорами . . .	181
Выбор полей допусков . . . . .	204
Допуски метрических резьб с натягами и переходными по- садками . . . . .	205
Обозначение резьбы в чертежах . . . . .	217
4.4. Резьба круглая . . . . .	217
Назначение и основные размеры . . . . .	217
Отклонения и допуски . . . . .	217
Обозначение круглых резьб в чертежах . . . . .	222
4.5. Резьба трапецидальная однозаходная . . . . .	223
Назначение и основные размеры . . . . .	223
Отклонения и допуски . . . . .	223
Обозначение резьбы в чертежах . . . . .	230
Резьба трапецидальная многозаходная . . . . .	238
4.6. Резьба упорная . . . . .	245
Назначение и основные размеры . . . . .	245
Отклонения и допуски . . . . .	245
Обозначение резьбы в чертежах . . . . .	249
4.7. Резьба трубная цилиндрическая . . . . .	253
Профиль и основные размеры . . . . .	253
Отклонения и допуски . . . . .	256
Обозначение в чертежах . . . . .	257
4.8. Резьба метрическая коническая . . . . .	257
Профиль и основные размеры . . . . .	257
Отклонения и допуски . . . . .	259
Обозначение резьбы в чертежах . . . . .	259
4.9. Резьба трубная коническая . . . . .	262
Профиль и основные размеры . . . . .	262
Допуски и отклонения . . . . .	262
Обозначение резьбы в чертежах . . . . .	265
4.10. Резьба коническая дюймовая . . . . .	268
Профиль и основные размеры . . . . .	268
Отклонения и допуски . . . . .	268
Обозначение резьбы в чертежах . . . . .	268
4.11. Резьбы специального назначения . . . . .	271
Резьба метрическая для приборостроения . . . . .	271
Резьба упорная усиленная 45° . . . . .	271
Резьба круглая для санитарно-технической арматуры по ГОСТ 13535–68 . . . . .	279
Резьба коническая вентиля и горловин баллонов для газа по ГОСТ 9909–81 . . . . .	280
4.12. Шпоночные соединения . . . . .	282
Виды шпоночных соединений . . . . .	282

Размеры, допуски и посадки . . . . .	282
Схемы контроля . . . . .	301
4.13. Соединения шлицевые прямобочные . . . . .	302
Основные размеры . . . . .	302
Способы центрирования . . . . .	305
Допуски и посадки . . . . .	305
Контроль соединений . . . . .	308
Условные обозначения . . . . .	309
4.14. Соединения шлицевые эвольвентные и треугольные . . . . .	309
Соединения шлицевые эвольвентные . . . . .	309
Характеристика соединения . . . . .	309
Форма зубьев и способы центрирования . . . . .	310
Основные размеры . . . . .	310
Допуски и посадки . . . . .	314
Контроль соединений . . . . .	327
Условные обозначения . . . . .	328
Соединения шлицевые треугольные . . . . .	328
Характеристика соединения, форма зубьев и основные геометрические параметры . . . . .	328
Допуски и посадки . . . . .	329
Контроль соединений . . . . .	330
4.15. Соединения с подшипниками качения . . . . .	330
Назначение полей допусков для вала и отверстия корпуса при установке подшипников качения . . . . .	332
Примеры выбора посадок и полей допусков валов и отвер- стий корпусов для установки подшипников качения . . . . .	360
Отклонения формы, расположения и шероховатость поса- дочных и опорных торцовых поверхностей под подшипники качения . . . . .	361
4.16. Допуски некоторых элементов соединяемых деталей и от- ливков . . . . .	396
Типовые соединения . . . . .	396
Радиусы, фаски . . . . .	398
Список литературы . . . . .	400
<b>Глава 5. Допуски зубчатых и червячных передач . . . . .</b>	<b>401</b>
5.1. Термины и обозначения, исходный контур, модули . . . . .	401
5.2. Основные сведения о допусках зубчатых и червячных передач .	408
Область распространения стандартов на допуски зубчатых и червячных передач . . . . .	408
Точность и виды сопряжений зубчатых и червячных передач .	409
Обозначения в чертежах степеней точности, видов сопряже- ний и видов допусков бокового зазора . . . . .	413
5.3. Цилиндрические зубчатые передачи . . . . .	414
Нормы точности . . . . .	414
Выбор степени точности зубчатых передач . . . . .	427
Нормы бокового зазора . . . . .	438
Методика выбора вида сопряжения . . . . .	454
Требования к точности заготовок для зубчатых колес . . . . .	456
Оформление чертежей цилиндрических зубчатых колес . . . . .	461

Назначение допусков на относительное расположение отверстий под опоры валов в корпусе цилиндрической зубчатой передачи . . . . .	471
5.4. Зубчатые конические и гипоидные передачи . . . . .	473
Нормы точности . . . . .	473
Нормы бокового зазора . . . . .	488
5.5. Червячные цилиндрические передачи $m \geq 1$ мм . . . . .	496
Нормы точности . . . . .	496
Нормы бокового зазора . . . . .	509
5.6. Зубчатые реечные передачи . . . . .	516
Нормы точности . . . . .	516
Нормы бокового зазора . . . . .	525
Список литературы . . . . .	535
<b>Глава 6. Допуски и посадки изделий из неметаллических материалов . . . . .</b>	<b>536</b>
6.1. Допуски и посадки гладких соединений деталей из пластмасс . . . . .	536
Поля допусков и посадки для деталей из пластмасс . . . . .	538
Технологические допуски для деталей из пластмасс, получаемых формованием . . . . .	558
Квалитеты размеров деталей из пластмасс, получаемых механической обработкой . . . . .	570
Квалитеты и методы расчета исполнительных размеров формующих элементов . . . . .	571
Контроль гладких размеров . . . . .	572
6.2. Допуски и посадки резьбовых деталей из пластмасс . . . . .	572
Основные размеры . . . . .	572
Поля допусков, предельные отклонения, посадки . . . . .	575
Точность резьбовых деталей из пластмасс при формовании . . . . .	583
Квалитеты и методы расчета исполнительных размеров резьбоформирующих элементов . . . . .	583
Контроль резьбовых размеров . . . . .	585
6.3. Допуски деталей из технических резин . . . . .	585
6.4. Допуски изделий из керамики и стекла . . . . .	588
6.5. Допуски и посадки изделий из древесины и древесных материалов . . . . .	591
Список литературы . . . . .	602
<b>Глава 7. Допуски отливок из металлов и сплавов . . . . .</b>	<b>603</b>
7.1. Ряды и округленные числовые значения допусков на основе применения ЕСДП . . . . .	603
7.2. Допуски отливок из металлов и сплавов по ГОСТ 26645–85 . . . . .	603
7.3. Средние и минимальные значения припусков на механическую обработку отливок из черных и цветных сплавов по ГОСТ 26645–85 . . . . .	616
Список литературы . . . . .	624