

Тема 11. ОСНОВНЫЕ НОРМЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Список сокращений

ЕСКД – Единая система конструкторской документации
ЕСДП – Единая система допусков и посадок
ОНВ – основные нормы взаимозаменяемости
СПИД – система станок – приспособление – инструмент – деталь

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Допуски и посадки гладких цилиндрических и плоских соединений (Допуски и посадки: справочник. В 2-х ч. Ч. 1. Л., 1982)	2
Нанесение предельных отклонений размеров (Из ГОСТ 2.307 – 2011 Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений)	23
Шероховатость поверхности (Орлов П. И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1. М., 1988)	25
Обозначения шероховатости поверхностей (из ГОСТ 2.309 – 73 Единая система конструкторской документации. Обозначения шероховатости поверхностей)	39
Содержание хрестоматии	43

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ПЛОСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

(Допуски и посадки: справочник. В 2-х ч. Ч. 1. Л., 1982. С. 8 – 10, 12 – 19, 28 – 31)

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Соединение. Отверстие и вал. Посадка. Зазор. Натяг

Машины и механизмы состоят из деталей, которые в процессе работы должны совершать относительные движения или находиться в относительном покое. В большинстве случаев детали машин представляют собой определенные комбинации геометрических тел, ограниченных поверхностями простейших форм: плоскими, цилиндрическими, коническими и т. д. Это объясняется широким использованием в механизмах низших кинематических пар и технологическими соображениями, так как существующие станки приспособлены в основном для обработки простейших поверхностей и их комбинаций. Простейшие геометрические тела, составляющие детали, будем называть их элементами.

Две детали, элементы которых входят друг в друга, образуют *соединение*. Такие детали называются *сопрягаемыми деталями*, а поверхности сопрягаемых элементов – *сопрягаемыми поверхностями*. Поверхности тех элементов деталей, которые не входят в соединение с поверхностями других деталей, называются *несопрягаемыми поверхностями*. Соединения подразделяются по геометрической форме сопрягаемых поверхностей. Соединения деталей, имеющих сопрягаемые цилиндрические поверхности с круглым поперечным сечением, называется *гладким цилиндрическим* (рис. 1.1, а).

Если сопрягаемыми поверхностями каждого элемента соединения являются две параллельные плоскости, то соединение называется *плоским соединением* с параллельными плоскостями или просто *плоским* (рис. 1.1, б).

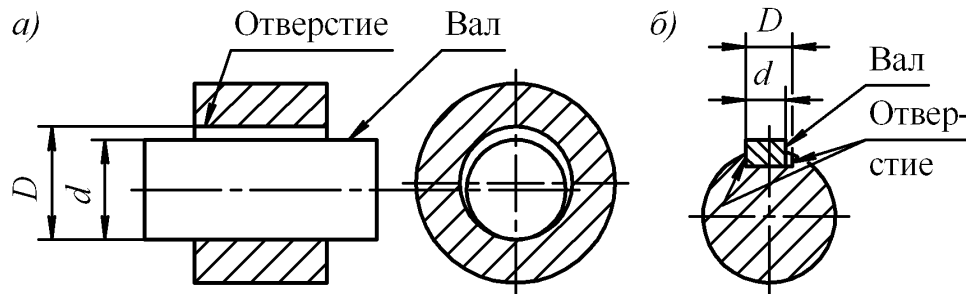


Рис. 1.1

В соединении элементов двух деталей один из них является внутренним (охватывающим), другой – наружным (охватываемым). В системе допусков и посадок гладких соединений всякий наружный элемент условно называют *валом*, всякий внутренний – *отверстием*. Термины «отверстие» и «вал» применяются и к несопрягаемым элементам.

Под размером элементов, образующих гладкие соединения, и аналогичных несопрягаемых элементов понимается: в цилиндрических соединениях – диаметр, в плоских – расстояние между параллельными плоскостями по нормали к ним. В более узком смысле в системе допусков и посадок размер – числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т. д.) в выбранных единицах измерения (в машиностроении обычно в миллиметрах).

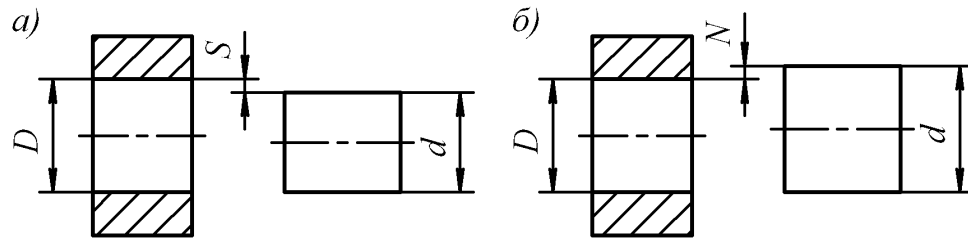


Рис. 1.2

Разность размеров отверстия и вала до сборки определяет характер соединения деталей, или *посадку*, т. е. бóльшую или меньшую свободу относительного перемещения деталей или степень сопротивления их взаимному смещению. Разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала, называется *зазором* (рис. 1.2, а)

$$S = D - d. \quad (1.1)$$

Зазор характеризует большую или меньшую свободу относительного перемещения деталей соединения. Разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия, называется *натягом* (рис. 1.2, б)

$$N = d - D. \quad (1.2)$$

Натяг характеризует степень сопротивления взаимному смещению деталей в соединении. В необходимых случаях зазор может быть выражен как натяг со знаком минус ($S = -N$), а натяг – как зазор со знаком минус ($N = -S$)

Точность и погрешности изготовления деталей машин

При проектировании деталей их геометрические параметры задаются размерами элементов, а также формой и взаимным расположением их поверхностей. При изготовлении возникают отступления геометрических параметров реальных деталей от идеальных (запроектированных) значений. Эти отступления называются *погрешностями*. Погрешности могут возникать также в процессе хранения и эксплуатации машин под воздействием внешней среды, внутренних изменений в структуре материала, износа и т. д.

Степень приближения действительных параметров к идеальным называется точностью. Понятия о точности и погрешности взаимосвязаны. Точность характеризуется действительной погрешностью (действительная точность) или пределами, ограничивающими значения погрешности (нормированная точность). Чем уже эти пределы, тем меньше погрешности, тем выше точность.

Точность деталей по геометрическим параметрам есть совокупное понятие, подразделяющееся по следующим признакам:

- 1) точности размеров элементов;
- 2) точности формы поверхностей элементов (макрогеометрия поверхности);
- 3) точности по шероховатости поверхности (микрогеометрия);
- 4) точности взаимного расположения элементов.

Конструктор должен исходить из того, что погрешности параметров не только неизбежны, но и допустимы в определенных пределах, при которых деталь еще удовлетворяет требованиям правильной сборки и функционирования машины. Нельзя требовать получения абсолютно точного идеального значения параметра, т. е. нулевой погрешности, так как это требование неосуществимо в реальных условиях изготовления и измерения. Нельзя также ограничиваться установлением одних только идеальных значений параметров деталей, так как при изготовлении могут возникнуть столь большие погрешности, что деталь не будет удовлетворять своему служебному назначению. Конструктор должен решить две неразрывные задачи: установить идеальные значения параметров детали и нормировать точность изготовления этих параметров путем назначения пределов, ограничивающих их погрешности. Эти пределы в процессе изготовления и контроля деталей являются критериями их годности. Сложность задачи по назначению пределов для допустимых погрешностей состоит в том, что ее решение требует от конструктора всестороннего учета как условий функционирования и эксплуатации изделия, так и условий его изготовления и сборки. Условия эти противоречивы: для правильного функционирования может

требоваться сужение пределов допускаемых погрешностей, а для экономичного изготовления – расширение. Критерием оптимального решения данной задачи является обеспечение работоспособности изделия при минимальной суммарной стоимости его изготовления и эксплуатации.

Погрешности размера, формы, шероховатости и расположения поверхностей в процессе изготовления возникают под действием ряда причин, среди которых следует отметить:

- 1) погрешности станка;
- 2) погрешности обрабатывающего инструмента и приспособлений;
- 3) износ инструмента;
- 4) упругие деформации в системе станок – приспособление – инструмент – деталь (системе СПИД);
- 5) температурные деформации системы СПИД;
- 6) погрешности, зависящие от выбранной технологической схемы и режимов обработки;
- 7) погрешности измерения, включая погрешности измерительных средств;
- 8) неоднородность размеров, жесткости, материала и другие погрешности заготовок.

Погрешности изготовления для совокупности деталей, составляющих обрабатываемую партию, можно разделить на группы:

1) *систематические постоянные погрешности*, имеющие одинаковые числовые значения для всей рассматриваемой совокупности, вызванные воздействием факторов, сохраняющих постоянное значение в процессе обработки партии, например погрешности из-за неправильной настройки станка;

2) *систематические переменные погрешности*, закономерно изменяющиеся по ходу технологического процесса, например погрешности, вызванные износом инструмента или температурными деформациями системы СПИД, являющимися функцией от времени обработки;

3) *случайные погрешности*, или погрешности рассеяния, имеющие для отдельных деталей партии различные значения; определить заранее момент появления того или иного значения случайной погрешности не представляется возможным. Случайные погрешности вызываются действием факторов, подверженных колебаниям случайного характера, или же действием большого числа факторов, в том числе и систематических, если их вступление в процесс и выключение из него носят случайный характер.

Если систематические погрешности могут быть выявлены и в ряде случаев устранены в процессе подготовки производства или изготовления, то выявление случайных погрешностей требует специального изучения средств и условий изготовления деталей на основе методов математической статистики, а полное их исключение невозможно.

Действительный и предельные размеры. Допуск размера

Действительным размером (D_d, d_d) называется размер, установленный измерением с допускаемой погрешностью. Два предельно допускаемых размера, между которыми должен находиться действительный размер годной детали, называются предельными размерами. Деталь считается годной и в том случае, если действительный размер равен предельному. Большой из двух предельных размеров называется *наибольшим предельным размером* (D_{max}, d_{max}), меньший – *наименьшим предельным размером* (D_{min}, d_{min}) – рис. 1.4.

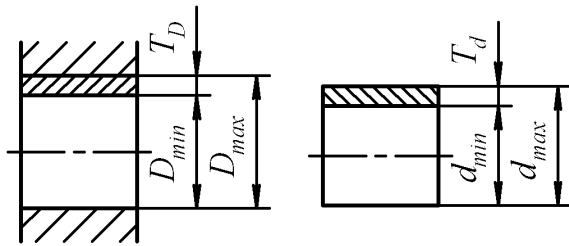


Рис. 1.4

Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется *допуском* размера:

$$\text{для отверстия} \quad T_D = D_{max} - D_{min}; \quad (1.7)$$

$$\text{для вала} \quad T_d = d_{max} - d_{min}. \quad (1.8)$$

Допуск является мерой точности размера. Чем меньше допуск, тем выше требуемая точность детали, тем меньше допускается колебание действительных размеров деталей и, следовательно, колебание зазоров и натягов в соединении. И, наоборот, низкая точность характеризуется большим допуском. Допуск непосредственно влияет на трудоемкость изготовления и себестоимость деталей.

Чем больше допуск, тем проще и дешевле изготовление. От допуска в значительной степени зависит выбор оборудования и средств контроля, разрядность рабочей силы, производительность обработки (о выборе допуска см. п. 1.6).

Два предельных размера детали в ряде случаев целесообразно подразделять на *проходной* и *непроходной* пределы. *Проходной предел* – это определение, применимое к тому из двух предельных размеров, который соответствует максимальному количеству материала детали: к нижнему пределу для отверстия (D_{min}) и верхнему пределу для вала (d_{max}). В случае контроля деталей предельными калибрами (см. п. 1.3) проходной предел соответствует предельному размеру, проверяемому проходным калибром. *Непроходной предел* – определение, применяемое к тому из двух предельных размеров, который соответствует минимальному количеству материала детали и проверяется непроходным калибром: к верхнему пределу для отверстия (D_{max}) и нижнему пределу для вала (d_{min}).

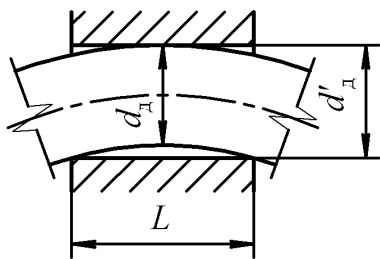


Рис. 1.5

Понятие о действительном и предельных размерах требует дополнительных разъяснений, которые учитывали бы неизбежные отклонения формы реальных поверхностей. Отклонения формы приводят к тому, что действительный размер (который определяется как расстояние между диаметрально противоположными точками поверхности в нормальном сечении, проверяемое двухконтактным средством измерения) в различных сечениях и точках поверхности одной и той же детали может быть неодинаков. Таким образом, реальный элемент детали характеризуется не одним, а совокупностью действительных размеров. Предельными размерами должны быть ограничены все действительные размеры рассматриваемого элемента. Для сопрягаемых элементов и этого условия недостаточно, поскольку могут быть такие отклонения формы (например, изогнутость, – см. п. 2.2), при которых ни один из действительных размеров не характеризует возможность соединения с сопрягаемой деталью и получающихся в соединении зазоров или натягов. Например, изогнутый валик, показанный на рис. 1.5, нельзя свободно ввести в отверстие правильной формы с таким же диаметром ($D_d = d_d$). Сборка без усилия с сохранением возможности взаимного перемещения вала и отверстия в данном случае может быть при условии, что $D_d \geq d'_d$, где d'_d – диаметр описанного вокруг вала цилиндра с длиной L , равной осевой длине соединения. Этот цилиндр имитирует сопрягаемую деталь – отверстие правильной формы, находящееся в плотном соединении (с нулевым зазором и натягом) с данным валом. Поэтому применительно к цилиндрическим сопрягаемым отверстиям и валам предельные размеры должны истолковываться следующим образом. Для *отверстий* диаметр наибольшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть вписан в отверстие так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками его поверхности, не должен быть меньше, чем проходной предел размера (D_{min}), а наибольший действительный диаметр отверстия в любой точке не должен быть больше, чем непроходной предел размера (D_{max}). Для *валов* диаметр наименьшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть описан вокруг вала так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками его поверхности, не должен быть больше, чем проходной предел размера (d_{max}), а наименьший действительный размер вала в любой точке не должен быть меньше, чем непроходной предел размера (d_{min}). Такое истолкование предельных размеров, известное как принцип подобия, или правило Тейлора, позволяет ограничить пределами допуска размера любое отклонение формы сопрягаемых поверхностей и положено в основу проектирования предельных калибров (см. п. 1.3).

Номинальный размер. Отклонения. Поле допуска

При построении системы допусков и посадок, выполнении чертежей и измерениях размер, как правило, удобнее выражать не в абсолютной форме – полным числовым значением, – а с помощью отклонения его от номинального размера.

Номинальным размером (D_n , d_n) называется размер, который служит началом отсчета отклонений и относительно которого определяются предельные размеры. Номинальный размер указывают в чертежах деталей. Он выбирается не произвольно, а исходя из функционального назначения детали путем расчета (на прочность, жесткость и т. п.) и на основе других конструктивных и технологических соображений. При этом расчетное значение размера должно округляться до ближайшего нормального линейного размера (см. табл. 1.2), большего или меньшего, а при расчете на прочность – только до ближайшего большего.

Отклонением размера называется алгебраическая разность между размером (действительным, предельным и т. д.) и соответствующим номинальным размером. Отклонения, в отличие от размеров, которые всегда выражаются положительными числами, могут быть и положительными (со знаком плюс), если размер больше номинального, и отрицательными (со знаком минус), если размер меньше номинального. Если размер равен номинальному размеру, то его отклонение равно нулю.

Действительным отклонением называется алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами:

$$\text{для отверстия} \quad E_d = D_d - D_n; \quad (1.9)$$

$$\text{для вала} \quad e_d = d_d - d_n. \quad (1.10)$$

Предельным отклонением называется алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения, применяя при этом краткие термины – верхнее и нижнее отклонения. *Верхнее отклонение* – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами (рис. 1.6 и 1.7):

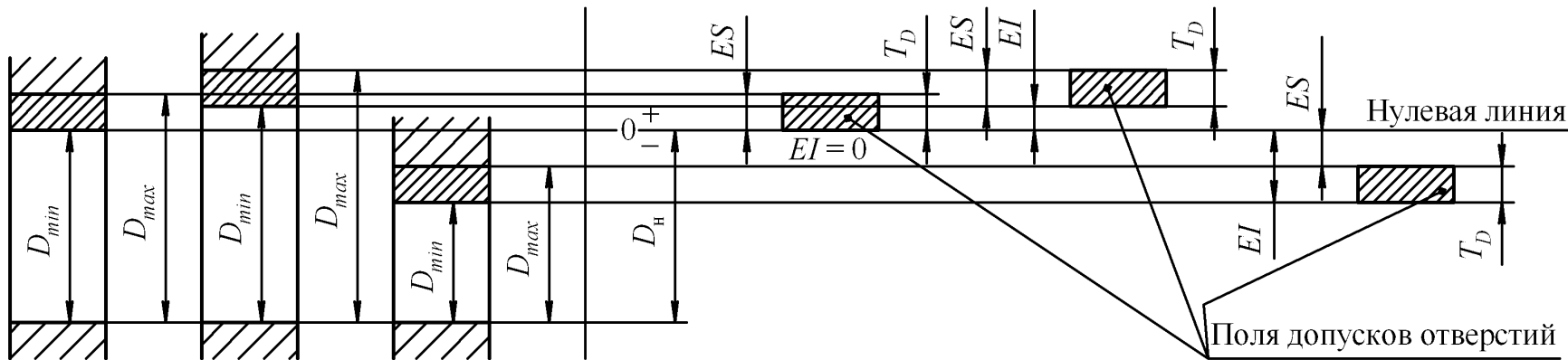
$$\text{для отверстия} \quad ES = D_{max} - D_n; \quad (1.11)$$

$$\text{для вала} \quad es = d_{max} - d_n. \quad (1.12)$$

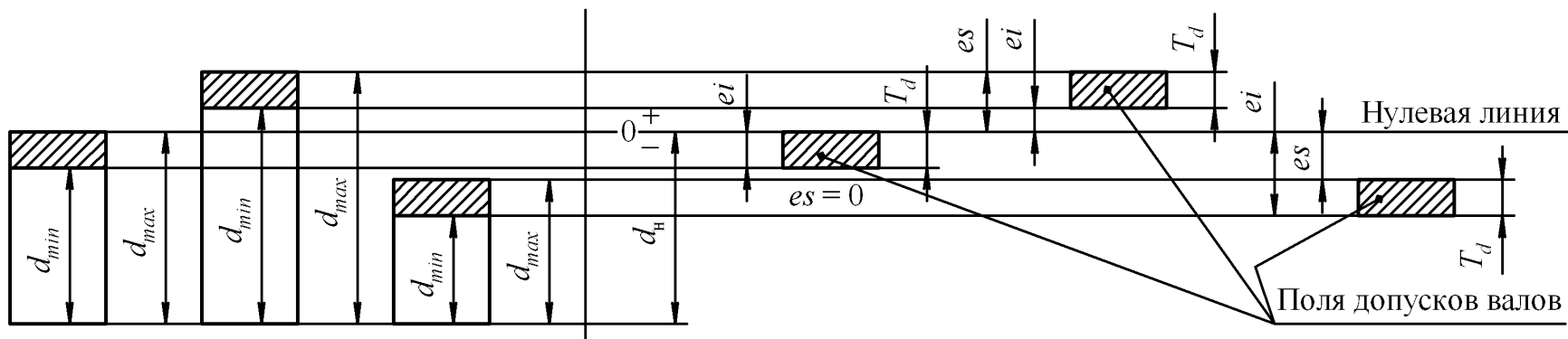
Нижнее отклонение – алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами (рис. 1.6 и 1.7):

для отверстия $EI = D_{min} - D_H;$ (1.13)

для вала $ei = d_{min} - d_H.$ (1.14)



← Рис. 1.6



← Рис. 1.7

При необходимости, пользуясь формулами (1.11) – (1.14), по номинальному размеру и отклонению можно подсчитать соответствующий предельный размер:

$$D_{max} = D_H + ES; \quad (1.11a)$$

$$D_{min} = D_H + EI; \quad (1.13a)$$

$$d_{max} = d_H + es; \quad (1.12a)$$

$$d_{min} = d_H + ei. \quad (1.14a)$$

В эти формулы отклонения должны подставляться со своими знаками.

Допуск размера также может быть определен через предельные отклонения как алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями:

$$T_D = ES - EI; \quad (1.15)$$

$$T_d = es - ei. \quad (1.16)$$

По предельным размерам или предельным отклонениям можно определить средний размер (D_c , d_c) или среднее отклонение (E_c , e_c):

$$D_c = (D_{max} + D_{min})/2; \quad (1.17)$$

$$d_c = (d_{max} + d_{min})/2; \quad (1.18)$$

$$E_c = (ES + EI)/2; \quad (1.19)$$

$$e_c = (es + ei)/2. \quad (1.20)$$

Понятие о номинальном размере и отклонениях упрощает графическое изображение допусков и посадок в виде *схем расположения полей допусков* (см. рис. 1.6 и 1.7). На схемах в условном масштабе откладываются предельные отклонения относительно *нулевой линии* – линии, соответствующей номинальному размеру. Обычно нулевую линию проводят горизонтально. Тогда вверх от нулевой линии откладываются положительные отклонения, вниз – отрицательные. Независимо от знаков предельных отклонений для одного и того же элемента детали линия верхнего отклонения всегда выше линии нижнего отклонения. Зона, заключенная между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям, называется *полем допуска*. Термин «поле допуска» можно применять и не связывая его с графическим изображением допусков и посадок. В этом случае под полем допуска понимают интервал значений, ограниченный верхним и нижним отклонениями, в пределах которого допускаются действительные отклонения размера детали. Поле допуска –

понятие более широкое, чем допуск. Поле допуска характеризуется своей величиной (допуском) и расположением относительно номинального размера. При одном и том же допуске могут быть разные по расположению поля допусков.

Типы посадок. Предельные зазоры и натяги. Допуск посадки

Вследствие колебаний размеров деталей при изготовлении значения зазоров и натягов при сборке деталей также будут колебаться. Действительным зазором или действительным натягом называется соответственно зазор или натяг, определяемые разностью действительных размеров отверстия и вала по формулам (1.1) и (1.2). В соединениях, где необходим зазор, действительный зазор должен находиться между двумя предельными значениями, называемыми *наименьшим* и *наибольшим зазорами* (S_{min} и S_{max}), которые определяются исходя из служебного назначения соединения. Соответственно в соединениях, где необходим натяг, действительный натяг должен находиться между двумя предельными значениями, называемыми *наименьшим* и *наибольшим натягами* (N_{min} и N_{max}), которые определяются исходя из служебного назначения соединения.

Предельные зазоры или натяги чертежами непосредственно не устанавливаются. Для того чтобы обеспечить независимое изготовление деталей соединения, а на сборке получать зазоры или натяги в требуемых пределах без дополнительной пригонки или регулировки деталей, конструктор должен назначать посадку в виде определенного сочетания полей допусков отверстия и вала. При назначении посадок номинальный размер для отверстия и вала, составляющих соединение, является общим (одинаковым) и называется номинальным размером соединения ($d_{н.с} = D_n = d_n$). Предельные зазоры и натяги в посадке в этом случае могут быть рассчитаны как по разности предельных размеров отверстия и вала, так и по разности их предельных отклонений.

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала различают посадки трех типов: с зазором, натягом и переходные.

Посадкой с зазором называется посадка, при которой обеспечивается зазор в соединении. В посадке с зазором поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала (рис. 1.8).

Для посадок с зазором:

$$S_{min} = D_{min} - d_{max} = EI - es; \quad (1.21)$$

$$S_{max} = D_{max} - d_{min} = ES - ei. \quad (1.22)$$

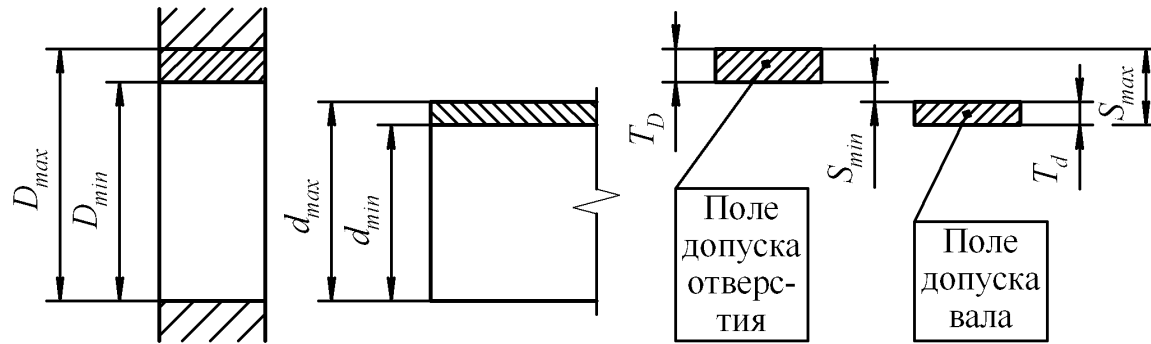


Рис. 1.8

Допуск зазора

$$T_S = S_{max} - S_{min} = (ES - EI) + (es - ei) = T_D + T_d. \quad (1.23)$$

Значение S_{min} иногда называют «гарантированным зазором». К посадкам с зазором относятся также и так называемые скользящие посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала. Для них $S_{min} = 0$.

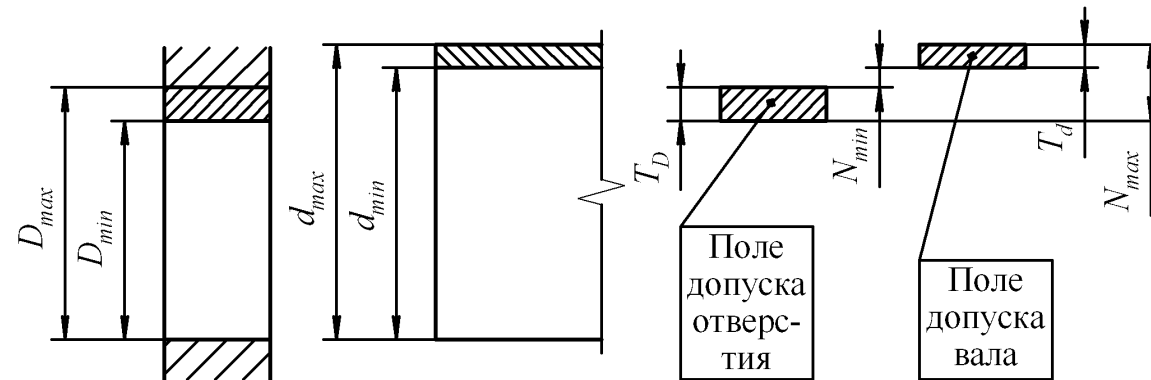


Рис. 1.9

Посадкой с натягом называется посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении. В такой посадке поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала (рис. 1.9). Для посадок с натягом:

$$N_{min} = d_{min} - D_{max} = ei - ES; \quad (1.24)$$

$$N_{max} = d_{max} - D_{min} = es - EI. \quad (1.25)$$

Допуск натяга

$$T_N = N_{max} - N_{min} = (es - ei) + (ES - EI) = T_D + T_d. \quad (1.26)$$

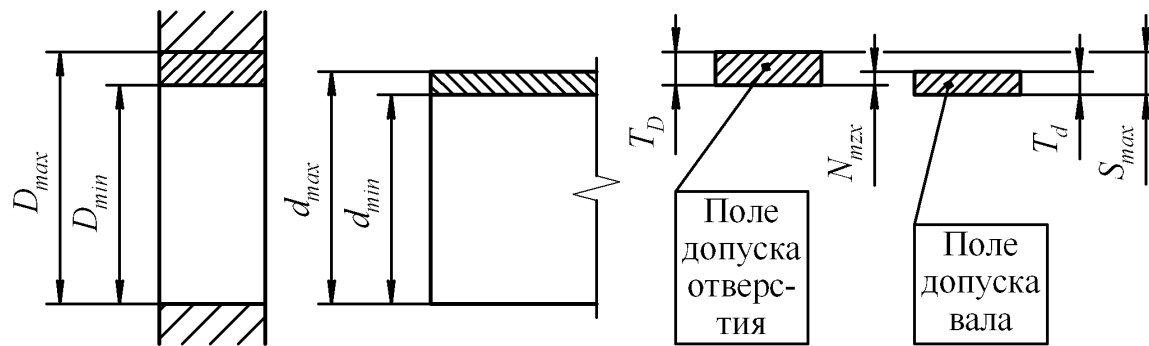


Рис. 1.10

Переходной посадкой называется посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга. В такой посадке поля допусков отверстия и вала полностью или частично перекрывают друг друга (рис. 1.10). Переходные посадки характеризуются наибольшими значениями натяга и зазора:

$$N_{max} = es - EI; \quad (1.27)$$

$$S_{max} = ES - ei. \quad (1.28)$$

Наибольший зазор переходной посадки часто представляют в виде отрицательного наименьшего натяга, т. е.

$$N_{min} = -S_{max} = ei - ES.$$

Допуск посадки (допуск натяга или допуск зазора) для переходной посадки

$$T_N = T_S = N_{max} - N_{min} = S_{max} - S_{min} = (ES - EI) + (es - ei) = T_D + T_d. \quad (1.29)$$

Таким образом, для любой посадки, независимо от ее типа, *допуск посадки* есть сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

При расчете и выборе посадок конструктора могут интересовать не только предельные зазоры и натяги, но и средние, обычно наиболее вероятные, зазоры и натяги.

Средний зазор есть среднее арифметическое между наибольшим и наименьшим зазорами:

$$S_c = (S_{max} + S_{min})/2, \quad (1.30)$$

ИЛИ

$$S_c = E_c - e_c. \quad (1.30a)$$

Средний натяг есть среднее арифметическое между наибольшим и наименьшим натягами:

$$N_c = (N_{max} + N_{min})/2, \quad (1.31)$$

или

$$N_c = e_c - E_c. \quad (1.31a)$$

В переходных посадках средний натяг рассчитывают по формулам

$$N_c = (N_{max} + N_{min})/2 = (N_{max} - S_{max})/2, \quad (1.32)$$

или

$$N_c = e_c - E_c \quad (1.32a)$$

(результат со знаком минус будет означать, что среднее значение для посадки соответствует зазору).

Система допусков и посадок. Степени точности. Система отверстия. Система вала

Системой допусков и посадок называется закономерно построенная совокупность стандартизованных допусков и предельных отклонений размеров деталей, а также посадок, образованных отверстиями и валами, имеющими стандартные предельные отклонения. Системы допусков и посадок разрабатываются по отдельным типам соединений, например для гладких цилиндрических и плоских соединений, для гладких конических, шпоночных, шлицевых и других соединений. В

пределах соответствующего типа соединений область применения системы допусков и посадок обычно не ограничивается какими-либо конкретными видами машин или приборов, материалов деталей и другими условиями.

Стандартизация систем допусков и посадок и их применение при проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте машин и приборов дает большой технико-экономический эффект. Система допусков и посадок прежде всего сводит к достаточному минимуму количество различных полей допусков для размеров деталей, устанавливая тем самым технически и экономически обоснованную градацию числовых значений допусков деталей, зазоров и натягов в посадках. Это наряду со стандартизацией номинальных размеров (см. п. 1.2) создает необходимую основу для сокращения типоразмеров деталей, их унификации, организации специализированного производства деталей и сборочных единиц общемашиностроительного применения. Ограниченный набор полей допусков и деталей является основой стандартизации и специализированного производства размерных (рассчитанных на изготовление и контроль размеров в заранее установленных пределах) режущих инструментов и калибров.

Выбор и назначение допусков и посадок по стандартным системам требует от конструкторов меньше времени, обоснований и проверок по сравнению с внесистемными, так называемыми специальными допусками и посадками. Уже при построении системы в нее закладываются обобщенные функциональные и технологические закономерности, учитывающие наиболее распространенные разновидности соединений и влияние размерных параметров деталей на характер и требуемую точность соединений. Дальнейшая рационализация достигается тем, что стандартные наборы допусков и посадок облегчают систематизацию опыта их назначения и разработку различных руководств, методик и рекомендаций по выбору допусков и посадок, обучение конструкторов и производственного персонала. Условные обозначения допусков и посадок, устанавливаемые в стандартных системах, упрощают оформление чертежей и другой технической документации, облегчают маркировку инструментов и калибров.

Таким образом, ограничения, налагаемые системой допусков и посадок на выбор числовых значений допусков, предельных отклонений, зазоров и натягов, конструктор должен рассматривать не как препятствие в реализации технических замыслов, а как средство повышения эффективности конструкторского труда и производства машин и приборов в целом. Общее правило состоит в том, что стандартный допуск проще и дешевле выбрать и назначить при проектировании и обеспечить при изготовлении, чем специальный. Применение специальных допусков и посадок должно быть технически и экономически обосновано.

При построении различных систем допусков и посадок используются некоторые общие понятия, изложенные ниже.

Градация допусков в системе устанавливается в виде набора *степеней* или *классов точности*. Под степенью точности (классом точности) понимается совокупность допусков, соответствующих одному уровню точности для всех номинальных

размеров (рис. 1.12). Степени точности обычно обозначают числами – порядковыми номерами. В каждой степени точности допуск подсчитывается по уравнению, связывающему его с одним (в некоторых системах – несколькими) размерным параметром соединения. Чтобы представить значения непрерывной функции допуска в табличной форме, удобной для построения и применения системы, весь диапазон номинальных размеров, охватываемых системой, разбивают на *интервалы номинальных размеров*. Для каждого интервала устанавливается постоянное значение допуска, вычисленное по одному из значений размеров данного интервала, например среднему геометрическому (рис. 1.12). Любой из допусков, устанавливаемых таким образом системой допусков и посадок, называется *допуском системы* или *стандартным допуском*.

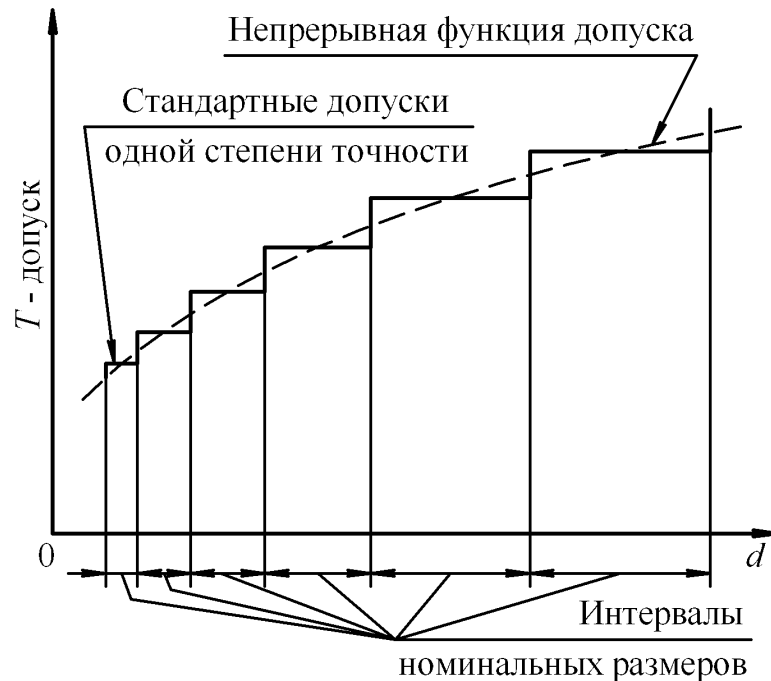


Рис. 1.12

Множитель в уравнении допусков, являющийся функцией номинального размера, называется *единицей допуска*. Уравнения допусков для различных степеней точности отличаются друг от друга безразмерными коэффициентами при единице допуска, не зависящими от номинального размера. Эти коэффициенты определяют количество единиц допуска в стандартном допуске. Для каждой степени точности оно постоянно.

Стандартные допуски не только используются при определении предельных отклонений, но и имеют самостоятельное значение, образуя шкалу точностей, применяемую при оценке точности оборудования, способов обработки, средств и методов измерения и т. д.

Для получения посадок системой устанавливаются наборы полей допусков отверстий и валов, различающихся величиной (допуском) и расположением относительно нулевой линии. Одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения расположения поля допуска относительно нулевой линии, называется *основным отклонением*. Как правило, основным является ближайшее к нулевой линии предельное отклонение. Расположение поля допуска (основное отклонение) обычно обозначают буквами (подробнее об основных отклонениях см. п. 1.3).

Посадки устанавливают сочетанием полей допусков отверстия и вала. Для унификации деталей и инструмента наиболее рациональным является такой способ образования посадок, когда

одна деталь (отверстие или вал) в различных посадках имеет постоянное расположение поля допуска, а требуемый характер посадки обеспечивается подбором расположения поля допуска другой детали соединения (соответственно вала или отверстия). Деталь, имеющая в посадках постоянное расположение поля допуска, является как бы основанием системы посадок и носит название «основное отверстие» или «основной вал». В системе допусков и посадок *основным отверстием* называется отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю, а *основным валом* называется вал, верхнее отклонение которого равно нулю.

По виду основной детали различают посадки в системе отверстия и системе вала. Посадки в *системе отверстия* – посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием (рис. 1.13, а). Посадки в *системе вала* – посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом (рис. 1.13, б). О выборе системы посадок см. п. 1.6. В некоторых случаях целесообразно применение посадок, образованных таким сочетанием полей допусков отверстия и вала, когда ни одна из деталей не является основной. Такие посадки будем называть внесистемными.

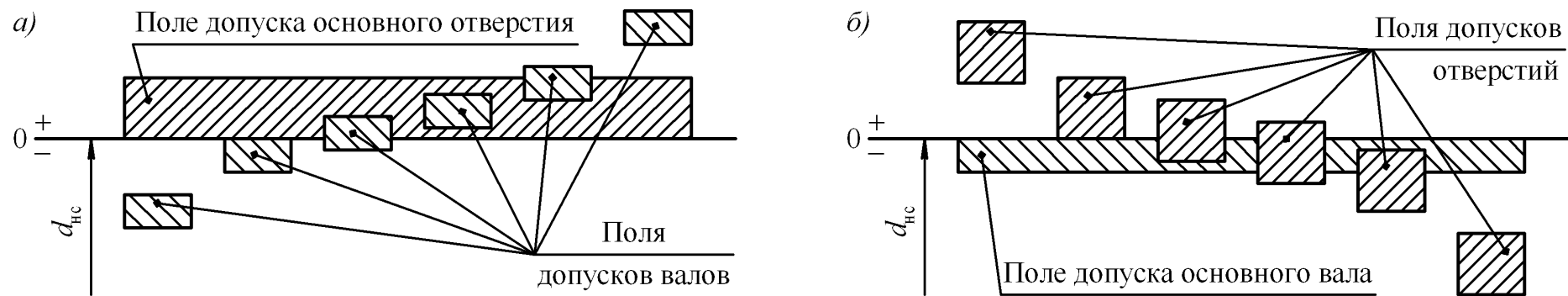


Рис. 1.13

Взаимозаменяемость и ее значение в машиностроении

Взаимозаменяемость – это свойство независимо изготовленных деталей и сборочных единиц машин и приборов обеспечивать возможность беспригоночной сборки (или замены при ремонте) сопрягаемых деталей в сборочную единицу, а

сборочных единиц – в изделие при соблюдении предъявляемых к ним технических требований. Взаимозаменяемыми могут быть и изделия в целом. Для обеспечения взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц они должны быть изготовлены с заданной точностью, т. е. так, чтобы их размеры, форма поверхностей и другие параметры находились в пределах, заданных при проектировании изделия.

Взаимозаменяемость есть комплексное понятие, которое не только сводится к собираемости деталей и сборочных единиц при изготовлении изделия, но и охватывает существенные технические и экономические вопросы проектирования, производства и эксплуатации машин и приборов.

Взаимозаменяемость обеспечивается соблюдением в заданных пределах не только геометрических параметров сопрягаемых деталей, но и электрических, оптических, гидравлических, пневматических и других физико-механических параметров деталей и сборочных единиц машин, соблюдением кинематических и динамических параметров звеньев механизмов и т. п.

Взаимозаменяемость конструкций должна обеспечиваться с исходного материала, заготовок и полуфабрикатов (однородность химического состава, прочностные характеристики, физические и технологические свойства, точность размеров и формы) и в дальнейшем неуклонно проводится на всех этапах проектирования и изготовления изделия (выбор запасов прочности и методов расчета; осуществление унификации и стандартизации размерных и других параметров качества деталей, узлов и изделий; выбор соответствующего оборудования, инструмента и приспособлений; применение рациональных технологических процессов обработки и сборки, а также средств и методов контроля; установление необходимой квалификации рабочих и т. п.).

Для повышения качества, надежности и долговечности работы машин и приборов при улучшении экономических показателей их изготовления и эксплуатации особое значение имеет такое направление взаимозаменяемости, при котором в допустимых пределах обеспечиваются эксплуатационные показатели изделий (характеристики рабочих процессов, мощность, производительность, кинематическая точность, срок службы и т. д.). Это направление называют *функциональной взаимозаменяемостью*. При этом имеется в виду не столько особый вид взаимозаменяемости (общее определение взаимозаменяемости также предполагает обеспечение предъявленных к изделию технических требований), сколько метод определения параметров деталей, подлежащих нормированию и пределов допустимых погрешностей этих параметров.

Согласно методу функциональной взаимозаменяемости, прежде всего необходимо выявить функциональные параметры, т. е. параметры, влияющие на эксплуатационные свойства изделий или служебные функции их деталей и узлов. Ими могут быть геометрические, электрические, механические другие параметры. Для этого необходимо аналитически или экспериментально установить степень влияния этих параметров и их отклонений на эксплуатационные показатели нового

изделия и в процессе его длительной эксплуатации. Изучаемые связи могут иметь характер функциональной или вероятностной (корреляционной) зависимости. Пользуясь найденными зависимостями и исходя из допустимых отклонений эксплуатационных показателей изделий, устанавливают экономически оптимальные допуски на функциональные параметры деталей и сборочных единиц. Допускаемые отклонения эксплуатационных показателей машины или прибора определяют исходя из служебного назначения, требований к их надежности, безопасности и др.

Взаимозаменяемость лежит в основе важнейших принципов и форм организации современного производства. Из самого определения взаимозаменяемости следует, что она является предпосылкой расчленения производства, независимого изготовления деталей, сборочных единиц и агрегатов. На этой базе организуется серийное и массовое (поточное) производство, осуществляется автоматизация и механизация производственных процессов, в том числе и сборки, широкая специализация и кооперирование производства. Взаимозаменяемость деталей, узлов и механизмов позволяет внедрить агрегатирование, организовать поставку запасных частей, облегчить ремонт, особенно в сложных условиях, сводя его к замене изношенных частей. Принцип взаимозаменяемости широко используется также в мелкосерийном и единичном производстве. На основе взаимозаменяемости достигается высокое качество изготавливаемой продукции, так как при этом при этом используются методы и средства объективной количественной оценки параметров деталей.

Различают *полную* и *ограниченную взаимозаменяемость* деталей, собираемых в соответствующие сборочные единицы. Полностью взаимозаменяемыми называются такие детали, которые при сборке могут занимать определенные места в машине без каких-либо операций обработки, подбора или регулирования и выполнять при этом свои функции в соответствии с заданными техническими условиями. Полностью взаимозаменяемыми могут быть самые разнообразные детали машин, начиная от самых простых (валики, втулки, пальцы и т. п.) и кончая наиболее сложными (зубчатые колеса, червяки, резьбовые детали и др.). Ограниченно взаимозаменяемыми (неполностью взаимозаменяемыми) называются такие детали, при сборке или смене которых может потребоваться групповой подбор деталей (селективная сборка), применение компенсаторов, регулирование положения некоторых частей узла, пригонка. Полностью или ограниченно взаимозаменяемыми могут быть не только отдельные детали, но и их совокупности, сборочные единицы, например блоки цилиндров, муфты сцепления, подшипники качения, свечи зажигания к двигателям внутреннего сгорания, объективы фотоаппаратов и микроскопов, агрегатные узлы и т. п. Существует ряд способов определения необходимых размеров, предельных отклонений и приемов обработки и сборки, применяемых как в условиях полной взаимозаменяемости, так и в условиях различных по уровню видов ограниченной взаимозаменяемости.

Тот или иной уровень взаимозаменяемости определяется эксплуатационными требованиями (запасные и сменные части, присоединительные элементы механизмов, сборочных единиц, групп и т. п.) и требованиями рационального

производства (уменьшение пригоночных и ручных работ при сборке, удешевление изготовления и т. п.). В тех случаях, когда условия полной взаимозаменяемости требуют изготовления деталей со столь высокой точностью, которая не может быть обеспечена экономичными способами или вообще недостижима, переходят к одному из видов ограниченной взаимозаменяемости. Переход к ограниченной взаимозаменяемости может быть обусловлен также малым объемом производства, не дающим возможности рационально использовать надлежащие инструменты, приспособления и пр.; обширной номенклатурой изготавливаемых изделий, приводящей к чрезмерному расширению инструментального хозяйства; особо сложной формой деталей, затрудняющих их обработку и контроль и т. п. Уровень взаимозаменяемости обычно тем выше, чем больше производство приближается к массовому. Взаимозаменяемость, необходимая по эксплуатационным требованиям, должна обеспечиваться при всех типах производства.

Удельный вес взаимозаменяемых деталей во всей совокупности деталей соответствующего изделия характеризуется коэффициентом взаимозаменяемости, под которым понимается отношение трудоемкости изготовления взаимозаменяемых деталей к общей трудоемкости изготовления изделия.

Базой для осуществления взаимозаменяемости в современном промышленном производстве является стандартизация. Стандарты, в которых регламентируются требования взаимозаменяемости, можно подразделить на предметные, распространяющиеся лишь на конкретные изделия, и нормы общего назначения. В предметных стандартах устанавливаются в основном требования *внешней взаимозаменяемости*, определяющие возможности использования объекта стандартизации – машины, прибора, узла или детали. Эти требования охватывают основные и присоединительные размеры, их предельные отклонения, выходные эксплуатационные или функциональные характеристики. Однако одними предметными стандартами задача нормирования параметров взаимозаменяемости не может быть решена, так как они не распространяются на взаимозаменяемость узлов и деталей, входящих в стандартизуемое изделие (*внутреннюю взаимозаменяемость*), и не могут охватить всех изделий, особенно нового проектирования.

Решение этих задач, а также необходимая увязка предметных стандартов осуществляется на базе *общих норм взаимозаменяемости*. Стандарты этой группы имеют фундаментальное значение и создают предпосылки для наиболее эффективного применения принципов взаимозаменяемости. Они позволяют:

1) установить единые термины и определения, необходимые для однозначного понимания требований взаимозаменяемости на всех стадиях проектирования, изготовления и контроля изделий;

2) свести возможное многообразие числовых характеристик параметров взаимозаменяемости (размеров, предельных отклонений и т. п.) к ограниченному ряду значений с экономически и технически обоснованной градацией (стандартные ряды номинальных размеров, диаметров и шагов, модулей, степени и классы точности, поля допусков и др.); на этой основе

достигается сокращение номенклатуры изделий, их унификация, повышение серийности, специализация и кооперирование производства;

3) ограничить размерную и точностную номенклатуру средств изготовления, инструментов, технологической оснастки, измерительных приборов, калибров и создать предпосылки для их специализированного производства, многократного использования, упорядочения инструментального производства, сокращения сроков подготовки основного производства;

4) обеспечить единообразие методов и средств контроля изделий;

5) повысить уровень качества продукции на основе прогрессивных стандартных показателей;

6) систематизировать и обобщить опыт проектирования, сократить его сроки и повысить качество.

В соответствии с перечисленными функциями стандартами общего назначения регламентируются: терминология, ряды номинальных размеров и номинальные профили, ряды допусков и предельных отклонений, посадки, допуски калибров и нормы точности измерительных средств. К комплексу стандартов, обеспечивающих взаимозаменяемость, примыкают также стандарты на оборудование, инструмент, систему конструкторской и технологической документации, общие конструктивные элементы (например, цилиндрические и конические концы валов, радиусы закруглений, выходы резьбы, сбеги, проточки, фаски и др.).

Общие нормы разрабатываются с учетом потребностей различных отраслей промышленности. Для правильного их применения в условиях одной отрасли или предприятия необходимо разрабатывать ограничительные стандарты и другую нормативную документацию отрасли или предприятия, ограничивая и конкретизируя область применения общих норм.

Успешное решение вопросов взаимозаменяемости во многом зависит от правильного решения конструктивных, технологических и метрологических задач при проектировании и производстве деталей, механизмов и машин и обеспечивается прежде всего надлежащей разработкой рабочих чертежей. При этом необходимо учитывать, что проектируемые изделия должны состоять из следующих узлов и групп:

1) сопрягающихся между собой по возможности на одной базовой поверхности в направлении каждой из осей координат;

2) обеспечивающих наименьшее число контактных поверхностей, что сокращает число взаимосвязанных размеров;

3) обеспечивающих наиболее легкую сборку и разборку, а также наивыгоднейшие способы ремонта изделия и замены изношенных частей;

4) способствующих возможности организации широкого кооперирования;

5) обладающих достаточной прочностью и жесткостью при минимальной массе и габаритных размерах изделия и т. п.

Кроме того, при разработке рабочих чертежей необходимо предусматривать:

- 1) максимальную унификацию диаметров, длин, полей допусков, резьб, покрытий, радиусов закруглений и других конструктивных элементов;
- 2) максимальное применение стандартных, нормализованных и типовых деталей, сборочных единиц (узлов) и т. л.;
- 3) возможность использования в качестве базовых гладких простых поверхностей достаточной протяженности;
- 4) наличие зазора по всем поверхностям, кроме одной, в случае сопряжения двух деталей по нескольким симметричным или соосным поверхностям;
- 5) выполнение всех требований стандартов ЕСКД.

НАНЕСЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ РАЗМЕРОВ

(Из ГОСТ 2.307 – 2011 Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений)

6.1 На чертежах предельные отклонения размеров следует указывать непосредственно после номинальных размеров или оговаривают общей записью в технических требованиях. Предельные отклонения линейных и угловых размеров относительно низкой точности допускается не указывать непосредственно после номинальных размеров, а оговаривать общей записью в технических требованиях чертежа при условии, что эта запись однозначно определяет значения и знаки предельных отклонений.

Общая запись о предельных отклонениях размеров с неуказанными допусками должна содержать условные обозначения предельных отклонений линейных размеров в соответствии с ГОСТ 25346 и ГОСТ 25348 (для отклонений по квалитетам) или ГОСТ 30893.1 (для отклонений по классам точности). Симметричные предельные отклонения, назначаемые по квалитетам, следует обозначать $\pm IT/2$ с указанием номера квалитета.

Обозначения односторонних предельных отклонений по квалитетам, назначаемых только для круглых отверстий и валов, дополняется знаком диаметра (\varnothing). Примеры общих записей, соответствующие вариантам по ГОСТ 30893.1 для 14-го квалитета и (или) класса точности «средний» приведены в таблице 1.

Таблица 1

Номер варианта	Пример записи условными обозначениями
1	Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – 2002: $H14, h14, \pm t_2/2$ или Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – 2002: $H14, h14, \pm IT14/2$
2	Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – 2002: $+t_2, -t_2, \pm t_2/2$

Примечание – В примерах указаны предельные отклонения для размеров отверстий, размеров валов и размеров элементов, не относящихся к отверстиям и валам.

6.2 Неуказанные предельные отклонения радиусов скруглений, фасок и углов не оговаривают отдельно, они должны соответствовать приведенным в ГОСТ 30893.1 в соответствии с квалитетом или классом точности неуказанных предельных отклонений линейных размеров.

В случае необходимости дополнительного указания общих допусков линейных размеров ссылка должна содержать номер стандарта и буквенное обозначение класса точности, например для класса точности «средний»:

«Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – m» или «ГОСТ 30893.1 – m» (m – класс точности «средний» общих допусков линейных размеров по ГОСТ 30893.1).

Если все предельные отклонения линейных размеров указаны после номинальных размеров (общая запись отсутствует), то неуказанные предельные отклонения радиусов скруглений, фасок и углов должны соответствовать приведенным в ГОСТ 30893.1 для классов точности по таблицам 2, 3 и в графическом документе не оговариваются.

6.3 Предельные отклонения линейных размеров указывают условными обозначениями полей допусков в соответствии с ГОСТ 25436, например $18H7$, $12e8$ или числовыми значениями $18^{+0,018}$, $12_{-0,058}^{-0,032}$ или условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках их числовых значений, например $18 H7^{(+0,018)}$, $12 e8^{(-0,032)_{(-0,058)}}$.

При указании номинальных размеров буквенными обозначениями поле допуска должно быть указано после тире, например $D - H11$.

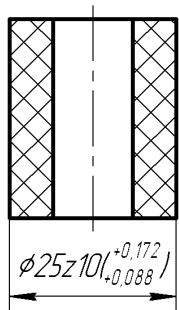


Рисунок 80

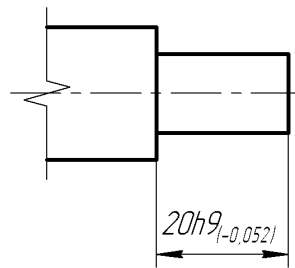


Рисунок 81

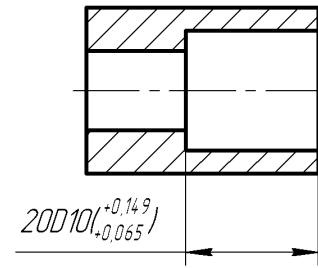


Рисунок 82

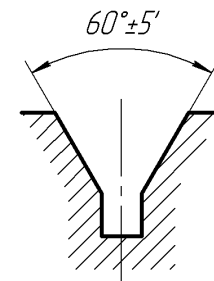


Рисунок 83

6.4 При указании предельных отклонений условными обозначениями обязательно и указание их числовых значений в следующих случаях:

а) при назначении предельных отклонений (установленных стандартами на допуски и посадки) размеров, не включенных в ряды нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636, например $41,5H7^{(+0,025)}$;

б) при назначении предельных отклонений, условные обозначения которых не предусмотрены ГОСТ 25347, например для пластмассовой детали с предельными отклонениями по ГОСТ 25349 (см. рисунок 80);

в) при назначении предельных отклонений уступов с несимметричным полем допуска (см. рисунки 81, 82).

6.5 Предельные отклонения угловых размеров указывают только числовыми значениями (см. рисунок 83).

6.6 При записи предельных отклонений числовыми значениями верхнее отклонение помещают над нижним. Предельные отклонения, равные нулю, не указывают, например: $60_{-0,032}^{+0,014}$; $60_{-0,174}^{+0,100}$; $60^{+0,19}$; $60_{-0,19}$.

При симметричном расположении поля допуска абсолютные значения отклонений указывают один раз со знаком «±», при этом высота цифр, определяющих отклонения, должна быть равна высоте шрифта номинальных размеров, например $60\pm 0,23$.

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

(Орлов П. И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн.1. М.: 1988. С. 287 – 295)

Качество поверхностного слоя определяется совокупностью характеристик: физико-механическим состоянием, микроструктурой металла поверхностного слоя шероховатостью поверхности. Состояние поверхностного слоя влияет на эксплуатационные свойства машин: износостойкость, виброустойчивость, контактную жесткость, прочность соединений, прочность конструкции при циклических нагрузках.

Параметры и характеристики шероховатости поверхности установлены ГОСТ 21789 – 73, требования к другим характеристикам поверхностного слоя назначают по руководящим материалам предприятия.

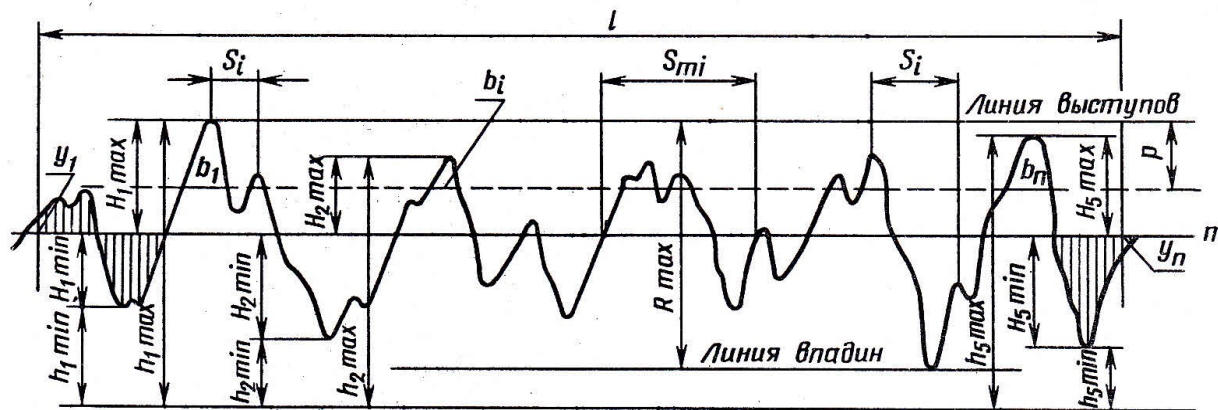


Рис. 279. К определению параметров шероховатости поверхности нормируются, служит средняя линия профиля (рис. 279) – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение до этой линии было минимально.

Для оценки шероховатости поверхности ГОСТ 21789 – 73 предусматривает шесть параметров:

высотные: R_a – среднее арифметическое отклонение профиля; R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам; R_{max} – наибольшая высота профиля;

шаговые: S – средний шаг неровностей профиля по вершинам; S_m – средний шаг неровностей профиля по средней линии;

высотно-шаговый: t_p – относительная опорная длина профиля.

Базой для отсчета высот выступов и впадин неровностей, свойства которых

нормируются, служит средняя линия профиля (рис. 279) – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение до этой линии было минимально.

Через высшую и нижнюю точки профиля в пределах базовой длины l проводят линии выступов и впадин профиля, эквидистантно средней линии. Расстояние между этими линиями определяет наибольшую высоту неровностей профиля R_{max} .

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra определяется как среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_l^l |y(x)| dx \quad \text{или приближенно} \quad Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|.$$

Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz равна средней арифметической суммы абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов $H_{i min}$ и пяти наибольших максимумов $H_{i max}$ профиля в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i min}| \right).$$

Вместо средней линии, имеющей форму отрезка прямой, определяют расстояние от высших точек пяти наибольших максимумов $h_{i max}$ и низших точек пяти наибольших минимумов $h_{i min}$ до линии, параллельной средней и не пересекающей профиль.

Тогда

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{i max} - \sum_{i=1}^5 h_{i min} \right).$$

Средний шаг неровностей S вычисляется как среднее арифметическое значение шага неровностей S_{mi} в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi} .$$

Средний шаг неровностей профиля по вершинам S – среднее арифметическое значение шага неровностей по вершинам S_i в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i .$$

Под опорной длиной профиля η_p понимают сумму длин отрезков в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне в материале выступов профиля линией, эквидистантной средней линии.

Относительная опорная длина профиля l_p определяется как отношение опорной длины профиля η_p к базовой длине:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n bp_i .$$

Требования к шероховатости поверхности по ГОСТ 2789 – 73 устанавливают указанием числовых значений параметров. В дополнение к количественным параметрам для более полной характеристики шероховатости указывают направление неровностей (условное обозначение – см. рис. 280), вид обработки поверхности или последовательность видов обработки (рис. 281 – 283).

В обозначении шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктором не устанавливается, применяется знак, приведенный на рис. 282, *а*; если поверхность образована с удалением слоя материала – знак, приведенный на рис. 282, *б*; и для поверхности, образованной без удаления слоя материала, – знак, приведенный на рис. 282, *в*.

Таблица 29 – Параметры шероховатости

Класс шероховатости ¹	микрометры		
		<i>Ra</i>	<i>Rz</i>
1	50	80; 63; 40	320; 250; 200; 160
2	25	40; 32; 20	160; 125; 100; 80
3	12,5	20; 16; 10	80; 63; 50; 40
4	6,3	10; 8; 5	40; 32; 25; 20
5	3,2	5; 4; 2,5	20; 16; 12,5; 10
6	1,6	2,5; 2,0; 1,25	10,0; 8,0; 6,3
7	0,80	1,25; 1,00; 0,63	6,3; 5,0; 4,0; 3,2
8	0,40	0,63; 0,50; 0,32	3,2; 2,5; 2,0; 1,60
9	0,20	0,32; 0,25; 0,16	1,60; 1,25; 1,00; 0,80
10	0,10	0,160; 0,125; 0,080	0,80; 0,63; 0,50; 0,40
11	0,050	0,080; 0,063; 0,040	0,40; 0,32; 0,25; 0,20
12	0,025	0,040; 0,032; 0,020	0,20; 0,16; 0,125; 0,100
13	0,012	0,020; 0,016; 0,010	0,100; 0,080; 0,063; 0,050
14		0,010; 0,008	0,050; 0,040; 0,032

¹ Классы шероховатости поверхности используются в технической документации, разработанной до 1975 г., параметры шероховатости по ГОСТ 2784 – 73.

Требования к шероховатости поверхности устанавливаются путем задания значения параметра (параметров) и базовой длины. Причем целесообразно пользоваться предпочтительными значениями параметра *Ra* (графа 2, табл. 29). Эти значения находятся вблизи середины диапазона, определяющего данный класс шероховатости. В других случаях могут назначать величины параметров по графам 3 или 4.

Требования к шероховатости поверхности определяются условиями работы поверхности в машине. В общем случае, чем выше требования по точности, тем выше требования и по шероховатости поверхности.

Для грубых качеств с расширенным полем допусков класс шероховатости можно снижать, что уменьшает стоимость изготовления.

Минимальный класс шероховатости поверхности обработки, необходимый для получения различных качеств, можно выбрать по табл. 30.

Таблица 30 – Минимальные требования к шероховатости поверхности в зависимости от допусков размеров и формы

Допуск размера по квалитетам	Допуск формы, % от допуска размера	Номинальные размеры, мм			
		До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500
		Значения Ra, мкм, не более			
IT3	100	0,2	0,4	0,4	0,8
	60	0,1	0,2	0,2	0,4
	40	0,05	0,1	0,1	0,2
IT4	100	0,4	0,8	0,8	1,6
	60	0,2	0,4	0,4	0,8
	40	0,1	0,2	0,2	0,4
IT5	100	0,4	0,8	1,6	1,6
	60	0,2	0,4	0,8	0,8
	40	0,1	0,2	0,4	0,4
IT6	100	0,8	1,6	1,6	3,2
	60	0,4	0,8	0,8	1,6
	40	0,2	0,4	0,4	0,8
IT7	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	1,6	3,2
	40	0,4	0,8	0,8	1,6
IT8	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	3,2	3,2
	40	0,4	0,8	1,6	1,6
IT9	100 и 60	3,2	3,2	6,3	6,3
	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	25	0,8	1,6	1,6	3,2

Окончание таблицы 30

Допуск размера по квалитетам	Допуск формы, % от допуска размера	Номинальные размеры, мм			
		До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500
		Значения R_a , мкм, не более			
IT10	100 и 60	3,2	6,3	6,3	6,3
	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	25	0,8	1,6	1,6	3,2
IT11	100 и 60	6,3	6,3	12,5	12,5
	40	3,2	3,2	6,3	6,3
	25	1,6	1,6	3,2	3,2
IT12 и IT13	100 и 60	12,5	12,5	25	25
	40	6,3	6,3	12,5	12,5
IT14 и IT15	100 и 60	12,5	25	50	50
	40	12,5	12,5	25	25
IT16 и IT17	100 и 60	25	50	100	100
	40	25	25	50	50

Примечания: 1 Если относительный допуск формы меньше значений, указанных в таблице, то значения R_a следует назначать не более $0,15T_f$ (T_f – допуск формы).

2 В случаях, когда это необходимо по функциональным требованиям, допускается устанавливать значения R_a менее указанных в таблице.

Классы шероховатости поверхностей, соответствующие различным видам обработки, приведены в табл. 31.

Таблица 31 Шероховатость поверхности, достижимая при различных видах обработки

Вид обработки		Класс шероховатости													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Газовая резка (машинная)		+													
Опиливание			+	+	+										
Сверление				+	+	+									
Строгание	чистовое				+	+	+								
	тонкое						+	+	+						
Фрезерование торцевое	чистовое				+	+	+								
	тонкое					+	+	+							
Фрезерование цилиндрическое	чистовое						+	+							
	тонкое							+	+						
Точение	чистовое					+	+	+							
	тонкое							+	+						
Растачивание	чистовое					+	+								
	тонкое						+	+	+						
Зенкерование						+	+								
Подрезка торцов	чистовая					+	+								
	тонкая						+	+							
Нарезание резьбы наружной	резцом, плашкой, леркой					+	+								
	гребенкой, фрезерованием накатыванием шлифованием							+	+						
Нарезание резьбы внутренней	метчиком, резцом					+	+	+							
	фрезерованием шлифованием						+	+	+						

Продолжение таблицы 31

Вид обработки		Класс шероховатости													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Обработка зубьев колес	строгание, фрезерование					+	+	+	+						
	фрезерование червячной фрезой						+	+	+						
	шевингование							+	+	+					
	шлифование								+	+	+				
	притирка и обкатывание									+	+	+			
Анодно-механическая обработка	рядовая					+	+	+							
	тонкая							+	+	+					
Электрохимическая размерная обработка	рядовая				+	+	+								
	тонкая					+	+	+							
Электроискровая обработка	чистовая						+	+	+						
	тонкая							+	+	+					
Ультразвуковая обработка (отверстия, углубления)						+	+	+	+						
Шабрение	чистовое							+	+	+					
	тонкое								+	+	+				
Развертывание	чистовое						+	+	+						
	тонкое								+	+	+				
Протягивание	чистовое							+	+	+					
	отделочное								+	+	+				
Шлифование плоское	чистовое							+	+	+					
	тонкое								+	+	+				
Шлифование цилиндрическое	<i>наружное:</i> чистовое								+	+	+				
	тонкое									+	+	+			
	<i>внутреннее:</i> чистовое								+	+	+		+		
	тонкое									+	+	+		+	

Окончание таблицы 31

Вид обработки		Класс шероховатости													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Притирка	чистовая								+	+	+				
	тонкая									+	+	+			
Полирование	чистовое								+	+	+				
	тонкое									+	+	+	+		
Хонингование	чистовое								+	+	+				
	тонкое									+	+	+			
Суперфиниширование	тонкое										+	+	+		
	двукратное											+	+	+	+
Дробеструйная обработка		На 1 – 2 класса ниже исходного класса													
Дорнование. Калибрование шариком (отверстия)		На 1 – 2 класса выше исходного (до класса 10)													
Накатывание роликом		На 1 – 2 класса выше исходного (до класса 11)													
Алмазное выглаживание		На 2 – 3 класса выше исходного (до класса 12)													
Жидкосное полирование (гидрохонингование)		На 2 – 3 класса выше исходного (до класса 12)													
Электрополирование		На 2 – 3 класса выше исходного (до класса 14)													
Примечание – Знаком «+» обозначены достижимые при данном виде обработки классы шероховатости															

По условиям обработки получить чистую отделку и точные размеры в отверстиях труднее, чем на валах. Поэтому, как правило, требование к шероховатости поверхности в отверстиях назначают на 1 – 2 класса ниже, чем на валах.

В интересах уменьшения стоимости изготовления рекомендуется применять менее высокие требования к шероховатости, совместимые с условиями надежной работы деталей.

В некоторых случаях (соединения с натягом, подшипники скольжения) существуют оптимальные параметры поверхности, отклонения от которых в ту или другую сторону снижают работоспособность соединений.

Свободные поверхности (не входящие в соединения или расположенные с зазором по отношению к ближайшим поверхностям) следует в интересах экономичности обрабатывать по низким классам шероховатости. Исключение

Посадки подшипников качения:

отверстие в корпусе при классе точности подшипника:	нормальном 0	8 – 9
	повышенном 6	9 – 10
	высоком 5	10 – 11
	прецизионном 4	11 – 12
вал при классе точности подшипника:	нормальном 0	8 – 10
	повышенном 6	10 – 11
	высоком 5	11 – 12
	прецизионном 4	12 – 13

Тела качения в контактно-нагруженных сочленениях

Конические пробковые краны (рабочие поверхности):	отверстие	9 – 10 (с притиркой)
	пробка	10 – 12 (с притиркой)

Клапаны с коническими поверхностями:

направляющими:	штулка штока	9 – 10
	шток	10 – 11
уплотняющими:	рабочая поверхность седла	9 – 11 (с притиркой)
	рабочая фаска клапана	10 – 12 (с притиркой)

Кулачковые механизмы (рабочие поверхности):

кулачок	9 – 11
приводной ролик	9 – 12
плоский толкатель	8 – 11

Шпоночно-пазовые соединения (рабочие грани):

пазы	5 – 7
шпонка	6 – 8

Направляющие призматические поверхности:

охватываемые	8 – 10
охватывающие	9 – 12

Резьбы наружные:

рядовые	5 – 6
повышенной точности	6 – 7
точные	8 – 9

Резьбы внутренние: рядовые	4 – 5
повышенной точности	5 – 6
точные	7 – 8
Винты ходовые (рабочие поверхности): гайка	8 – 10
винт	10 – 12
Прямозубые колеса (рабочие поверхности зубьев):	
неответственного назначения	6 – 7
работающие с умеренными нагрузками и окружными скоростями	7 – 8
работающие со средними нагрузками и окружными скоростями	9 – 10
Конические зубчатые колеса, работающие при умеренных нагрузках и окружных скоростях (рабочая поверхность зубьев)	6 – 8
Червячные колеса, работающие при умеренных нагрузках (рабочие поверхности зубьев)	7 – 8
Червяки, работающие при умеренных нагрузках (рабочие поверхности витков)	8 – 9
Уплотняющие поверхности ниппелей, штуцеров и т. п.	7 – 9
Шкивы (рабочие поверхности): под плоские ремни	9 – 12
клиноременных передач	8 – 10
Стыки герметичные, собираемые на прокладках: мягких	6 – 8
твердых	8 – 9
из мягкого металла	9 – 10
Стыки герметичные (металл по металлу)	10 – 12 (с притиркой)
Привалочные плоскости (без прокладок): рядовые	5 – 7
точные	8 – 10
Галтели: неответственного назначения	5 – 6
деталей, нагруженных высокими циклическими нагрузками	8 – 10 (и выше вплоть до полирования)

Свободные поверхности деталей (торцы и несущие цилиндрические поверхности валов, фаски, нерабочие поверхности зубчатых колес, шкивов, маховиков, рычагов и т. п.):	
малонагруженных	4 – 6
нагруженных высокими циклическими нагрузками	6 – 9 (и выше вплоть до полирования)
Шестигранники, четырехгранники, лыски, пазы под ключ и т. п.	4 – 5
Отверстия под крепежные детали, устанавливаемые с зазором	4 – 5
Опорные поверхности под гайки и головки болтов:	
рядовые соединения	5 – 6
ответственные, циклически нагруженные соединения	7 – 8
Центрирующие буртики (фланцев, крышек, корпусных деталей и т. п.): отверстие	5 – 6
буртик	6 – 7
Детали управления, рукоятки, ручки, маховики и т. п.	8 – 10 (с полированием)
Пружины сжатия (заправка торцев)	4 – 5
Мерительный инструмент (рабочие поверхности)	12 – 14 (с доводкой)

ОБОЗНАЧЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

(Из ГОСТ 2.309 – 73 Единая система конструкторской документации. Обозначения шероховатости поверхностей)

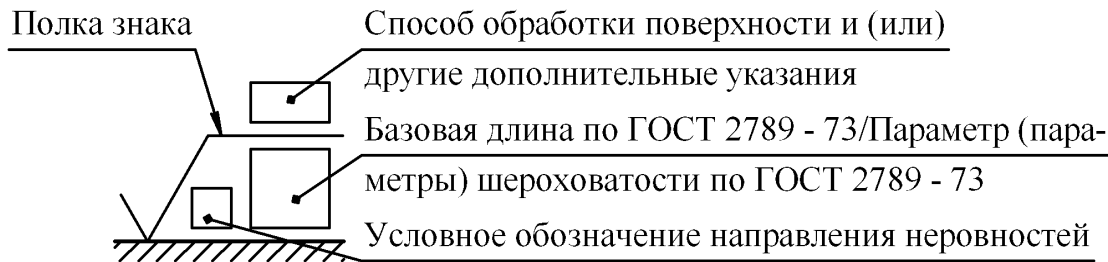


Рисунок 1

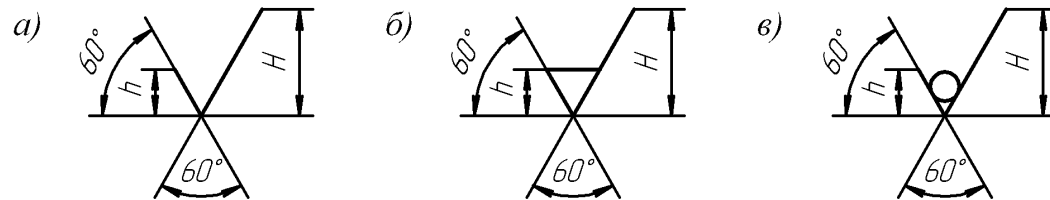


Рисунок 2

1.1 Шероховатость поверхности обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции.

1.2 Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рисунке 1.

При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки.

В обозначении шероховатости поверхности, способ обработки которой конструктором не устанавливается, применяют знак по рисунку 2, а.

В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована удалением слоя материала, применяют знак по рисунку 2, б.

В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала применяют знак по рисунку 2, в.

1.4 Поверхности детали, изготовляемой из материала определенного профиля и размера, не подлежащие по данному чертежу дополнительной обработке должны быть отмечены знаком по рисунку 2, в без указания параметра шероховатости. Состояние поверхности, поверхности обозначенной этим знаком, должно соответствовать требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями, или другим документом, причем на этот документ должна быть

приведена ссылка, например, в виде указания сортамента материала в графе 3 основной надписи чертежа по ГОСТ 2.104 – 2006.

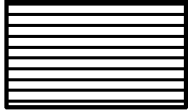
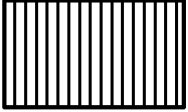
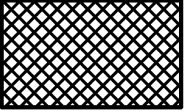
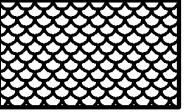

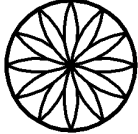
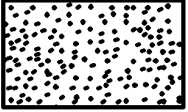
1.5 Значение параметра шероховатости по ГОСТ 2789 – 73 указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например: $Ra\ 0,4$; $R\ max\ 6,3$; $Sm\ 0,63$; $t_{50}70$; $S\ 0,032$; $Rz\ 50$.

Примечание. В примере $t_{50}70$ указана относительная опорная длина профиля $t_p = 70\ %$ при уровне сечения профиля $p=50\ %$.

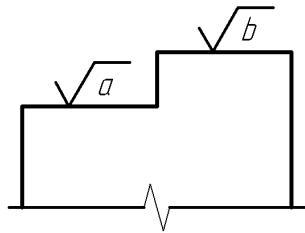
1.5а При указании наибольшего значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений, например: $\sqrt{Ra\ 0,4}$; $\sqrt{Rz\ 50}$.

1.9 При нормировании требований к шероховатости поверхности параметрами Ra , Rz , $Rmax$ базовую длину в обозначении шероховатости не указывают, если она соответствует указанной в приложении 1 ГОСТ 2789 – 73 для выбранного значения параметра шероховатости.

1.10 Условное обозначение направления неровностей должно соответствовать указанным в таблице. Условные обозначения направления неровностей приводят на чертеже при необходимости.

Типы направления неровностей							
Обозначение	$\sqrt{=}$	$\sqrt{\perp}$	$\sqrt{\times}$	\sqrt{M}	\sqrt{C}	\sqrt{R}	\sqrt{P}

Полировать
M Ra 0,025



$$\sqrt{a} = \frac{0,32}{0,25} \frac{\text{Полировать}}{M 0,8 / Ra 0,4}$$

$$\sqrt{b} = \sqrt{\frac{Ra 0,8}{2,5 / t_{\pm 0} 60}}$$

Рисунок 4

Рисунок 5

1.11 Вид обработки поверхности приводят в обозначении шероховатости только в случаях, когда он является единственным, применимым для получения требуемого качества поверхности (рисунок 4).

1.12 Допускается применять упрощенное обозначение шероховатостей поверхностей с разъяснением его в технических требованиях чертежа по примеру, указанному на рисунке 5.

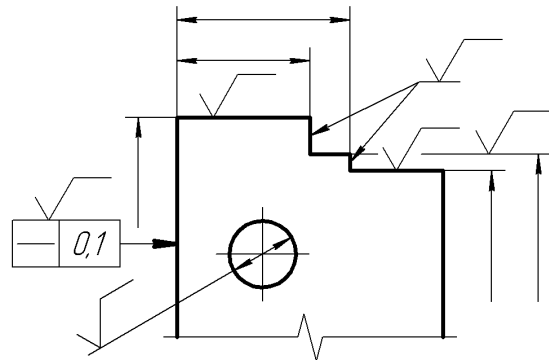


Рисунок 7

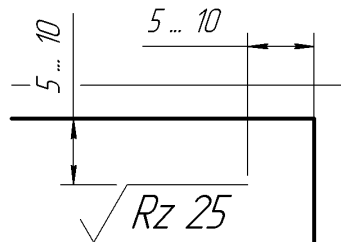


Рисунок 12

2.1 Обозначения шероховатости поверхностей на изображении изделия располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок.

Допускается при недостатке места располагать обозначение шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, на рамках допуска формы, а также разрывать выносные линии (рисунок 7).

помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рисунок 12).

2.6 При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости

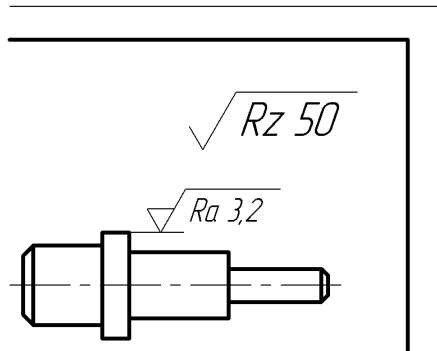


Рисунок 13

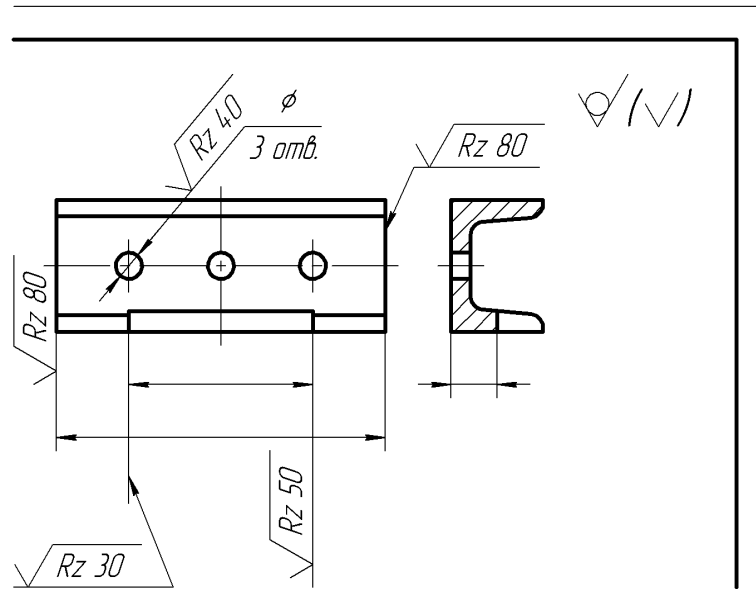


Рисунок 14

2.7 Обозначение шероховатости, одинаковой для части поверхностей изделия, может быть помещено в правом верхнем углу чертежа (рисунки 13, 14) вместе с условным обозначением (✓). Это означает, что все поверхности, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости или знак ✓, должны иметь шероховатость, указанную перед условным обозначением (✓).

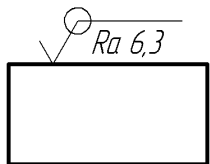


Рисунок 18

2.12 Если шероховатость поверхностей образующих контур, должна быть одинаковой, обозначение шероховатости наносят один раз в соответствии с рисунком 18. Диаметр вспомогательного знака \bigcirc – 4 ... 5 мм.

СОДЕРЖАНИЕ ХРЕСТОМАТИИ

Тема 1. ПРЕДИСЛОВИЕ

Тема 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Бобков Н. М. О подготовке конструкторов РЭС в средних специальных учебных заведениях // Среднее профессиональное образование. 2002. № 11

Бобков Н. М. Основы конструирования. Проблемы терминологии // Вестник машиностроения. 2002. № 9

Бобков Н. М. Что такое конструирование радиоэлектронных средств? // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2008. № 1, 2

Функциональные системы и конструктивные уровни РЭС (Каленкович Н. И., Фастовец Е. П., Шамгин Ю. В. Механические воздействия и защита радиоэлектронных средств: учеб. пособие. Минск, 1989. С. 9 – 11)

Бобков Н. М. Конструирование и строительное конструирование РЭС // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2

Бобков Н. М. Систематизация терминологии в области конструирования радиоэлектронных систем // Труды Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева. 2014. № 3

Бобков Н. М. Категории науки о конструировании // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2

Общие требования к разрабатываемым (модернизируемым) техническим системам (Из ГОСТ 15.016 – 2016 Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению)

Тема 3. ТИПОВОЙ ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Бобков Н. М. Конструкторская документация и порядок ее разработки // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2

Бобков Н. М. Применение положений стандартов ЕСКД в публикациях по конструированию: типичные ошибки // Стандарты и качество. 2004. № 8

Бобков Н. М. Типовой порядок разработки технических систем // Справочник. Инженерный журнал. 2018. № 2

Тема 4. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ РЭС

Основные понятия

Влияние физических параметров окружающей среды (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 140 – 143)

Воздействие на РЭА внешних механических факторов (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 143 – 145)

Основные эффекты, вызываемые воздействием отдельных внешних факторов (Из ГОСТ 28198 – 89 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство по применению)

Предельные нормы эксплуатации (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 145 – 147)

Бобков Н. М. Механические воздействия и нагрузки на элементы несущих систем РЭС // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». 1998. Вып. № 7

Общие требования к РЭС в части стойкости к механическим ВВФ при эксплуатации (Из ГОСТ 30631 – 99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации)

Общие требования к РЭС в части условий хранения и транспортирования (Из ГОСТ Р 51908 – 2002 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий хранения и транспортирования)

Испытание на прочность при транспортировании (Из ГОСТ Р 51909 – 2002 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на транспортирование и хранение)

Общие требования к РЭС в части стойкости к климатическим ВВФ при эксплуатации (Из ГОСТ 15150 – 99 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды)

Тема 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЭС

Механические системы (Справочник металлиста. В 5-ти т. Т. 1. М., 1976. С. 18 – 22)

Основные сведения о механизмах (Фаддеева Л. А. Теория механизмов и детали приборов: учебник. Л., 1983. С. 5 – 11)

Сопротивление материалов, теория упругости и прочее ... (Феодосьев В. И. Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов. М., 1975. С. 5 – 6)

Неизменяемые, изменяемые и мгновенно изменяемые системы (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 12, 13)

Реакции связей почти мгновенно изменяемых систем (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 25, 26)

Классификация плоских систем (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 30, 31)

Бобков Н. М. Радиоэлектронные средства как строительные сооружения // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2

Кинематический анализ стержневых систем (Спицына Д. Н. Строительная механика стержневых систем: учеб. пособие. М., 1977. С. 8 – 15)

Образование и кинематический анализ плоских систем (Живейнов Н. Н., Карасев Г. Н., Цвей И. Ю. Строительная механика и металлоконструкции строительных и дорожных машин: учебник. М., 1988. С. 10, 11)

Тема 6. ПРОЧНОСТЬ НЕСУЩИХ СИСТЕМ РЭС

Сведения из теории сопротивления материалов (Еленев С. А. Холодная штамповка: учебник. М., 1981. С. 9 – 16)

Переменные напряжения. Выбор допускаемых напряжений (Красновский Е. Я., Дружинин Ю. А., Филатова Е. М. Расчет и конструирование механизмов приборов и вычислительных систем: учеб. пособие. М., 1991. С. 171 – 178)

Бобков Н. М. Оценка усталостной прочности несущих деталей БНК при воздействии вибрации // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1997. № 4

Прочность и жесткость конструкций (Роцин Г. И. Несущие конструкции и механизмы РЭА: учебник. М.: 1981. С. 33 – 42)

Тема 7. ВОПРОСЫ БАЗИРОВАНИЯ В КОНСТРУИРОВАНИИ

Основные положения теории базирования (ГОСТ 21495 – 79 Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. Приложение 1)

Базирование деталей (Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие. М., 2008. С. 57 – 64)

Основы базирования (Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие. Л., 1982. С. 24 – 30, 34 – 41, 44 – 50)

Тема 8. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Основы конструирования деталей (Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие. Л., 1982. С. 9 – 16)

Справочное руководство по конструированию элементов радиоэлектронных средств (Приложение 2 к промежуточному отчету № 1 о НИР «Наледь. Исследование конструкций несущих систем, электроустановочных изделий и других элементов РЭС. Составление комплекса методических пособий «Конструкции элементов РЭС в примерах и задачах» / Нижегородский технический колледж; руководитель Н. М. Бобков; № ГР 01990006251; Инв. № 02200000313. Н. Новгород, 1999)

Тема 9. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Модульные и базовые конструкции изделий, базовые изделия (Из рекомендаций Р 50-54-103 – 88 Модульные и базовые конструкции изделий. Основные положения)

Бобков Н. М. Принцип базового проектирования в радиоаппаратостроении // Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 2

Бобков Н. М. Агрегатное и модульное проектирование технических систем // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 5

Бобков Н. М. Базовые несущие конструкции аппаратуры Нижегородского приборостроительного. Проектирование оболочек герметичных корпусов // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». 1996. Вып. № 5

Тема 10. УНИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ РЭС

Унификация изделий (Из ГОСТ 23945.0 – 80 Унификация изделий. Основные положения)

Расчет показателей уровня унификации и стандартизации изделий (Из методических указаний РД 50-33 – 80 Определение уровня унификации и стандартизации изделий)

Оценка состояния государственной стандартизации БНК в России (Раздел 3 промежуточного отчета № 1 о НИР «Берилл. Несущие системы и базовые несущие изделия РЭС специального и общего применения. История конструкций, современные требования, перспективы» / Нижегородский научно-производственный центр современных технологий «Берег-Волна»; руководитель Н. М. Бобков; № ГР У83485; инв. № Г36590. Н. Новгород, 2000)

Эволюция БНК Нижегородского научно-исследовательского приборостроительного института «КВАРЦ» (Разделы 1 – 4 заключительного отчета о НИР «Берилл. Несущие системы и базовые несущие изделия РЭС специального и общего применения. История конструкций, современные требования, перспективы» / Нижегородский научно-производственный центр современных технологий «Берег-Волна»; руководитель Н. М. Бобков; № ГР У83485; инв. № Г38225. Н. Новгород, 2000)

Тема 11. ОСНОВНЫЕ НОРМЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Допуски и посадки гладких цилиндрических и плоских соединений (Допуски и посадки: справочник. В 2-х ч. Ч. 1. Л., 1982. С. 8 – 10, 12 – 19, 28 – 31)

Нанесение предельных отклонений размеров (Из ГОСТ 2.307 – 2011 Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений)

Шероховатость поверхности (Орлов П. И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1. М., 1988. С. 287 – 295)

Обозначения шероховатости поверхностей (из ГОСТ 2.309 – 73 Единая система конструкторской документации. Обозначения шероховатости поверхностей)

Тема 12. ЭЛЕМЕНТЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ ТОНКОСТЕННЫХ СИСТЕМ

Кручение брусьев прямоугольного поперечного сечения (Бородин Н. А. Соппротивление материалов: учебник. М., 1992. С. 74 – 76)

Кручение брусьев тонкостенного профиля (Бородин Н. А. Соппротивление материалов: учебник. М., 1992. С. 76 – 78)

Некоторые общие вопросы теории тонкостенных стержней (Бояршинов С. В. Основы строительной механики машин: учеб. пособие. М., 1985. С. 5 – 7)

Кручение тонкостенных брусьев (Любощиц М. И., Ицкович Г. М. Справочник по сопротивлению материалов. Минск, 1969. С. 157 – 164)

Кручение тонкостенных брусьев открытого профиля (Глушков Г. С., Синдеев В. А. Курс сопротивления материалов: учебник. М., 1965. С. 236, 237)

Тема 13. ПРЕДОХРАНЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТ САМООТВИЧИВАНИЯ

Трение покоя при вибрации (Литвин Ф. Л. Проектирование механизмов и деталей приборов. Л., 1973. С. 46 – 48)

Предохранение резьбовых соединений от самоотвинчивания (Решетов Д. Н. Детали машин: учебник для вузов. М., 1989. С. 135 – 138)

Способы и виды предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания (Из ОСТ 4Г 0.019.200 Соединения резьбовые. Способы и виды предохранения от самоотвинчивания. Технические требования)

Тема 14. ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Термины и определения основных понятий (Из ГОСТ Р 27.102 – 2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения)

Проектирование радиоаппаратуры с учетом требований надежности (Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры: учебник для техникумов. М., 1989. С. 16 – 37)

Интенсивности отказов элементов электронной аппаратуры в номинальном режиме ($T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $K_n = 1$) и поправочные коэффициенты (Теория надежности радиэлектронных систем в примерах и задачах / Под ред. Г. В. Дружинина. М., 1976. С. 136 – 138, С. 339 – 347)

Николай Михайлович Бобков – преподаватель Нижегородского радиотехнического колледжа, конструктор Нижегородского научно-производственного объединения имени М. В. Фрунзе.

E-mail: n.bobkov@mail.ru