

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

"Воронежский государственный технический университет"

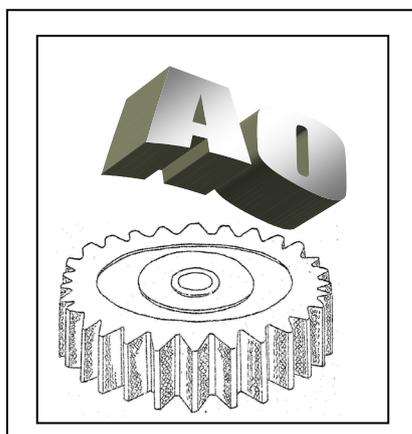
Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
для студентов направления подготовки

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств», 15.03.01 «Машиностроение»,
всех профилей и форм обучения



Воронеж 2021

УДК 389.1(07)
ББК 30.10я7

Составитель канд. техн. наук, доц. М. Н. Краснова

Метрология, стандартизация и сертификация: методические указания к выполнению практических работ для студентов направления подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 15.03.01 «Машиностроение», всех профилей и форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: М. Н. Краснова. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 33 с.

Представлены подробные теоретические сведения по темам выполняемых практических работ. Предусмотрено выполнение исследовательской части.

Предназначены для студентов направления подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 15.03.01 «Машиностроение», всех профилей и форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МСиС.ПР.pdf.

Ил. 6. Табл. 3. Библиогр.: 8 назв.

УДК 389.1(07)
ББК 30.10я7

Рецензент – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Цель преподавания дисциплины – обучение студентов организационным, научным и методическим основам метрологии; принципам нормирования точности а машиностроении; основным положениям государственной и международной систем стандартизации; основным положениям сертификации.

Задачи изучения дисциплины заключаются в освоении студентами терминов и определений в области метрологии; принципов нормирования требований к точности, условных обозначений их в технической документации, положений стандартов в этой области; терминов и определений в области сертификации.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основные понятия — термины и их определения необходимо понять, и запомнить в первую очередь при изучении этого предмета.

Размер — числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.п.) в выбранных единицах измерения. Другими словами за размер в общем виде по этому определению принимается расстояние между двумя точками. Необходимо на это обратить особое внимание, поскольку деталь является объемным телом. Более подробно об этом понятии мы будем говорить при рассмотрении системы допусков и посадок.

Действительный размер — размер элементов детали, установленный измерением, с допускаемой погрешностью. Надо обратить внимание, что значение размера только тогда называется действительным, когда измеряется с погрешностью, которая может быть допущена каким-либо нормативным документом. Это размер, который выявляется экспериментальным путем, т.е. измерением. Однако определение действительного размера относится к случаю, когда измерение производится с целью определения годности размеров элементов детали определенным требованиям. Когда же такие требования не установлены и измерения производятся не с целью приемки продукции, возможно использование термина измеренный размер, т.е. размер, полученный по результатам измерений. В этом случае точность измерений выбирается в зависимости от поставленной цели.

Истинный размер — размер, полученный в результате изготовления и значение которого нам не известно, хотя он и существует. Поэтому понятие "истинный размер" часто в определениях заменяется понятием "действительный размер", который близок к истинному в условиях поставленной цели.

Предельные размеры — два предельно допустимых размера элемента, между которыми должен находиться (или которым может быть равен) действительный размер. Из этого определения видно, что когда необходимо изготовить деталь какого-то размера, то размер должен задаваться двумя

значениями, т.е. предельными допустимыми значениями. Их называют наибольшим предельным размером (наибольший допустимый размер элемента детали) и наименьшим предельным размером (наименьший допустимый размер элемента детали). Размер годного элемента детали должен находиться между наибольшим и наименьшим допускаемыми предельными размерами.

Из этого определения необходимо запомнить принципиальное положение: нормировать точность размера — это значит указать два его возможных (допускаемых) предельных размера. В этом заключается исходная основа нормирования точности размера и об этом надо помнить всегда. Однако, при оформлении чертежей и в работе нормировать требования к точности изготовления непосредственным указанием двух предельных значений размера очень неудобно, хотя в странах с дюймовой системой, например в США, так и делается, а в большинстве стран используется несколько другой подход, и, хотя нормируется все равно два предельных допускаемых размера, но для этого применяются разные, можно назвать "косвенные" способы с использованием понятий о "номинальном размере" и "отклонениях".

Номинальный размер — размер, относительно которого определяются отклонения.

Размер, который указывается на чертеже и является номинальным размером. Номинальный размер определяется конструктором в результате расчетов габаритных размеров или на прочность, или на жесткость, или с учетом конструктивных и технологических соображений. Однако нельзя брать любое значение размера, который получился при конструировании, за номинальный.

Необходимо запомнить, что экономическая эффективность взаимозаменяемости обеспечивается тогда, когда представляется возможным обойтись небольшой номенклатурой значений размеров, без ухудшения качества. Так, если представить себе, что конструктор будет ставить на чертеже любой номинальный размер, например размер отверстий, тогда практически невозможно будет выпускать сверла централизованно на инструментальных заводах.

В связи с этим во всем мире существуют ограничения на использование значений размеров, которое сформулировано понятием предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел, т.е. значения, до которых должны округляться расчетные значения. Такой подход дает возможность сократить количество типоразмеров деталей и узлов, количество режущего инструмента и другой технологической и измерительной оснастки.

Ряды предпочтительных чисел во всем мире приняты одинаковые и представляют собой геометрические прогрессии со знаменателями $\sqrt[3]{10}$, $\sqrt[4]{10}$, $\sqrt[5]{10}$, $\sqrt[6]{10}$, которые приблизительно равны 1.6; 1.25; 1.12; 1.06 (Геометрическая прогрессия—это ряд чисел, в котором каждое последующее число получается умножением предыдущего на одно и то же число—знаменатель прогрессии.) Эти ряды условно названы R5; R10; R20; R40.

Предпочтительные числа широко используются в стандартизации, когда необходимо установить ряд значений нормируемых параметров или свойств в

определенных диапазонах. Номинальные значения линейных размеров в существующих стандартах также берутся из указанных рядов предпочтительных чисел с определенным округлением. Например, по R5 (знаменатель 1,6) берутся значения 10; 16; 25; 40; 63; 100; 250; 400; 630 и т.д.

Отклонение — алгебраическая разность между размером (предельным или действительным) и соответствующим номинальным размером. Следовательно, под отклонением следует понимать, на сколько значение размера отличается или может отличаться от номинального при нормировании требований точности или по результатам измерений.

Поскольку размер может быть, в принципе, как больше, так и меньше номинального, то используются термины "верхнее" и "нижнее" отклонения при нормировании требований к точности размера.

Верхнее отклонение—алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размером.

Нижнее отклонение—алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размером.

В частном случае одно из отклонений может быть равно нулю, т.е. один из предельных размеров может совпадать с номинальным значением, а в общем случае ни один из предельных размеров не совпадает с номинальным.

Особенность отклонений заключается в том, что они всегда имеют знак (+) или (-). Указание в определении в отношении алгебраической разности показывает, что оба отклонения, т.е. и верхнее, и нижнее, могут иметь плюсовые значения, т.е. наибольший и наименьший предельные размеры будут больше номинального, или минусовые значения (оба меньше номинального), или верхнее отклонение имеет плюсовое, а нижнее минусовое отклонение.

Для сокращения написания верхнее отклонение обозначают ES у отверстий и es у валов, а иногда, по-старому, через VO. Нижнее отклонение обозначают EI у отверстий, ei у валов или же через NO.

Обратите внимание, что обозначения, относящиеся к отверстию, даются (прописными) буквами, а к валу — (строчными). Такой подход сохраняется обычно и при других обозначениях, используемых при нормировании точности размеров, о чем дальше будет рассказано более подробно.

Допуск (обычно обозначается "T")— разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями.

Особенностью допуска является то, что он не имеет знака. Это как бы зона значений размеров, между которыми должен находиться действительный размер, т.е. размер годного элемента детали. Если мы говорим о допуске в 10 мкм, то это значит, что в партии годных могут быть детали, размеры которых в предельном случае отличаются друг от друга не более чем на 10 мкм.

Понятие допуска очень важное и используется в качестве критерия требований к точности изготовления элементов деталей не только в отношении точности размера, но и точности, относящейся к искажению формы и относительного расположения одного или нескольких элементов деталей. Чем

меньше допуск, тем точнее будет изготовлен элемент детали. Чем больше допуск, тем грубее элемент детали.

Но в то же время, чем меньше допуск, тем труднее, сложнее и отсюда дороже изготовление элемента деталей; чем допуски больше, тем проще и дешевле изготовить элемент детали. Вот и имеется в определенной мере противоречие между разработчиками и изготовителями. Разработчики хотят, чтобы допуски были малыми (точнее будет изделие), а изготовители хотят, чтобы допуски были большими (легче изготавливать).

Поэтому выбор допуска должен быть обоснован. Во всех случаях, где это возможно, следует использовать большие допуски, так как это экономически выгодно для производства, но только в тех пределах, чтобы это влияло на качество выпускаемой продукции.

Очень часто наравне с термином "допуск" и вместо него употребляют термин "поле допуска", поскольку, как было сказано выше, допуск—это зона (поле), в пределах которого находятся размеры годной детали. Более подробно о допуске и поле допуска сказано в следующем параграфе.

Графическое изображение размеров и отклонений

Образования графического представления предельных размеров можно проследить следующим образом.

Условно представим себе три концентрические окружности (рис. 1, а), одна из которых определяет значение номинального размера, а две другие—значения предельных размеров: наибольшего и наименьшего. Естественно, что окружности, изображающие предельные размеры, отстоят от номинальной на значение верхнего и нижнего отклонений.

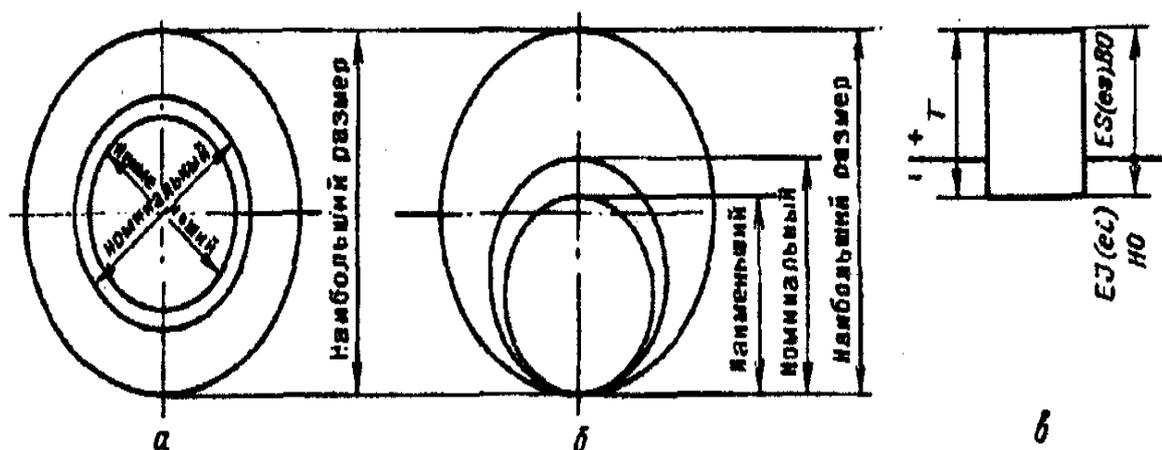


Рис. 1. Образование графического изображения предельных значений размеров и отклонений

А теперь представим себе, что все окружности сместились вниз в вертикальном направлении до совмещения их в одной точке. Теперь относительно горизонтальной линии, проходящей через их общую точку, можно указать графически значения номинального и предельных размеров

(рис. 1, б) и оба отклонения. Но такое графическое изображение совсем неудобно, так как содержит лишнюю информацию, а главное невозможно совместить масштабы номинального и предельных размеров, поскольку, если сам размер составляет десятки и сотни миллиметров, то отклонения—всегда доли миллиметров. Тогда для наглядности графического изображения поступают следующим образом. Значение номинального размера опускается из графического изображения, а положение номинального размера (без указания его значения в масштабе) заменяется положением горизонтальной линии, от которой теперь уже в масштабе наносятся границы предельных размеров, т.е. отклонения (рис. 1, в). Таким образом, при графическом изображении можно увидеть все отклонения и предельные размеры, и при этом используются термины "нулевая линия" и "поле допуска".

Нулевая линия (рис. 2) —линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок. Обычно нулевая линия располагается горизонтально и плюсовые отклонения от номинала откладываются вверх, а минусовые—вниз.

На рис. 2 указаны отклонения и границы, которые соответствуют предельным нормируемым размерам элемента детали. Между верхним и нижним отклонениями расположено поле допуска.

Поле допуска—поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами, определяемое значением допуска и его положением относительно номинального размера. Практически поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему (ES и es) и нижнему (EI и ei) отклонениям относительно нулевой линии. Необходимо обратить внимание на ряд особенностей с нормированием требований к точности размеров, которые очень хорошо можно видеть при графическом изображении на рис. 2 как частных случаях расположения отклонений.

1. Ни один из предельных размеров, приведенных на рисунке 2,а не совпадает с номинальным размером. И, более того, если сделать деталь, например, в виде отверстия, равного номинальному размеру, но с требованиями, соответствующими нижнему на рис. 2,а полю допуска, то оказывается, что такая деталь будет браком и при этом браком неисправимым (по требованиям, изображенным на рисунке, оба предельных размера должны быть меньше номинального).

2. Поля допусков могут располагаться по-разному относительно нулевой линии (т.е. отклонения от номинала могут быть самые разнообразные). В частном случае может быть так, что одно отклонение будет иметь знак плюс, а другое — минус, или одно из отклонений (верхнее или нижнее) равно нулю. В последнем случае один из предельных размеров (наибольший или наименьший) совпадает с номинальным размером. (Рис. 2, б)

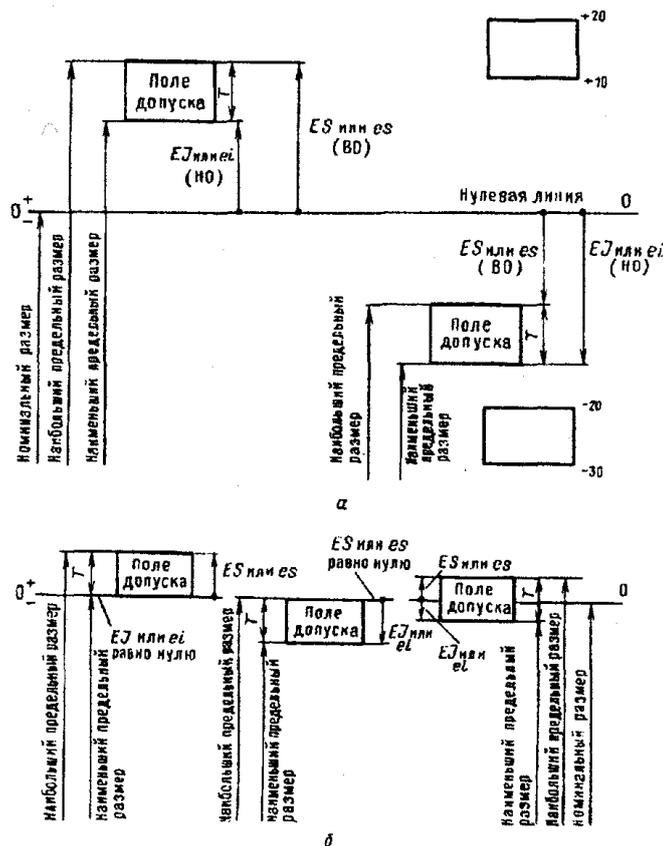


Рис. 2. Графическое изображение размеров и отклонений

3. Верхние и нижние отклонения выполняют определенную функцию. Одно из них, в зависимости от расположения поля допуска, характеризует, на какое минимальное значение могут (допускается) отклоняться размеры годного элемента детали от номинального размера, другое отклонение характеризует возможное наибольшее допустимое отклонение размера элемента детали от номинального размера. Обычно при нормировании точности выделяют одно отклонение, которым характеризуют положение поля допуска относительно номинального размера. Это отклонение получило название—основное отклонение.

Основное отклонение—одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения положения поля допуска относительно нулевой линии. В системах нормирования точности размеров практически во всех странах мира, основным отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии, т.е. отклонение, которое характеризует возможное минимальное отклонение размера от номинального размера. На рис. 2 у полей допусков, расположенных над нулевой линией основными отклонениями являются нижние отклонения, а расположенные под нулевой линией—верхние отклонения.

4. В отношении границ предельных размеров, ограниченных верхним и нижним отклонениями, используется еще понятие предел максимума материала и предел минимума материала.

Предел максимума материала — термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наибольший объем (масса)

материала, т.е. наибольшему предельному допускаемому размеру вала и наименьшему предельному допускаемому размеру отверстия. Раньше для обозначения этих предельных размеров использовался термин "проходной предел", пользоваться которым теперь не рекомендуется.

По-другому этот предел можно представить себе как границу значения размера, нарушение которой приводит к появлению исправимого брака (если при изготовлении вал оказался больше допустимого значения, или отверстие меньше допустимого, то их можно исправить дополнительной обработкой).

Предел минимума материала — термин, относящийся к тому из предельных допускаемых размеров, которому соответствует наименьший объем (масса) материала, т.е. наименьшему предельно допустимому размеру вала и наибольшему допустимому размеру отверстия. Раньше для обозначения этого предела применялся термин "непроходной предел". Другими словами, это предел, который соответствует границе неисправимого брака.

5. Из графического изображения видно, что требования к точности размеров, т.е. указание двух предельных допускаемых размеров, может быть осуществлено несколькими способами. Можно указать непосредственно два предельных размера (рис. 3, а), между которыми должны находиться размеры годных деталей, можно дать номинальный размер (рис. 3, б) и два отклонения от него (верхнее и нижнее), а можно дать значение номинального размера, основное отклонение от него (верхнее или нижнее, ближайшее к номинальному размеру) и допуск на размер (тогда второе отклонение получается добавлением значения допуска к основному отклонению) (рис. 3, в).

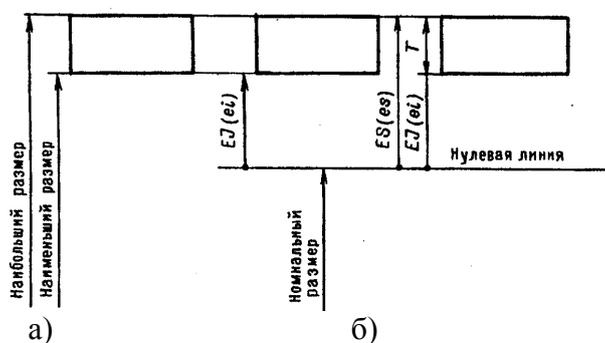


Рис. 3. Способы указания двух предельных размеров

Общие понятия о системах допусков и посадок

Из предыдущего материала Вы должны были усвоить, что получить необходимую посадку при соединении элементов деталей можно при разных соотношениях отклонений их размеров от номинального размера. Поэтому с развитием техники, развитием торговли, кооперации между отдельными заводами и отраслями стало необходимым навести какой-то порядок в отношении единого подхода к нормированию требований к точности валов и отверстий с тем, чтобы в полной мере можно было обеспечить взаимозаменяемость со всеми ее достоинствами.

Решение вопроса о едином подходе к нормированию требований к размерам деталей выразилось в создании системы допусков и посадок.

Системой называется множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство.

Любая система допусков и посадок должна включать в себя решение многих вопросов, связанных между собой. Эта система должна обеспечить установление единых допусков на разные размеры и установить положение этих допусков относительно номинального размера. Пути для решения этих проблем могут быть самые разные, в чем Вы уже убедились и убедитесь в дальнейшем.

Системой допусков и посадок называется закономерно построенная совокупность стандартизованных допусков и предельных отклонений размеров элементов деталей, а также посадок, образованных отверстиями и валами, имеющими стандартные предельные отклонения.

Необходимо иметь в виду особенность существующей системы допусков и посадок, которая заключается в том, что система создавалась на определенном этапе развития техники, когда промышленность всех стран выпускала продукцию и многие заводы имели какие-то нормативные документы, ограничивающие "свободу" выбора отклонений для элементов деталей. Следовательно, промышленность уже накопила к моменту создания системы определенный опыт нормирования, а это было и хорошо, и плохо. Хорошо то, что были выявлены какие-то закономерности, которые проверены на практике. Плохо то, что не было единого подхода, и на разных предприятиях и в разных странах устанавливались требования, хотя и весьма близкие между собой, но все же не одинаковые. А любая система требует единого решения. Расхождение в подходе к нормированию значений ощущается и в настоящее время, хотя прошло свыше 50 лет, как были созданы системы допусков и посадок. Как Вы увидите дальше, используемая практически во всем мире система допусков и посадок перегружена излишними допусками и отклонениями, которые введены в систему с тем, чтобы в определенной мере учесть интересы различных производств, где установились определенные значения, выражающие требования к точности размеров.

В связи с этим можно дать еще одно определение системы допусков и посадок как совокупности рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе производственного опыта, экспериментальных исследований, теоретических обобщений и оформленных в виде стандартов.

У нас в стране первые попытки по созданию общегосударственной системы допусков и посадок относятся к 1914—1915 гг., когда профессор Н.Н. Куколевский разработал систему для использования ее первую очередь для военных заказов.

В 1924—1925 гг. под руководством проф. А. Д. Гатцуна был разработан проект стандарта "Допуски для пригонок". В 1929 г. был утвержден первый ОСТ (общегосударственный стандарт) для общего применения. С этого времени у нас в стране действует система, которую обычно называют система ОСТ. Она используется до сих пор и будет частично использоваться и дальше, но не для нового конструирования, хотя и заменена другой системой, используемой при новых разработках. Переход предприятий с одной системы

на другую трудоемко как в отношении материальных затрат, так и психологически.

Первый проект международной системы допусков и посадок был разработан в 1931 г. для размеров от 1 до 180 мм, а — в 1935 г. — до 500 мм. Этот проект был разработан международной организацией по стандартизации (ИСА). На базе этих проектов страны мира разрабатывали национальные стандарты (1932 — 1936 гг.) и внедряли их до 1940 г. Официально международная система допусков и посадок ИСА была оформлена в 1940 г. В связи с тем, что в Советском Союзе отечественная система допусков была создана раньше, а также в связи с изоляцией, в которой находилась наша страна, наша система (система ОСТ) отличалась от международной (система ИСА). В 1940 г. наша страна предполагала перейти на международную систему, но предвоенная неблагоприятная международная обстановка была неподходящей к такому переходу, так как при переходе на новую систему должны были возникнуть определенные трудности и требовались большие материальные затраты.

После второй мировой войны была создана новая международная организация по стандартизации ИСО, а в 1962 г. были разработаны рекомендации ИСО N 286 " Система допусков и посадок ИСО. Часть 1. Общие сведения. Допуски и отклонения". Эта система не отличалась от проекта ИСА 1940 г.

Необходимо отметить, что отечественная система допусков и посадок не оставалась неизменной, а неоднократно дополнялась (но не изменялась), и все эти дополнения с 1932 г. проводились путем заимствования из системы ИСА (ИСО).

Понятие о соединениях и сопряжениях. Понятие о посадках. Характеристика трех групп посадок

Системой допусков и посадок называют совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов. Система предназначена для выбора минимально необходимых, но достаточных для практики вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин, дает возможность стандартизовать режущие инструменты и калибры, облегчает конструирование, производство и достижение взаимозаменяемости изделий и их частей, а также обуславливает повышение их качества. В нашей стране ранее применяли системы допусков и посадок, оформленные рядом общесоюзных (ОСТ) и государственных (ГОСТ) стандартов.

В настоящее время большинство стран мира применяет системы допусков и посадок ИСО. Системы ИСО созданы для унификации национальных систем допусков и посадок с целью облегчения международных технических связей в металлообрабатывающей промышленности. Включение международных рекомендаций ИСО в национальные стандарты создает условия для обеспечения взаимозаменяемости однотипных деталей, составных частей и изделий, изготовленных в разных странах. ЕСДП распространяется на допуски размеров гладких элементов деталей и на посадки, образуемые при соединении

этих деталей. Основные нормы взаимозаменяемости включают системы допусков и посадок на резьбы, зубчатые передачи, конуса и др. В настоящее время международная торговля и научно-технические связи РФ с другими государствами все более расширяются, в связи с чем в РФ внедряются системы допусков и посадок ИСО. Так, на Волжском автомобильном заводе в г. Тольятти автомобили «Жигули» выпускаются в основном с применением системы допусков и посадок ИСО. Кроме того, наша страна использует рекомендации других международных организаций, основанные на этой системе, например рекомендации МЭК — Международной электротехнической комиссии, которая является отделом ИСО.

Система допусков и посадок ИСО и ЕСДП для типовых деталей машин построены по единым принципам. Предусмотрены посадки в системе отверстия (СА) и в системе вала (СВ) (рис. 4). Посадки в системе отверстия — посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием (рис. 4, а), которое обозначают Н. Посадки в системе вала — посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом (рис. 4, б), который обозначают h.

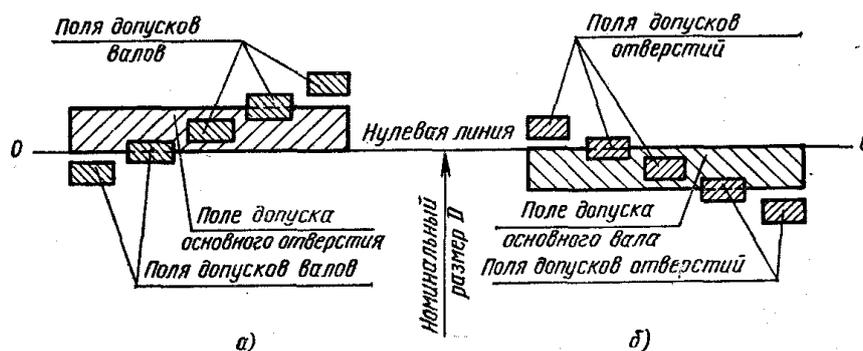


Рис. 4. Примеры расположения полей допусков для посадок в системе отверстия (а) и в системе вала (б)

Для всех посадок в системе отверстия нижнее отклонение отверстия $EI = 0$, т. е. нижняя граница поля допуска основного отверстия, всегда совпадает с нулевой линией. Для всех посадок в системе вала верхнее отклонение основного вала $es = 0$, т. е. верхняя граница поля допуска вала всегда совпадает с нулевой линией. Поле допуска основного отверстия откладывают вверх, поле допуска основного вала — вниз от нулевой линии, т. е. в материал детали.

Такую систему допусков называют односторонней предельной. Характер одноименных посадок (т. е. предельные зазоры и натяги) в системе отверстия и в системе вала примерно одинаков. Выбор систем отверстия и вала для той или иной посадки определяется конструктивными, технологическими и экономическими соображениями.

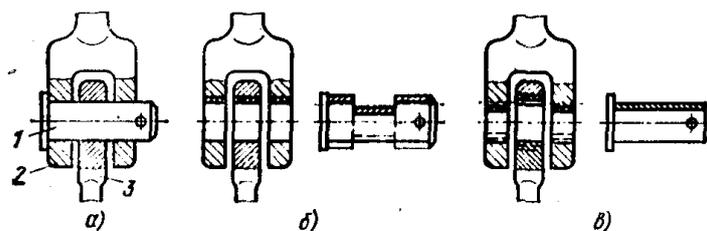


Рис. 5. Шарнирное соединение вилки с тягой (форма валика и расположение нолей допусков для наглядности показаны утрированно)

Точные отверстия обрабатывают дорогостоящим режущим инструментом (зенкерами, развертками, протяжками и т. п.). Каждый из них применяют для обработки отверстия только одного размера с определенным полем допуска. Валы независимо от их размера обрабатывают одним и тем же резцом или шлифовальным кругом. В системе отверстия различных по предельным размерам отверстий меньше, чем в системе вала, а, следовательно, меньше номенклатура режущего инструмента, необходимого для обработки отверстий. В связи с этим преимущественное распространение получила система отверстия. Уменьшение номенклатуры позволяет увеличить партии изготавливаемого инструмента, применить производительное специализированное оборудование и тем самым увеличить выпуск инструмента с наименьшими затратами.

Однако в некоторых случаях по конструктивным соображениям приходится применять систему вала, например, когда требуется чередовать соединения нескольких отверстий одинакового номинального размера, но с различными посадками на одном валу. На рис. 5, а показано соединение, имеющее подвижную посадку валика 1 с тягой 3 и неподвижную — с вилкой 2, которое целесообразно выполнять по системе вала (рис. 5, б), а не по системе отверстия (рис. 5, в). Систему вала также выгоднее применять, когда детали типа тяг, осей, валиков могут быть изготовлены из точных холодотянутых прутков без механической обработки их наружных поверхностей. При выборе системы посадок необходимо также учитывать допуски на стандартные детали и составные части изделия. Например, вал для соединения с внутренним кольцом подшипника качения всегда следует изготавливать по системе отверстия, а гнездо в корпусе для установки подшипника — по системе вала.

Для построения систем допусков устанавливают единицу допуска i (I), которая, отражая влияние технологических, конструктивных и метрологических факторов, выражает зависимость допуска от номинального размера, ограничиваемого допуском, и является мерой точности. На основании исследований точности механической обработки цилиндрических деталей из металла для системы ИСО и ЕСДП установлены следующие единицы допуска:

для размеров до 500 мм

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001D; \quad (1)$$

для размеров свыше 500 до 10 000 мм

$$I = 0,004D + 2,1, \quad (2)$$

где D — среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала, мм; i (I) — единица допуска, мкм.

Второй член в уравнении (1) учитывает погрешность измерения.

Допуск для любого качества

$$T = ai, \quad (3)$$

где a — число единиц допуска, зависящее от качества и не зависящее от номинального размера.

В каждом изделии детали разного назначения изготавливают с различной точностью. Для нормирования требуемых уровней точности установлены качества (степени точности для резьбовых соединений, зубчатых передач и др.) изготовления деталей и изделий. Под качеством (по аналогии с франц. *qualite* — качество) понимают совокупность допусков, характеризующихся постоянной относительной точностью (определяемой коэффициентом a) для всех номинальных размеров данного диапазона (например, от 1 до 500 мм). Точность и предел одного качества зависит только от номинального размера. В ЕСПД установлено 19 качеств: 01, 0, 1, 2, ..., 17 (самые точные качества 01 и 0 введены после введения качества 1). Качество определяет допуск на изготовление, а следовательно, и соответствующие методы и средства обработки и контроля деталей машин. Формулы (1)—(3) предназначены для определения допусков качеств 5—17. Число единиц допуска a для этих качеств соответственно равно: 7, 10, 16, 25, 40, 64, 100, 160, 250, 400, 640, 1000 и 1600. Значение a для качеств 6 и грубее образует геометрическую прогрессию со знаменателем $\varphi = 1,6$. Это значит, что при переходе от одного качества к следующему, более грубому, допуски возрастают на 60 %. Через каждые пять качеств допуски увеличиваются в 10 раз. В качествах, точнее 5 допуски ИТ (от сокр. ISO Tolerance — допуск ИСО) определяют по формулам: $IT_1 = 0,3 + 0,008D$; $IT_0 = 0,5 + 0,012D$; $IT_1 = 0,8 + 0,020D$; $IT_3 = \sqrt{IT \cdot IT_5}$; $IT_2 = \sqrt{IT_1 \cdot IT_3}$; $T_4 = \sqrt{IT_3 \cdot IT_5}$, где допуск — в мкм; D — в мм.

Для размеров менее 1 мм допуски по качествам 14—17 не назначают.

Для каждого качества по формуле (3) построены ряды допусков, в каждом из которых различные размеры имеют одинаковую относительную точность, определяемую соответствующим значением a .

Для построения рядов допусков каждый из диапазонов размеров, в свою очередь, разделен на несколько интервалов. Для номинальных размеров от 1 до 500 мм установлено 13 интервалов: до 3, свыше 3 до 6, свыше 6 до 10 мм, ..., свыше 400 до 500 мм. Для полей, образующих посадки с большими зазорами или натягами, введены дополнительные промежуточные интервалы, что уменьшает колебание зазоров и натягов и делает посадки более определенными. Для всех размеров, объединенных в один интервал, например

для размеров свыше 6 до 10 мм, значения допусков приняты одинаковыми, поскольку назначать допуск для каждого номинального размера нецелесообразно — таблицы допусков в этом случае получились бы громоздкими, а сами допуски для смежных размеров отличались бы один от другого незначительно.

В формулы (1) и (2) для определения допусков и отклонений в системе ИСО и ЕСДП подставляют среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала:

$$D = \sqrt{D_{\min} \cdot D_{\max}} \quad (4)$$

Для интервала до 3 мм принимают $D = \sqrt{3}$.

Диаметры по интервалам распределены так, чтобы допуски, подсчитанные по крайним значениям в каждом интервале, отличались от допусков, подсчитанных по среднему значению диаметра в том же интервале, не более чем на 5—8 %.

Допуски и отклонения, устанавливаемые стандартами, относятся к деталям, размеры которых определены при нормальной температуре, которая во всех странах принята равной +20°C (ГОСТ 9249—59). Такая температура принята как близкая к температуре рабочих помещений машиностроительных и приборостроительных заводов. Градуировку и аттестацию всех линейных и угловых мер и измерительных приборов, а также точные измерения следует выполнять при нормальной температуре, отступления от нее не должны превышать допускаемых значений [ГОСТ 8.050—73 (СТ СЭВ 1155—78)]. Температура детали и измерительного средства в момент контроля должна быть одинаковой, что может быть достигнуто совместной выдержкой детали и измерительного средства в одинаковых условиях (например, на чугунной плите).

Погрешность измерения может возникнуть также и от местного нагрева. Например, под действием тепла руки контролера в течение 15 мин размер скобы для проверки валов диаметром 175 мм изменяется на 8 мкм, а скобы для проверки валов диаметром 280 мм — на 11 мкм. В связи с этим необходимо применять тепловую изоляцию для средств намерения (например, термоизолирующие накладки и ручки для скоб) или термоизолирующие перчатки для контролеров.

В отдельных случаях погрешность измерения, вызванную отклонением от нормальной температуры и разностью температурных коэффициентов линейного расширения материалов детали и измерительного средства, можно компенсировать введением поправки, равной погрешности, взятой с обратным знаком. Температурную погрешность Δl приближенно определяют по формуле

$$\Delta l = l(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2), \quad (5)$$

где l —измеряемый размер, мм; α_1 и α_2 —температурные коэффициенты линейного расширения материалов детали и измерительного средства, °C⁻¹; $\Delta t =$

$t - 20 \text{ }^\circ\text{C}$ — разность между температурой детали t_1 и нормальной температурой; $\Delta t_2 = t_2 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$ — разность между температурой измерительного средства t_2 и нормальной температурой.

Если температура детали и средства измерения одинакова, но не равна $20 \text{ }^\circ\text{C}$, также неизбежны ошибки вследствие разности температурных коэффициентов линейного расширения детали и измерительного средства. В этом случае (т. е. при $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$) погрешность

$$\Delta l \approx l \Delta t (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (6)$$

Если температура воздуха в цехе, детали и измерительного средства выравнены и равны $20 \text{ }^\circ\text{C}$, температурная погрешность измерения отсутствует при любой разности температурных коэффициентов линейного расширения, так как при $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 0 \quad \Delta l = 0$.

Формулы (5) и (6) являются приближенными, так как из-за сложности конфигурации деталей их деформация при изменении температуры не подчиняется линейному закону. Таким образом, для устранения температурных погрешностей необходимо соблюдать нормальный температурный режим в помещениях измерительных лабораторий, инструментальных, механических и сборочных цехов, вводя в них кондиционирование воздуха.

Интервалы размеров

Теоретически можно было создать систему, в которой давались бы точностные требования на все номинальные предпочтительные размеры, охватываемые стандартом. Но практически такая система была бы громоздкой, а кроме того, в этом и нет необходимости по ряду причин.

Прежде всего при небольших отличиях от номинальных размеров допускаемые отклонения от них при любом способе подсчета будут отличаться незначительно и поэтому нет необходимости для близких значений номинальных размеров давать разные допуски. Кроме того, установлено, что с одинаковой трудностью можно изготовить детали в определенном диапазоне размеров. При этом характерно, что при малых размерах в более узком диапазоне находятся равноточные размеры в отношении трудности обработки, а для больших размеров этот диапазон больше.

В связи с выше сказанным, в любой системе допусков и посадок, допуски даются одинаковыми для определенного интервала размеров, благодаря чему учитывается особенность обработки детали определенной точности в определенном диапазоне.

Исходя из особенностей взаимосвязи размера детали и возможности в отношении точности изготовления, установленные в системах допусков интервалы разделяются на основные и вспомогательные (табл. 1 для ЕСДП).

Таблица 1

Интервалы номинальных размеров (в мм) по ЕСДП

Основные		Промежуточные		Основные		Промежуточные		Основные		Промежуточные		
Св.	До	Св.	До	Св.	До	Св.	До	Св.	До	Св.	До	
-	3	-	-			180	200					
3	6	-	-			200	225					
6	10	-	-			225	250					
10	18	10	14			250	280					
		14	18			280	315					
18	30	18	24			315	355					
		24	30			355	400					
30	50	30	40			400	450					
		40	50			450	500					
50	80	50	65			500	560					
		65	80			560	630					
80	120	80	100			630	710					
		100	120			710	800					
120	180	120	140			800	900					
		140	160			900	1000					
		160	180				1000	1120				
							1120	1250				

Основные интервалы размеров используются для нормирования предельных отклонений, которые меняются плавно в зависимости от номинальных размеров. Промежуточные интервалы даются для размеров свыше 10 мм и делят каждый интервал на 2 или 3 интервала. Интервалы номинальных размеров по ЕСДП и по системе ОСТ практически совпадают для размеров до 180 мм.

Необходимо запомнить, что когда в таблицах стандартов указываются отклонения для интервалов размеров, то последняя цифра интервала относится к данному интервалу, а первая цифра к предыдущему.

Например, отклонения и допуски для номинального размера 10 мм надо брать в интервале размеров свыше 6 до 10 мм, а допуск размера 6 мм необходимо брать из интервала свыше 3 до 6.

Единицы допуска

При назначении допусков необходимо было выбрать закономерность изменения допусков с учетом значения номинального размера. Поэтому в каждой системе имеется так называемая единица допуска, которая является как бы масштабом (мерой) допуска.

Единица допуска (i)—множитель в формулах допусков, являющийся функцией номинального размера и служащий для определения числового значения допуска.

В ЕСДП для размеров до 500 мм $i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001D$, где D —среднегеометрическое значение из крайних значений каждого интервала номинальных размеров, т.е. $D = \sqrt{D_{\min} \cdot D_{\max}}$ (например, для интервала свыше 6

до 10 мм $D = \sqrt{6 \cdot 10} \approx 7,7$).

В системе ОСТ для размеров до 500 мм $i = 0,5 \sqrt[3]{d_{cp}}$, где d_{cp} — среднее арифметическое значение интервала номинальных размеров: $d = (d_{min} + d_{max})/2$ (например, для интервалов свыше 6 до 10 $d = (10 + 6)/2 = 8$).

Приведенные формулы для подсчета единиц допуска получены эмпирически на основании анализа существовавших до создания системы допусков, т.е. взяты из практики. В работе Вам практически не потребуется пользоваться единицей допуска, поскольку они нужны были составителям стандартов для подсчета допусков.

Ряды точности (ряды допусков)

В зависимости от места использования элементов деталей, имеющих одинаковый номинальный размер, к ним могут предъявляться различные требования в отношении точности размера. Само собой понятно, что вал 50 мм, установленный в качестве шпинделя станка, должен иметь более точный размер, чем вал того же размера, установленный, например, в виде ручки к лебедке. Это обстоятельство делает необходимым для одного и того же номинального размера (вернее, интервала номинальных размеров) давать разные допуски. Более правильно, видимо, надо сказать, что для всех номинальных размеров (т.е. интервалов номинальных размеров) нужно давать несколько значений допусков. Поэтому в каждой системе создаются такие ряды допусков, которые в ЕСДП называют квалитетами, в системе ОСТ — классами. В некоторых нормативных документах ряды точности называются степенью. Эти термины являются синонимами.

Квалитет (класс, степень точности) — совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров. Использование термина квалитет в ЕСДП вместо класс в ОСТ сделано для того, чтобы по этому термину сразу было ясно, о какой системе допусков и посадок идет речь.

В ЕСДП предусмотрено 20 квалитетов, обозначаемых порядковым номером, возрастающим с увеличением допуска: 0,1; 0; 1; 2; 3... 18. Сокращенно допуск по квалитету обозначается буквами *IT* (International Tolerance — международный допуск), а номер квалитета, например IT8, означает допуск по 8-у квалитету. Просто допуск без отнесения к системе обозначается буквой *T*.

В системе ОСТ для размеров св. 1 до 500 мм образовано 18 классов, обозначенных цифрами 09, 08, ..., 02, 1, 2, 2а, 3, 3а, 4, 5, 7, 8, 9 в порядке убывания точности (увеличения допуска). Отсутствие некоторой стройности в обозначении классов объясняется тем, что система ОСТ подвергалась дополнению в разные годы, поэтому были введены промежуточные классы 2а и 3а, так как оказалась большая разница в допусках между 2 и 3, а также 3 и 4 классами. В более позднее время были введены и классы точнее 1-го (обозначение с нулями). Для размеров менее 1 мм и более 500 мм количество классов значительно меньше.

Значения допусков получаются умножением единицы допуска (i) на

определенное, постоянное для данного качества (класса) число (k) $IT = ki$. Для некоторых качеств (0.1; 0; 1) допуски определялись по специальным формулам.

В табл. 2 приведено количество единиц допуска, принимаемых для разных качеств, в ЕСДП.

Таблица 2

Квалит	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Значение	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i

В табл. 3 приведено количество единиц допуска, применяемых для разных классов, в системе ОСТ.

Таблица 3

Классы		1	2	2a	3	3a	4	5	7
Значение допуска	отверстие	10i	16i	25i	30i	64i	100i	200i	400i
	вал	7i	10i	16i	30i	64i	100i	200i	400i

Таким образом, в образовании рядов точности в ЕСДП и системе ОСТ имеются некоторые отличия.

1. В ЕСДП в одном качестве для одного интервала размеров используются одинаковые допуски на валы и отверстия, т.е. одинаковая точность. В системе ОСТ для относительно точных классов (1, 2, 2a) допуски отверстий больше, чем допуски вала. При составлении стандарта это объяснили тем, что отверстие труднее изготовить и измерить, чем вал одинаковых размеров, поэтому допуск дается больше. Однако с точки зрения системы допусков это создает такую ситуацию, когда класс точности неоднозначно определяется допуском, т.е. не одинаковая точность для вала и отверстия.

2. В ЕСДП коэффициент при единице допуска для IT6 и грубее изменяется по геометрической прогрессии со знаменателем 1,6 ($\sqrt[3]{10}$), т.е. при переходе от одного качества к другому, допуск возрастает на 60%, а при переходе на пять ступеней грубее (начиная с IT6), значение допуска увеличивается в 10 раз. Это правило можно использовать и для получения допусков грубее IT 18.

В системе ОСТ коэффициент при единице допуска при переходе от одного класса к другому колеблется от 1,3 до 2.

Таким образом, ЕСДП обладает тем преимуществом, что в ней существует однозначное соответствие между допуском и номером качества, которое облегчает сопоставление допусков, оценку действительной трудоемкости изготовления и т.д.

ЕСДП более экономная, чем ОСТ, так как в ней нет больших скачков между рядами точности.

Несмотря на указанное отличие почти для каждого класса точности можно указать соответствующий эквивалентный класс, предусматривающий практически тот же допуск.

Поля допусков отверстий и валов

В предыдущем параграфе мы уже рассмотрели, как образуются значения допуска. Следовательно, теперь мы должны выяснить, как же нормируется положение допуска относительно нулевой линии. В отношении этого подходы в обеих системах различаются.

В ЕСДП для указания положения поля допуска относительно номинала нормируются значения основных отклонений, которые обозначаются латинскими буквами прописными (большими) для отверстия и строчными (малыми) для валов. В качестве основного отклонения нормируются отклонения, ближайšie к нулевой линии. Для полей допусков, расположенных ниже нулевой линии, основным (ближайшим) отклонением, нормируется верхнее отклонение (*es* для вала или *ES* для отверстия). Для полей допусков, расположенных выше нулевой линии основным (ближайшим) отклонением, нормируется нижнее отклонение (*ei* для вала или *EI* для отверстия). Таким образом, во всех случаях основное отклонение указывает отклонение, ближайшее к номинальному размеру, т.е. минимальное отклонение.

Для обозначения основных отклонений используются латинские буквы в алфавитном порядке, начиная с отклонений, позволяющих получить наибольшие зазоры в соединении (отклонения *a*. *A*). Среди буквенных обозначений имеются такие, которые содержат две буквы. Эти отклонения отражают результаты доработки системы в разные годы аналогично тому, как добавлялись классы 2а и 3а в системе ОСТ. Это обстоятельство еще раз указывает, что любая система допусков и посадок так сильно влияет на различные стороны производственной деятельности, что стремятся не делать ее коренной переработки, а если потребуется, то вводят дополнения, хотя стройность системы в определенной мере нарушается.

Необходимо особо отметить, что на рис. 6 указан полный набор основных отклонений, который характеризует скорее потенциальные возможности системы. Однако далеко не все основные отклонения используются для нормирования полей допусков, а практически и каждом производстве применяют еще меньше основных отклонений. Перечислим некоторые особенности приведенные основу отклонений.

а) основные отклонения *H* и *h* равны нулю. Эти отклонения относятся к основному отверстию и основному валу наиболее широко используются.

б) основные отклонения валов от *a* до *h* и отверстий от *A* до *H* используются для образования полей допусков, предназначенных для посадок с зазором соответственно в системах отверстия (валы с основными отклонениями от *a* до *h*) и в системе вала (отверстия с основными отклонениями от *A* до *H*).

в) в переходных посадках используются чаще всего основные отклонения от *js* до *n* у валов, от *IS* до *N* у отверстия. Буквами *js* и *JS* фактически не обозначаются основное отклонение, а указывается, что при использовании этих

букв поле допуска располагается симметрично относительно нулевой линии, а числовые значения верхнего и нижнего отклонения одинаковые и равны половине допуска соответствующего качества, но имеют противоположные знаки.

Для полей допусков с использованием букв *JS* и *js* можно сказать что у них среднее отклонение (а не основное отклонение) равно нулю. Основные отклонения *j* и *J* аналогичны во многом отклонениям *js* и *JS* и отличаются тем, что поле допусков с этой буквой не имеют строго симметричного расположения.

г) основные отклонения валов от *p* до *zc* и отверстий от *P* до *ZC* используются в основном для образования полей допусков для посадок с натягом. (Оговорка "в основном" и "чаще всего" для основных отклонений от *js* до *zc* и *JS* до *ZC* объясняется тем, что строгую границу не всегда можно провести и в общем виде можно сказать, что основные отклонения от *js* до *zc* и *JS* до *ZC* используются для образования полей допусков для посадок переходных и с натягом).

д) основные отклонения не имеют постоянного числового значения для всех размеров, как это показано на рис. 6. Значения основных отклонений нормируются разными в зависимости от интервалов номинальных размеров.

Очень важная особенность ЕСДП заключается в том, что основные отклонения отверстий, как правило (с некоторым исключением) равны числовому значению и противоположны по знаку основным отклонениям валов, обозначаемым той же буквой, для одних и тех же интервалов размеров (обратите внимание, на рис. 6 одни отклонения по сравнению с другими являются зеркальным отображением относительно нулевой линии).

Поле допуска в ЕСДП образуется сочетанием основного отклонения и качества. В этом сочетании основное отклонение характеризует расположение поля допуска относительно нулевой линии, а качество значение допуска. Условное обозначение полей допусков поэтому состоит из указания основного отклонения и номера качества. Например, для валов: *h7, d8. js6*, для отверстий: *H7, D8, JS6* Обозначение номинального размера и поля допуска осуществляется написанием размера и вместе с ним поля допуска: *20g6, Ø40H7, ØH12, Ø30h7* и т.д. Обратите внимание, что по обозначению сразу можно отличить, к чему оно относится к валу или к отверстию (для вала буквы строчные).

отверстия и вала.

После того, как Вы познакомились с рядами точности, можно привести более исчерпывающее определение понятию посадок в системе отверстия и в системе вала.

Посадками в системе отверстия называется система, в которой посадки с зазором, натягом и переходные для одного интервала размеров и одного ряда точности (качества, класса) образуются всего одним полем допуска для отверстия и несколькими полями допусков валов, в том числе из соседних рядов точности.

Определение набора посадок в системе вала аналогично.

Обозначение посадок состоит из написания этих полей допусков обычно в виде простой дроби.

Запомните правило обозначения посадок, которое используется для всех видов посадок, а не только для гладких элементов деталей.

Поле допуска с внутренней сопрягаемой поверхностью (отверстие) всегда указывается в числителе, а поле допуска с внешней сопрягаемой поверхностью (вал) — в знаменателе.

Еще раз подчеркнем, что это относится не только к посадкам, которые мы сейчас рассматриваем, т.е. для гладких элементов деталей, но и для резьбы, для шпоночных и шлицевых соединений и т.д.

Пример обозначения по ЕСДП: $20 \frac{H7}{g6}$. Эта запись указывает, что в данной посадке при номинальном размере сопряжения, равном 20мм, поле допуска отверстия $H7$ (основное отклонение H , т.е. равно нулю, и допуск по 7 качеству), а поле допуска вала $g6$ (основное отклонение g , и допуск по 6 качеству).

Еще одна особенность, на которую необходимо обратить внимание при нормировании точности сопряжении, касается сочетаний качеств для отверстий и валов при образовании посадок. В рекомендуемых, а тем более предпочтительных посадках, как правило, дается больший допуск для отверстий (качество с большим числом), чем допуск вала. Это сделано опять же из экономических соображений. Для более грубых посадок обычно берутся одинаковые допуски (качества).

ТЕМЫ И ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практическая работа № 1

Расчет посадок в системе ISO

Практическая работа № 2

Расчет посадок с зазором

Практическая работа № 3

Расчет посадок с натягом

Практическая работа № 4

Назначение посадок на соединения метрических резьб с использованием государственных стандартов

Практическая работа № 5

Расчет посадок на метрические резьбы

Практическая работа № 6

Назначение и расчет посадок на подшипники качения.

Практическая работа № 7

Назначение и расчет посадок на шпоночные соединения

Практическая работа № 8

Расчет размерных цепей

Практическая работа № 9

Контроль качества продукции методом гистограмм

Пример 1. Вычислить допуск отверстия 7-го качества, если номинальный его размер 45 мм.

Размер 45 мм согласно табл. 1 находится в интервале размеров св. 30 мм до 50 мм. Наименьшее значение границы интервала $D_{min} = 30$ мм; наибольшее $D_{max} = 50$ мм.

Среднее геометрическое граничных значений интервала по формуле (4):

$$D_c = \sqrt{D_{min} \cdot D_{max}} = \sqrt{30 \cdot 50} = 38,7 \text{ мм} .$$

Единица допуска по формуле (1):

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{38,7} + 0,001 \cdot 38,7 = 1,56 \text{ мкм} .$$

По табл. 2 для 7-го качества $a = 16$.

Допуск отверстия по формуле (3):

$$IT7 = ai = 16 \cdot 1,56 = 24,9 = 25 \text{ мкм} .$$

Пример 2. Определить качество точности вала номинального размера 45 мм, если задан допуск $ITq = 25$ мкм.

Качество точности q может быть определен, если найти коэффициент a , называемый числом единиц допуска. Если число единиц допуска $a = 10$ (см. табл. 2), то допуск соответствует 6-му качеству, и т.д. Число единиц допуска a может быть определено по формуле (3). Используя результаты решения

примера 1, получим:

$$a = \frac{ITq}{i} = \frac{25}{1,56} = 16$$

Согласно табл. 2 допуск вала соответствует 7-му качеству точности.

Пример 3. На чертеже вала задан размер — $\varnothing 100_{+0,104}^{+0,139}$. Изготовлено 2 вала. После измерения размер 1-го вала оказался равным 99,975мм, а 2-го вала — 100,113мм. Требуется дать заключение о годности деталей.

Номинальный размер вала $d=100$ мм,

верхнее отклонение $es = +0,139$ мм,

нижнее отклонение $ei = +0,104$ мм.

Наибольший размер предельный размер вала

$d_{\max} = d + es = 100 + (+0,139) = 100,139$ мм,

наименьший $d_{\min} = d + ei = 100 + (+0,104) = 100,104$ мм.

Размер первого вала меньше предельного допустимого наименьшего диаметра d_{\min} , а потому вал должен быть забракован. Размер второго вала не выходит за предельные размеры, следовательно этот вал является годным.

Пример 4. Даны 3 соединения: посадка с зазором $\varnothing 48_{+0,025}^{+0,064}$ мм, посадка с

натягом $\varnothing 53_{+0,053}^{+0,030}$ мм, и переходная $\varnothing 48_{-0,016}^{-0,012}$ мм. Требуется определить

предельные размеры, допуски на изготовление деталей, предельные зазоры и натяги, а также допуски посадок.

Посадка с зазором $\varnothing 48_{+0,025}^{+0,064}$. Выпишем размеры и предельные отклонения

отверстия и вала заданного соединения: отверстие $\varnothing 48_{+0,025}^{+0,064}$ мм; его верхнее отклонение $ES = +0,064$ мм, нижнее отклонение $EI = +0,025$ мм; номинальный размер $D = 48$ мм; вал $\varnothing 48_{-0,016}$ мм; его верхнее отклонение $es = 0$ мм, нижнее отклонение $ei = -0,016$ мм; номинальный размер $d = 48$ мм.

Вычислим предельные размеры и допуск отверстия:

наибольший предельный размер

$$D_{\max} = D + ES = 48 + (+0,064) = 48,064 \text{ мм};$$

наименьший предельный размер

$$D_{\min} = D + EI = 48 + (+0,025) = 48,025 \text{ мм};$$

допуск отверстия

$$TD = D_{\max} - D_{\min} = 48,064 - 48,025 = 0,039 \text{ мм}$$

или

$$TD = ES - EI = +0,064 - (+0,025) = 0,039 \text{ мм}$$

Вычислим предельные размеры и допуск вала:

наибольший предельный размер

$$d_{\max} = d + es = 48 + 0 = 48 \text{ мм};$$

наименьший предельный размер

$$d_{\min} = d + ei = 48 + (-0,016) = 47,984 \text{ мм};$$

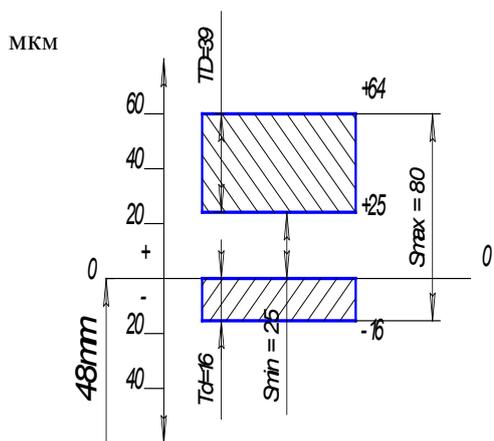
допуск вала

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = 48 - 47,984 = 0,016 \text{ мм}$$

или

$$Td = es - ei = 0 - (-0,016) = 0,016 \text{ мм.}$$

Изобразим схему расположения полей допусков и рассчитаем предельные зазоры и допуск посадки с зазором:



или

наибольший зазор

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 48,064 - 47,984 = 0,080 \text{ мм}$$

или

$$S_{\max} = ES - ei = +0,064 - (-0,016) = 0,080 \text{ мм};$$

наименьший зазор

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 48,025 - 48 = 0,025 \text{ мм}$$

или

$$S_{\min} = ES - ei = +0,025 - 0 = 0,025 \text{ мм};$$

допуск посадки с зазором

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = 0,080 - 0,025 = 0,055 \text{ мм}$$

$$TS = TD + Td = 0,039 + 0,016 = 0,055 \text{ мм.}$$

Посадка с натягом $\varnothing 53 \begin{smallmatrix} +0,030 \\ +0,083 \\ +0,053 \end{smallmatrix}$ мм.

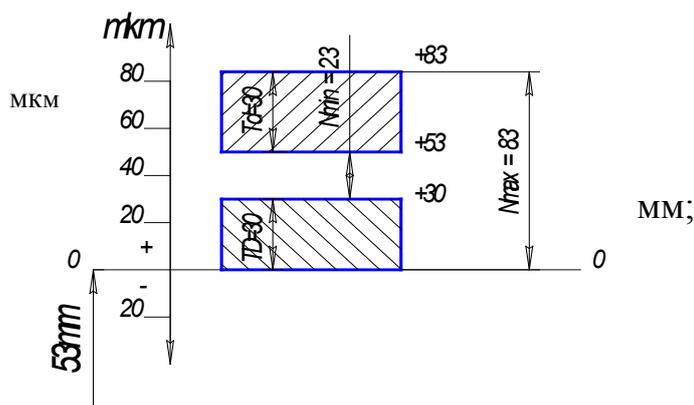
Отверстие $\varnothing 53 \begin{smallmatrix} +0,030 \\ +0,083 \\ +0,053 \end{smallmatrix}$; его верхнее отклонение $ES=+0,03$ мм; нижнее отклонение отверстия $EI=0$; вал $\varnothing 53 \begin{smallmatrix} +0,083 \\ +0,053 \end{smallmatrix}$ мм, его верхнее отклонение $es=+0,083$ мм; нижнее отклонение вала $ei=+0,053$ мм.

Определим допуск отверстия TD и допуск вала Td.

$$TD = ES - EI = +0,030 - 0 = 0,030 \text{ мм};$$

$$Td = es - ei = +0,083 - (+0,053) = 0,030 \text{ мм}.$$

Изобразим схему расположения полей допусков и рассчитаем предельные натяги и допуск посадки с натягом:



наибольший натяг

$$N_{\max} = es - EI = +0,083 - 0 = 0,083 \text{ мм};$$

наименьший натяг

$$N_{\min} = ei - ES = +0,053 - (0,030) = 0,023$$

мм;

допуск посадки с натягом

$$TN = N_{\max} - N_{\min} = 0,083 - 0,023 = 0,06 \text{ мм}$$

или

$$TN = TD + Td = 0,03 + 0,03 = 0,06 \text{ мм}.$$

Переходная посадка $\varnothing 48 \begin{matrix} -0,012 \\ -0,028 \\ -0,016 \end{matrix}$ мм.

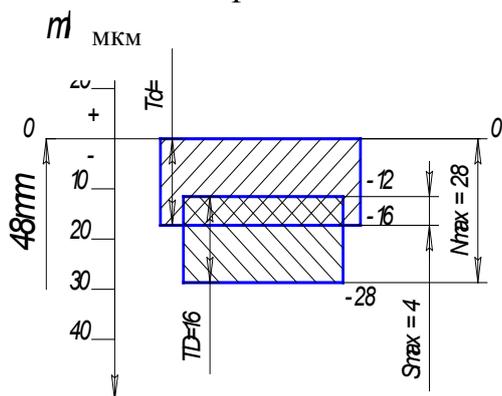
Верхнее и нижнее отклонения отверстия: $ES = -0,012$ мм, $EI = -0,028$ мм.

Допуск отверстия $TD = ES - EI = -0,012 - (-0,028) = 0,016$ мм.

Верхнее и нижнее отклонение вала: $es = 0$, $ei = -0,016$ мм.

Допуск вала $Td = es - ei = 0 - (-0,016) = 0,016$ мм.

По схеме расположения полей допусков:



наибольший зазор

$$S_{\max} = ES - ei = -0,012 - (-0,016) = 0,004 \text{ мм};$$

наименьший зазор

$$S_{\min} = EI - es = -0,028 - 0 = -0,028 \text{ мм}.$$

Это соответствует наибольшему натягу, так как зазор получился отрицательным. Следовательно, переходная посадка позволяет получить соединения с натягами, а также соединения с зазорами.

Допуск переходной посадки:

$$T(S, N) = TD + Td = 0,016 + 0,016 = 0,032 \text{ мм}.$$

В изделии, изготовленном на предприятии размеры деталей находятся во взаимосвязи и взаимозависимости. Размерные связи детали или изделия анализируют с помощью теории размерных цепей.

Размерной цепью называется совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур. Размеры, входящие в размерную цепь, называются звеньями. Звенья подразделяют на замыкающее (исходное) и составляющие. Среди составляющих различают увеличивающие и уменьшающие звенья.

Номинальный размер замыкающего звена A_{Δ} может быть найден по формуле (7):

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \tilde{A}_i - \sum_{i=1}^{m-1} \tilde{A}_i, \quad (7)$$

где m – число звеньев размерной цепи;

$m-1$ – число составляющих звеньев;

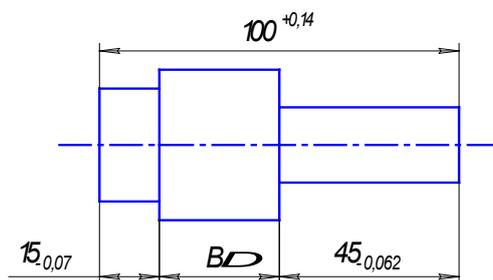
n – число увеличивающих звеньев;

$m-1-n$ – число уменьшающих звеньев;

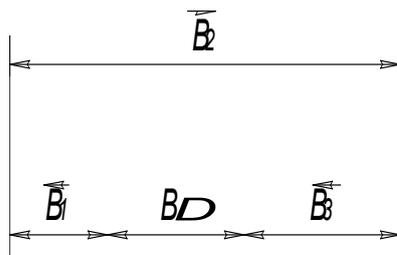
\tilde{A}_i – номинальный размер i -го увеличивающего звена;

\tilde{A}_i – номинальный размер i -го уменьшающего звена.

Пример 5. По заданному чертежу вала построить размерную цепь и вычислить номинальный размер замыкающего звена.



Построение размерной цепи начнем с замыкающего звена V_{Δ} . Далее, следуя по ходу часовой стрелки находим размер $15_{-0,07}$ – он будет являться уменьшающим звеном, следовательно обозначим его как \tilde{B}_1 . Затем проводим линию 0-0, ограничивающую размеры вала, и от нее откладываем вправо размер $100^{+0,14}$, который будет увеличивающим звеном \tilde{B}_2 . Далее проводим вторую ограничивающую линию 0-0 и влево от нее изображаем последний размер $45_{-0,062}$, который будет уменьшающим звеном \tilde{B}_3 .



Номинальный размер замыкающего звена определим по формуле:

$$B_{\Delta} = \sum_{i=1}^1 \bar{B}_i - \sum_{i=2}^3 \bar{B}_i = \bar{B}_2 - (\bar{B}_1 + \bar{B}_3) = 100 - (15 + 45) = 40 \text{ мм}$$

С помощью теории размерных цепей решают две основные задачи: прямую и обратную. При решении прямой задачи необходимо рассчитать допуски всех составляющих звеньев и назначить их предельные отклонения по заданным номинальным размерам всех звеньев, а также по известным предельным отклонениям исходного (замыкающего) звена.

При решении обратной задачи по известным значениям номинальных размеров и предельных отклонений всех составляющих звеньев размерной цепи требуется рассчитать номинальный размер замыкающего звена и его предельные (верхнее и нижнее) отклонения.

Верхнее и нижнее отклонение звена V_i размерной цепи можно вычислить по формулам (8):

$$\begin{aligned} Es(V_i) &= V_{i \max} - V_i ; \\ Ei(V_i) &= V_{i \min} - V_i , \end{aligned} \quad (8)$$

где $V_{i \max}$ ($V_{i \min}$) – наибольший (наименьший) предельный размер i -го звена; V_i – номинальный размер i -го звена.

Для определения наибольшего и наименьшего размера замыкающего звена пользуются формулами (9):

$$\begin{aligned} B_{\Delta \max} &= \sum_{i=1}^n \bar{B}_{i \max} - \sum_{n+1}^{m-1} \bar{B}_{i \min} \\ B_{\Delta \min} &= \sum_{i=1}^n \bar{B}_{i \min} - \sum_{n+1}^{m-1} \bar{B}_{i \max} , \end{aligned} \quad (9)$$

где n – число увеличивающих звеньев; $m-1-n$ – число уменьшающих звеньев; $\bar{B}_{i \max}$ – номинальный размер i -го увеличивающего звена; $\bar{B}_{i \min}$ – номинальный размер i -го уменьшающего звена.

Используя выведенные формулы, получим формулы для верхнего и нижнего отклонения замыкающего звена в общем виде (10, 11):

$$Es(B_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Es(\bar{B}_i) - \sum_{n+1}^{m-1} Ei(\bar{B}_i) , \quad (10)$$

где $Es(\bar{B}_i)$ – верхнее отклонение i -го увеличивающего звена; $Ei(\bar{B}_i)$ – нижнее отклонение i -го уменьшающего звена.

$$Ei(B_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Ei(\bar{B}_i) - \sum_{n+1}^{m-1} Es(\bar{B}_i) , \quad (11)$$

где $Ei(\bar{B}_i)$ - нижнее отклонение i -го увеличивающего звена; $Es(\bar{B}_i)$ - верхнее отклонение i -го уменьшающего звена.

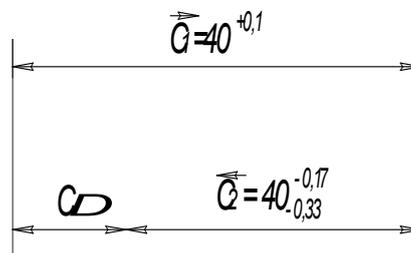
Соответственно, допуск замыкающего звена TB_{Δ} :

$$TB_{\Delta} = Es(B_{\Delta}) - Ei(B_{\Delta}),$$

или в общем виде (12):

$$TB_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TB_i \quad (12)$$

Пример 6. Решение обратной задачи методом полной взаимозаменяемости. При сборке изделия необходимо выдержать зазор в



пределах 0,2..0,4мм. Необходимо провести расчет размерной цепи методом полной взаимозаменяемости и убедиться, что заданный зазор будет обеспечен после сборки деталей.

В данном случае необходимый зазор будет являться замыкающим звеном, размер $40^{+0,1}$ – увеличивающим звеном, а размер $40^{-0,17}$ - уменьшающим звеном.

Найдем номинальный размер замыкающего звена:

$$C_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \bar{C}_i - \sum_{n+1}^{m-1} \bar{C}_i = \bar{C}_1 - \bar{C}_2 = 40 - 40 = 0 \text{ мм}$$

Найдем верхнее и нижнее отклонение замыкающего звена:

$$\begin{aligned} Es(\tilde{N}_{\Delta}) &= \sum_{i=1}^n Es(\tilde{N}_i) - \sum_{n+1}^{m-1} Ei(\tilde{N}_i) = Es(\bar{C}_1) - Ei(\bar{C}_2) = \\ &= +0,1 - (-0,33) = +0,43 \text{ мм} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ei(\tilde{N}_{\Delta}) &= \sum_{i=1}^n Ei(\tilde{N}_i) - \sum_{n+1}^{m-1} Es(\tilde{N}_i) = Ei(\bar{C}_1) - Es(\bar{C}_2) = \\ &= 0 - (-0,17) = +0,17 \text{ мм} \end{aligned}$$

Допуск замыкающего звена TC_{Δ} будет равен:

$$TC_{\Delta} = Es(C_{\Delta}) - Ei(C_{\Delta}) = +0,43 - (+0,17) = 0,26 \text{ мм.}$$

Определим предельные размеры замыкающего звена:

$$C_{\Delta \max} = C_{\Delta} + Es(C_{\Delta}) = 0 + (+0,43) = 0,43 \text{ мм};$$
$$C_{\Delta \min} = C_{\Delta} + Ei(C_{\Delta}) = 0 + (+0,17) = 0,17 \text{ мм}.$$

Следовательно, при сборке деталей не будет обеспечено выполнение заданного зазора 0,2..0,4 мм, так как этот зазор может достигать значений 0,17..0,43 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пачевский, В.М. [и др.]. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. М. Пачевский, М.Н. Краснова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Электрон. текстовые, граф. дан. – Воронеж: ФБГОУ ВО «ВГТУ», 2013. – 183 с.

2. Никифоров А. Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебное пособие для машиностроит. спец. вузов. М.: Высшая школа, 2000. 510 с.

3. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. 711 с.

4. Пачевский В. М. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособ. / В. М. Пачевский, А. Н. Осинцев, М. Н. Краснова. Воронеж; ВГТУ, 2003. 206 с.

5. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1987.

6. Пособие к решению задач по курсу "Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения": Высшая школа / Н.П. Зябрева, Е. И. Перельман, М. Я. Шегал. М.: Машиностроение, 1987.

7. Допуски и посадки: Справочник / М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. В 2 ч. Л.: Политехника. 1991. Ч. 1. 576 с.; 1991. Ч. 2. 607 с.

8. Белкин И. М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости): учебное пособие. М.: Машиностроение, 1992. 528 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе.....	3
Теоретическая часть.....	3
Темы и примеры решения практических работ.....	23
Библиографический список.....	31

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
для студентов направления подготовки
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств», 15.03.01 «Машиностроение»,
всех профилей и форм обучения

Составитель:

Краснова Марина Николаевна

Издается в авторской редакции

Компьютерный набор Е. Д. Зотовой

Подписано к изданию 28.12.2021.

Уч.-изд. л. 2,1.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84