

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕХАНИЗМОВ

РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Часть 3

Методические указания
к выполнению курсовой работы (проекта)
по дисциплинам «Основы взаимозаменяемости»,
«Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения»,
«Нормирование точности в машиностроении»,
«Взаимозаменяемость, метрология, стандартизация
и управление качеством»
для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения
технических направлений

Севастополь
СевГУ
2019

УДК 531.7
Н83

Рецензент:

В.В. Мешков – проректор по административной политике
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Составители: Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина,
Г.В. Невар

Н83 Нормирование и контроль точности типовых соединений механизмов. Расчет размерных цепей (часть 3): метод. указания к выполнению курсовой работы (проекта) / Сост. Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина, Г.В. Невар. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 28 с.

Методические указания предназначены для учебно-методического обеспечения дисциплин «Основы взаимозаменяемости», «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Нормирование точности в машиностроении», «Взаимозаменяемость, метрология, стандартизация и управление качеством».

Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении курсовой работы (проекта) по указанным выше дисциплинам.

УДК 531.7

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов» протокол № 10 от 28 апреля 2018 г.

Рекомендовано в качестве методических указаний для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения технических направлений.

Изд. № 176/18. Объем 1,75 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ	4
1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.....	5
1.1. Цель работы	5
1.2. Общие сведения о размерном анализе.....	5
2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ	6
2.1. Основные понятия о размерных цепях	6
2.2. Классификация размерных цепей и задачи, решаемые при их расчете	9
3. ПРОВЕРОЧНАЯ ЗАДАЧА	12
4. ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ ЗАДАЧА.....	15
4.1. Решение методом полной взаимозаменяемости	15
4.2. Решение теоретико-вероятностным методом	18
4.3. Решение методом регулирования.....	22
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	26
ПРИЛОЖЕНИЕ А	27

ОБОЗНАЧЕНИЯ

$A(B, B...)$	– обозначение звена размерной цепи
A_0	– номинальный размер замыкающего звена
$A_0^{\max} (A_0^{\min})$	– предельные размеры замыкающего звена
TA_0	– допуск замыкающего звена
$E_s(A_0), E_i(A_0)$	– предельные отклонения замыкающего звена
$E_c(A_0)$	– координата середины интервала (поля) допуска замыкающего звена
A_j	– номинальный размер j -го составляющего звена
$A_j^{\max} (A_j^{\min})$	– предельные размеры j -го составляющего звена
TA_j	– допуск j -го составляющего звена
$E_s(A_j), E_i(A_j)$	– предельные отклонения j -го составляющего звена
$E_c(A_j)$	– координата середины интервала (поля) допуска j -го составляющего звена
k_{cp}	– среднее количество единиц допуска
P	– процент риска
t	– коэффициент принятого процента риска
σ	– среднеквадратичное отклонение размера
λ	– коэффициент относительного рассеяния
K	– обозначение компенсатора
s	– обозначение толщины прокладки
n	– число сменных прокладок
V_k	– наибольшее расчетное отклонение, выходящее за пределы интервала (поля) допуска исходного звена, подлежащее компенсации

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Цель работы

Курсовая работа (проект) ставит своей целью закрепление знаний и привитие практических навыков студентам по дисциплинам «Основы взаимозаменяемости», «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Нормирование точности в машиностроении», «Взаимозаменяемость, метрология, стандартизация и управление качеством», изучение принципов взаимозаменяемости деталей машиностроения в различных соединениях, а также справочной и нормативной литературы.

В ходе выполнения данной части курсовой работы (проекта) студент должен проявить:

- знания основных понятий о размерных цепях, их видах, задачах, решаемых при обеспечении точности, методах и способах решения таких задач;
- умения выбирать оптимальный для заданных условий метод, производить расчеты размерных цепей различными методами, применять результаты размерного анализа при оформлении графической документации.

1.2. Общие сведения о размерном анализе

В этой части методических указаний рассматриваются методы размерного анализа взаимосвязанных размеров одной или нескольких деталей в узле или механизме.

Анализ размерных цепей устанавливает связь между размерами деталей машин, дает возможность назначить допуски исходя из эксплуатационных требований к точности обработки и сборки, повысить качество и снизить трудоемкость изготовления изделий.

Размерный анализ позволяет установить наиболее рациональный вид взаимозаменяемости, определить допуски и пересчитать конструктивные размеры на технологические.

2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

При выполнении данного раздела курсовой работы (проекта) необходимо изучить основные термины, определения и классификацию размерных цепей. Следует знать решение двух типов задач при расчете размерных цепей. Особое внимание должно быть уделено методам решения размерных цепей, обеспечивающих полную взаимозаменяемость, вероятностному методу и методу решения размерных цепей с применением компенсаторов.

В пояснительной записке необходимо по заданному размеру и отклонениям замыкающего звена определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев цепи методами, указанными в индивидуальном задании.

В графической части курсовой работы (проекта) необходимо составить схему цепи (выявить размерную цепь, условно обозначить звенья), использовать полученные результаты расчетов при выполнении рабочих чертежей деталей.

2.1. Основные понятия о размерных цепях

Все детали изготавливаются по определенным размерам с определенной точностью. Если эти детали рассматривать отдельно друг от друга, то точность размера каждой из них не зависит от точности другой. Если же эти детали соединить, т.е. образовать сопряжение, то сразу возникает зависимость значения параметра сопряжения (зазора или натяга) от размеров элементов деталей и их точности. Другой пример: если взять ступенчатый вал, то его общая длина будет зависеть от длины каждой ступени, т.е. общая длина вала связана с длинами отдельных ступеней. Ну, а если взять сложный механизм, например, редуктор, то в нем на одном валу могут быть установлены разные по длине детали (зубчатые колеса, муфты, втулки, кольца, прокладки и т.д.), и общая длина собранных на валу деталей будет зависеть от длины каждой из них. Следовательно, необходимо назначать такие требования к точности размеров этих деталей, чтобы они могли быть собраны на валу, и их суммарная длина была бы не больше, чем расстояние между стенками корпуса редуктора, в котором должен быть установлен вал. И не просто установлен, но и обеспечен требуемый осевой зазор.

Таким образом, когда рассматривают совокупность размеров детали или сборочной единицы, следует связывать между собой размеры отдельных деталей или размеры отдельных элементов детали и решать вопрос о совместном нормировании точностных требований к ним.

Взаимосвязь размеров элементов детали или отдельных деталей, входящих в конструкцию узла или всего механизма, составляет размерную цепь.

Размерной цепью называется совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи.

Размеры, входящие в размерную цепь, называют *составляющими звеньями*, или просто звеньями, и обозначают чаще всего прописными русскими буквами с индексами (рис. 2.1), поскольку отсутствует международный документ, регламентирующий правила обозначения элементов размерных цепей.

В размерной цепи всегда выделяют одно звено, которое называют замыкающим звеном, а при решении некоторых задач и исходным звеном.

Под **исходным звеном** понимается звено, заданную точность которого необходимо обеспечить. **Замыкающим звеном** называется размер (звено), получаемый в размерной цепи последним при обработке или сборке. Используя понятие о замыкающем звене, разработчик может влиять на последовательность обработки. На простейшем примере (рис. 2.1) можно показать способ управления последовательностью обработки. Если указать замыкающим звеном размер 80 мм, то необходимо последовательно обработать отдельные ступени, и размер 80 мм получается, как замыкающее звено без дополнительной обработки. Если указать замыкающим звеном размер 30 мм, то необходимо вначале обработать размер 80 мм, а потом размер 50 мм. Замыкающее звено иногда обозначают на чертеже размером со звездочкой, а в технических условиях текстом указывают, что этот размер дан для справки.

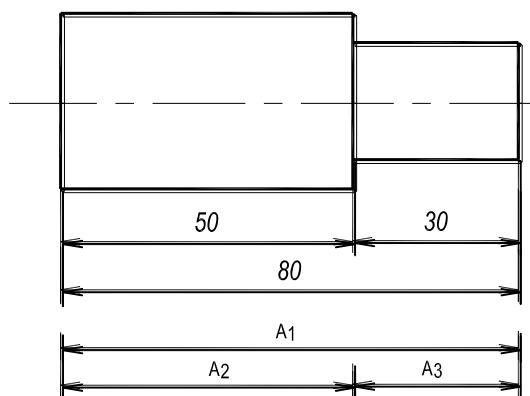


Рисунок 2.1 – Размерная цепь из элементов детали

Для облегчения решений задач по обеспечению точности размерных цепей их удобнее представить в виде графиков, образующих замкнутый контур. Например, на рис. 2.1 вверху показан эскиз детали, а внизу – изображение размерной цепи, состоящей из длин ее элементов. Возможны и более сложные размерные цепи (рис. 2.2).

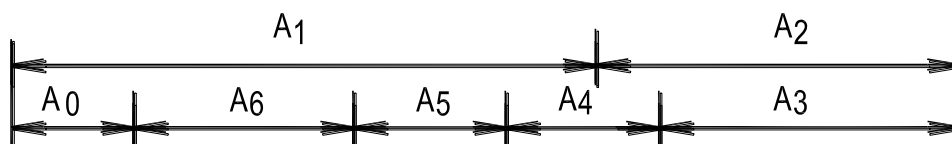


Рисунок 2.2 – Сложная размерная цепь с параллельными ветвями

Рассмотренные ранее посадки с зазором и натягом также могут служить примерами размерных цепей. На рис. 2.3, а изображена размерная цепь при образовании посадки с зазором, где зазор является звеном размерной цепи. На рис. 2.3, б показана посадка с натягом, где значение натяга является также звеном размерной цепи. Следует обратить внимание на то, что и зазор и натяг получаются последними в этих простейших размерных цепях, т.е. являются замыкающими звеньями.



Рисунок 2.3 – Размерные цепи при образовании посадок

Составляющие звенья размерной цепи и замыкающее звено связаны между собой очень важной особенностью, которая позволяет разделить составляющие звенья на два типа.

1. **Увеличивающим звеном** размерной цепи называется звено, с увеличением которого размер замыкающего звена тоже увеличивается (на рис. 2.2 звенья A_1 и A_2 являются увеличивающими, потому что при их увеличении размер звена A_0 будет увеличиваться).

2. **Уменьшающим звеном** размерной цепи называют звено, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается (на рис. 2.2 звенья A_3 , A_4 , A_5 , A_6 являются уменьшающими звеньями).

Решение размерной цепи заключается, прежде всего, в обеспечении точности замыкающего звена, т.е. необходимо так нормировать точность составляющих звеньев и замыкающего звена, чтобы объекты, которые образуют размерную цепь в виде элементов отдельной детали или деталей узла или другой сборочной единицы, выполняли свое служебное и функциональное назначение.

На рис. 2.4 для сборочной единицы «привод» показаны две из возможных размерных цепей по монтажным размерам – вертикальная и горизонтальная.

Цель расчета этих размерных цепей заключается в нормировании точности их составляющих звеньев (размеров) так, чтобы двигатель 2 и редуктор 3 можно было собрать (соединить) на станине 1 без дополнительной

обработки. В горизонтальной размерной цепи замыкающее звено B_0 характеризует расстояние между полумуфтами в горизонтальном направлении, а в вертикальной цепи замыкающее звено C_0 характеризует возможное несовпадение осей двигателя и редуктора. При обеспечении заданной точности размеров этих замыкающих звеньев монтаж редуктора и двигателя на станине будет произведен без дополнительной подгонки.

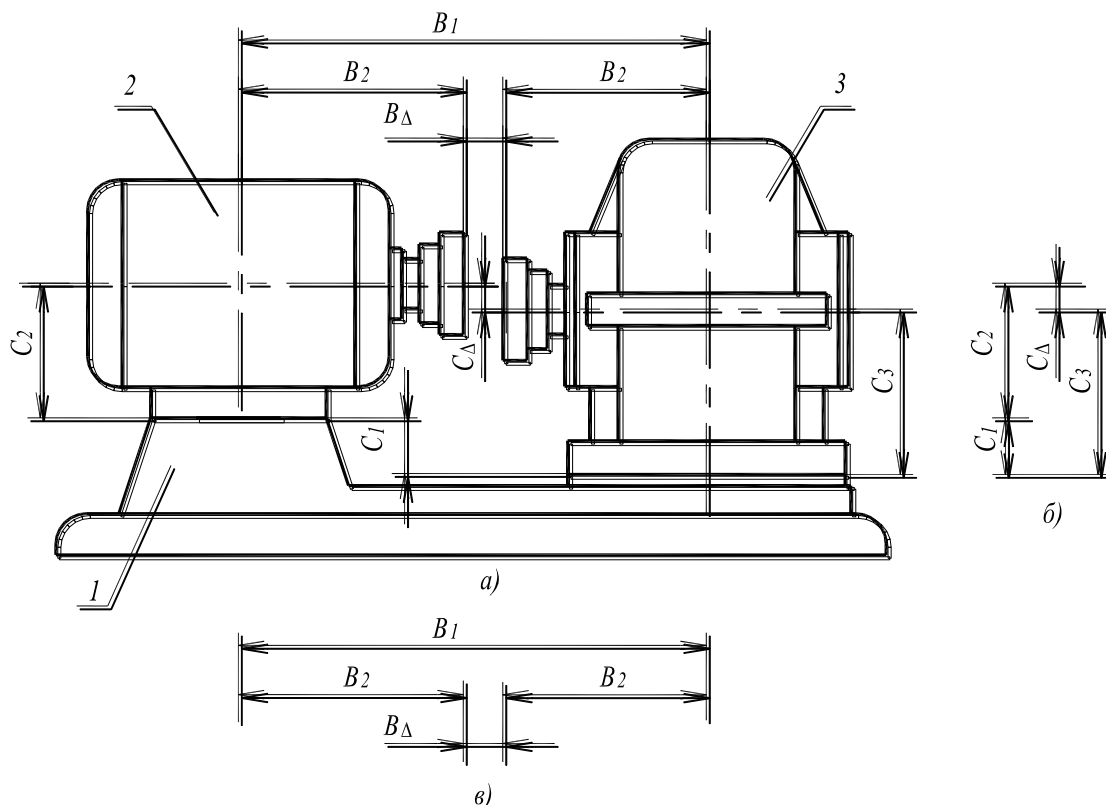


Рисунок 2.4 – Сборочная размерная цепь

Таким образом, обеспечение точности размерной цепи заключается в нормировании точности, т.е. указания предельных значений размеров всех звеньев цепи применительно к требованиям конструкции или технологического процесса.

2.2. Классификация размерных цепей и задачи, решаемые при их расчете

В зависимости от разных классификационных признаков можно указать несколько видов размерных цепей:

- по количеству деталей – подетальные и сборочные;
 - по взаимному расположению звеньев – плоские и пространственные;
 - по типу звеньев – линейные, угловые и комбинированные;
 - по назначению – конструкторские, технологические и измерительные.
- Надо иметь в виду, что любая конструкция представляет собой за-

мкнутую размерную цепь. При обработке любой детали имеет место технологическая размерная цепь, где замыкающим звеном является размер обрабатываемого элемента детали. При измерениях средство измерения вместе со вспомогательными элементами образуют измерительную размерную цепь, где замыкающим звеном является размер измеряемого элемента детали.

Многие задачи, в том числе определение погрешностей монтажа, обработки и измерений, могут быть решены при рассмотрении замкнутых размерных цепей.

В зависимости от исходных данных о размерах и точности звеньев размерной цепи, а также от цели, ради которой рассматриваются размеры цепи, решаются две задачи.

1. Определение предельных размеров замыкающего звена размерной цепи (т.е. точности этого звена), при известных предельных размерах остальных составляющих звеньев.

Эту задачу с полным основанием можно назвать «проверочной», поскольку необходимость в ее решении возникает тогда, когда закончилось конструирование объекта и определилась его конструкция, т.е. стали известны значения всех составляющих звеньев и установлены требования к их точности. В этой задаче необходимо определить, какие предельные значения размера будут у замыкающего звена при заданных предельных размерах составляющих звеньев, и соберется ли узел при принятой точности составляющих звеньев.

2. Определение предельных размеров составляющих звеньев размерной цепи, если известны предельные размеры замыкающего звена и номинальные значения размеров составляющих звеньев. При решении этой задачи замыкающее звено обычно называют «исходным звеном».

Эту задачу целесообразно называть «проектировочной», поскольку решают ее при проектировании конструкции. Так, после того как определилась конструкция узла или механизма и установлены номинальные размеры всех деталей, а также стали известны требования к точности замыкающего (исходного) звена - например, известен необходимый зазор, который следует обеспечить при сборке, то при решении такой задачи необходимо определить требования к точности составляющих звеньев (задать на них отклонения от номинальных размеров).

При решении этих двух задач (часто употребляют выражение – «решение размерной цепи») возможны два подхода. При одном подходе назначаются предельные значения всех звеньев с тем условием, чтобы обеспечилась полная взаимозаменяемость. В этом случае следует так учитывать требования к точности составляющих звеньев, чтобы при любом сочетании годных по размерам составляющих звеньев была достигнута цель решения размерной цепи. Например, все детали, которые поступили

на сборку, имеют все наибольшие или наименьшие предельные размеры и все равно будет обеспечена точность замыкающего звена в заданных пределах. Поэтому этот метод часто называют расчетом на «максимум – минимум».

При втором подходе задачи решают с тем условием, что будет обеспечиваться неполная взаимозаменяемость и для обеспечения точности замыкающего звена возникает необходимость дополнительной обработки отдельных звеньев цепи или следует использовать другие приемы.

3. ПРОВЕРОЧНАЯ ЗАДАЧА

Решение проверочной задачи будем производить методом максимума-минимума и проиллюстрируем примером.

Известны предельные допустимые значения всех составляющих звеньев и требуется определить возможные предельные размеры замыкающего звена. У деталей (рис. 3.1, а) вначале обрабатывают базовую поверхность 1; затем по настройке от этой базы – плоскость 2 по размеру $A_2 = 28 \pm 0,14$ мм и плоскость 3 по размеру $A_1 = 60 \pm 0,2$ мм. Размерная цепь показана на рис. 3.1, б.

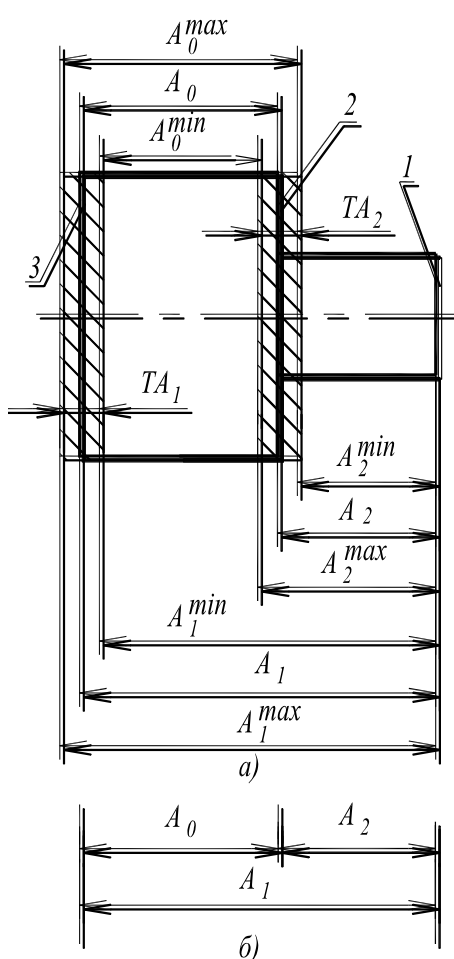


Рисунок 3.1 – Трехзвенная размерная цепь

В общем случае при n увеличивающих и p уменьшающих размерах номинальный размер замыкающего звена линейной размерной цепи можно определить по формуле

$$A_0 = \sum_{j=1}^n A_{j_{ув}} - \sum_{n+1}^{n+p} A_{j_{ум}}. \quad (3.1)$$

Это уравнение справедливо и в случае, когда вместо номинальных взяты значения соответствующих действительных размеров размерной цепи.

В технологической линейной размерной цепи размер A_0 является замыкающим; он зависит от увеличивающего размера A_1 и уменьшающего размера A_2 :

$$A_0 = A_1 - A_2 = 60 - 28 = 32 \text{ мм.}$$

Составляющие размеры могут меняться в установленных допусками пределах. При сочетании наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих составляющих размеров замыкающий размер имеет наибольшее значение, при сочетании наименьших увеличивающих и наибольших уменьшающих составляющих размеров – наименьшее значение:

$$A_0^{\max} = \sum_{j=1}^n A_{j_{\text{ув}}}^{\max} - \sum_{n+1}^{n+p} A_{j_{\text{ум}}}^{\min}; \quad (3.2)$$

$$A_0^{\min} = \sum_{j=1}^n A_{j_{\text{ув}}}^{\min} - \sum_{n+1}^{n+p} A_{j_{\text{ум}}}^{\max}. \quad (3.3)$$

По формулам (3.2) и (3.3) определяем предельные размеры замыкающего звена для данного примера:

$$A_0^{\max} = 60,2 - 27,86 = 32,34 \text{ мм;}$$

$$A_0^{\min} = 59,80 - 28,14 = 31,66 \text{ мм.}$$

Поскольку разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами есть допуск, вычтем почленно равенство (3.3) из равенства (3.2). Тогда получим:

$$TA_0 = \sum_{j=1}^n TA_{j_{\text{ув}}} + \sum_{n+1}^{n+p} TA_{j_{\text{ум}}}.$$

Если принять общее число звеньев в цепи равным m , а общее число составляющих звеньев $m - 1 = n + p$, то

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j, \quad (3.4)$$

т.е. допуск замыкающего размера равен сумме допусков составляющих размеров. При $TA_1 = 0,40$ мм и $TA_2 = 0,28$ мм $TA_0 = 0,40 + 0,28 = 0,68$ мм.

На основании (3.4) запишем формулу для определения допуска любого составляющего размера A_q при условии, что известны допуски остальных размеров цепи, включая замыкающий:

$$TA_q = TA_0 - \sum_{j=1}^{m-2} TA_j . \quad (3.5)$$

Здесь суммируются допуски всех составляющих звеньев, кроме допуска звена A_q . При расчете удобно использовать координату середины интервала (поля) допуска $E_c A_j$ и половину допуска $TA_j/2$. Для любого составляющего звена получаем

$$E_c A_j = E_s A_j - \frac{TA_j}{2}; \quad E_c A_j = E_i A_j + \frac{TA_j}{2} \quad (j=1...m); \quad (3.6)$$

$$E_c A_0 = \sum_{j=1}^n E_c A_{j_{y\phi}} - \sum_{n+1}^{n+p} E_c A_{j_{ym}} . \quad (3.7)$$

Для данного примера ввиду симметричности отклонений:

$$E_c A_0 = E_c A_1 = E_c A_2 = 0 .$$

Уравнения для определения соответственно верхнего и нижнего отклонений замыкающего звена имеют вид:

$$E_s A_0 = \sum_{j=1}^n E_s A_{j_{y\phi}} - \sum_{n+1}^{n+p} E_i A_{j_{ym}} ; \quad (3.8)$$

$$E_i A_0 = \sum_{j=1}^n E_i A_{j_{y\phi}} - \sum_{n+1}^{n+p} E_s A_{j_{ym}} . \quad (3.9)$$

Отклонения замыкающего звена размерной цепи, изображенной на рис. 3.1:

$$\begin{aligned} E_s A_0 &= 0,2 - (-0,14) = 0,34 \text{ мм;} \\ E_i A_0 &= -0,2 - (+0,14) = -0,34 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Таким образом, замыкающий размер $A_0 = 32 \pm 0,34$.

4. ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ ЗАДАЧА

В данном разделе рассматривается проекторочный расчет, где необходимо определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев A_j цепи по заданному замыкающему звену A_0 (см. сборочный чертеж), его предельным отклонениям (см. исходные данные) и номинальным размерам соответствующих звеньев A_j , которые необходимо выбрать из чертежа с учетом масштаба.

4.1. Решение методом полной взаимозаменяемости

Решение задачи методом полной взаимозаменяемости (способом назначения допусков одного качества) состоит из следующих этапов.

1. Выявление размерной цепи, составление ее схемы.
2. Нахождение увеличивающих $A_{j_{ув}}$ и уменьшающих $A_{j_{ум}}$ звеньев размерной цепи, обеспечив выполнение условия (3.1).
3. Определение среднего количества единиц допуска (коэффициента степени точности):

$$k_{cp} = \frac{TA_0 - \sum_{j=1}^q TA_{j_{cm}}}{\sum_{j=1}^{m-q-1} i_j},$$

где TA_0 – допуск замыкающего звена; $\sum_{j=1}^q TA_{j_{cm}}$ – суммарный допуск стандартных звеньев (например, размеров подшипников качения), которые входят в состав данной размерной цепи, мкм; i_j – значение единицы допуска каждого j -го составляющего звена, мкм.

Единицы допуска стандартных звеньев в сумме, находящейся в знаменателе, не учитываются. Значение единиц допуска определяется по табл. А.1 в прил. А. Полученное в результате расчета количество единиц допуска k_{cp} округляют до ближайшего стандартного значения и выбирают качество (табл. А.2 прил. А).

4. Определение допусков составляющих звеньев TA_j по выбранному качеству точности и номинальным размерам соответствующих звеньев A_j , используя данные табл. А.1 в прил. А.

При нахождении допусков составляющих звеньев TA_j допускаются упрощения расчетов, что может привести к неравенству:

$$TA_0 \neq \sum_{j=1}^{m-1} TA_j,$$

поэтому одно из составляющих звеньев необходимо принять за компенсирующее и определить величину его допуска по формуле (3.5):

$$TA_k = TA_0 - \sum_{j=1}^{m-2} TA_j, j \neq k.$$

5. Назначение предельных отклонений составляющих звеньев (кроме компенсирующего) с учетом классификации линейных размеров на охватывающие и охватываемые.

Допуски отверстий (охватывающих размеров) принимают со знаком «плюс», а допуски валов (охватываемых размеров) – со знаком «минус». Остальные размеры (ступенчатые) имеют симметричные отклонения. Данные правила не распространяются на стандартные изделия.

6. Определение верхнего и нижнего предельных отклонений компенсирующего звена из уравнений (3.8), (3.9).

7. Проверка правильности решения задачи по формуле (3.4).

Решение задачи рекомендуется оформлять в табличном виде.

Пример. В редукторе (рис. 4.1) величина зазора S должна быть в пределах 0,5...1,5 мм. Принимая номинальный размер зазора 1 мм, получаем $S=A_0=1\pm 0,5$. Требуется назначить допуски и предельные отклонения на составляющие размеры при условии обеспечения полной взаимозаменяемости.

Решение:

Это проектировочная задача. Замыкающее звено S . Размер A_5 , так же как и A_9 , является шириной кольца подшипника и допускаемые отклонения его по ГОСТ 520-2011 равны $E_s = 0$, $E_i = -0,150$. Решение удобнее расположить в виде таблицы (табл. 1).

При использовании способа назначения допусков одного качества определяем среднее количество единиц допуска k_{cp} :

$$k_{cp} = \frac{TA_0 - \sum_{j=1}^q TA_{j\text{ см}}}{\sum_{j=1}^{m-q-1} i_j} = \frac{1000 - 300}{14,71} = 47,59 \approx 40 \text{ ед. допуска.}$$

Значение k_{cp} соответствует точности обработки 9-го качества (табл. А.2 прил. А).

В колонке 5 показаны допуски 9-го качества на составляющие звенья соответствующего номинального размера. Сумма допусков меньше допуска замыкающего звена на 113 мкм. Чтобы удовлетворялось уравнение

(3.4), увеличим допуск на звено A_2 , принятое в качестве компенсирующего. Принятые значения допусков приведены в столбце TA_{jnp} .

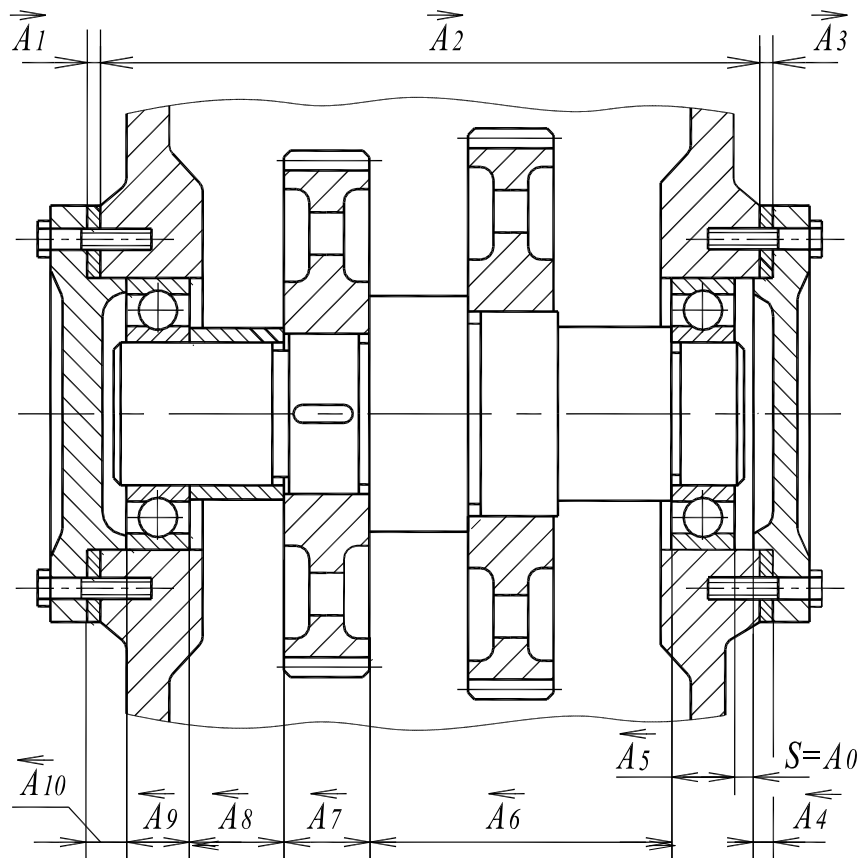


Рисунок 4.1 – Эскиз узла со схемой размерной цепи

Назначим отклонения составляющих звеньев $A_1, A_3, A_6 \dots A_8$ в «минус», так как они являются охватываемыми, отклонения ступенчатых звеньев A_4 и A_{10} – симметричные, отклонения стандартных звеньев A_5 и A_9 – согласно ГОСТ 520 – 2011, а размер A_2 может иметь отклонения любого знака.

Отклонения A_2 определяем из уравнений (3.8), (3.9):

$$E_s A_0 = \sum_{j=1}^n E_s A_{jy\phi} - \sum_{n+1}^{n+p} E_i A_{jym}; \quad E_i A_0 = \sum_{j=1}^n E_i A_{jy\phi} - \sum_{n+1}^{n+p} E_s A_{jym}.$$

Получим:

$$+500 = (E_s A_2 + 0 + 0) - (-31 - 150 - 100 - 74 - 74 - 150 - 31);$$

$$E_s A_2 = -110 \text{ мкм};$$

$$-500 = (E_i A_2 - 30 - 30) - (+31 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 31);$$

$$E_i A_2 = -378 \text{ мкм};$$

Таблица 1 – Решение проектировочной задачи методом полной взаимозаменяемости

№	A_j	тип	i_j , мкм	TA_j , мкм	TA_{jnp} , мкм	$E_s A_j, E_i A_j$
1	5	ув.	0,73	30	30	$5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,030 \end{smallmatrix}$
2	448	ув.	3,89	155	268	$448 \begin{smallmatrix} -0,110 \\ -0,378 \end{smallmatrix}$
3	5	ув.	0,73	30	30	$5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,030 \end{smallmatrix}$
4	32	ум.	1,56	62	62	$32 \pm 0,031$
5	31	ум.	—	150	150	$31 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,150 \end{smallmatrix}$
6	180	ум.	2,52	100	100	$180 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,100 \end{smallmatrix}$
7	80	ум.	1,86	74	74	$80 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,074 \end{smallmatrix}$
8	55	ум.	1,86	74	74	$55 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,074 \end{smallmatrix}$
9	31	ум.	—	150	150	$31 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,150 \end{smallmatrix}$
10	48	ум.	1,56	62	62	$48 \pm 0,031$
Σ			14,71	887	1000	

Сделаем проверку.

$TA_2 = E_s A_2 - E_i A_2 = 268$ мкм,
следовательно, расчет выполнен правильно.

4.2. Решение теоретико-вероятностным методом

Теоретико-вероятностный метод расчета размерных цепей применяется обычно при серийном и массовом производстве деталей. Допуски составляющих звеньев при вероятностном методе по сравнению с методом полной взаимозаменяемости получаются значительно большими при незначительной вероятности несоблюдения предельных значений замыкающего звена, что снижает стоимость изготовления деталей.

При вероятностном методе используются данные о законах распределения элементов цепи и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев в одной сборке. Наиболее часто применяются в технических приложениях следующие теоретические законы распределения размеров: закон Гаусса (нормальный), закон равной вероятности (равномерный), закон равнобедренного треугольника (Симпсона). Графическое представление и параметры указанных законов приведены в табл. А.3 прил. А.

Решение задачи теоретико-вероятностным методом (способом назначения допусков одного качества) состоит из следующих этапов.

1. Использовать выполненную в предыдущей задаче схему размерной цепи.

2. Использовать принятые $A_{j_{ув}}$ и $A_{j_{ум}}$.
3. Определить среднее количество единиц допуска при способе одной степени точности допусков составляющих звеньев по формуле

$$k_{cp} = \sqrt{\frac{\frac{TA_0^2}{t^2} - \sum_{j=1}^q TA_j^2 \lambda_j^2}{\sum_{j=1}^{m-q-1} i_j^2 \lambda_j^2}}, \quad (4.1)$$

где t – коэффициент принятого процента риска замыкающего звена; λ_j – коэффициент относительного рассеяния j -го звена, являющийся относительным средним квадратичным отклонением, определяемый выражением

$$\lambda_j = \frac{2\sigma_j}{TA_j},$$

где σ_j – среднеквадратичное отклонение размера j -го звена, TA_j – значение допуска j -го звена.

На практике часто принимают, что рассеивание размеров замыкающего звена подчиняется нормальному закону распределения, при котором 99,73% размеров этого звена заключено в пределах поля допуска TA_0 . Таким образом, процент риска составляет при этом 0,27 и соответственно $t = 3$. Значение коэффициента t от процента риска P показано в табл. А.4 прил. А.

Коэффициент относительного рассеяния λ зависит от условий и масштаба производства, технологического процесса изготовления составляющих звеньев. Его значения определяют следующим образом:

- для закона нормального распределения $\lambda = \frac{1}{3} \approx 0,33$;
- для закона равной вероятности $\lambda = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,58$;
- для закона треугольника (Симпсона) $\lambda = \frac{1}{\sqrt{6}} \approx 0,41$.

Остальные значения параметров формулы (4.1) приведены в предыдущей задаче.

Примечание: для упрощения в курсовой работе принято, что α_0 и α_j (коэффициенты относительной асимметрии замыкающего звена и j -го составляющего звена ($j = \overline{1, m-1}$)) в расчетах не учитываются.

4. Выбор среднего качества точности составляющих звеньев цепи и

их допусков и предельных отклонений (за исключением компенсирующего звена) произвести согласно решениям предыдущей задачи.

При этом сумма квадратов допусков составляющих размеров должна удовлетворять условию:

$$TA_0 = t \left(\sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} TA_j^2 \lambda_j^2} \right). \quad (4.2)$$

Если это условие не соблюдается, то производим корректировку отклонений одного из размеров A_k , принятого за компенсирующий. Координата середины интервала (поля) допуска компенсирующего звена $E_c A_k$ определяется из выражения (3.7), в которое она входит в одну из сумм в правой части. Предельные отклонения компенсирующего звена:

$$E_s A_k = E_c A_k + \frac{TA_k}{2}, \quad E_i A_k = E_c A_k - \frac{TA_k}{2}.$$

5. Проверку правильности решения задачи определить по формуле (4.2).

Пример. Для примера используем приведенную предыдущей задаче схему размерной цепи (рис. 4.1) с такими же номинальным размером и отклонениями замыкающего звена.

Решение:

Процент риска выхода размеров замыкающего звена за предельные примем $P = 0,1$ (коэффициент t , принимаемый по данным табл. А.4 прил. А, равен 3,29). Примем, что рассеяние размеров звеньев 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 близко к нормальному закону, звеньев 1 и 3 – к закону равной вероятности, звена 10 – к закону равнобедренного треугольника. Как и в предыдущей задаче, решение записывается в таблицу (табл. 2).

Среднее количество единиц допуска определяем по формуле (4.1):

$$k_{cp} = \sqrt{\frac{1000^2 / 3,29^2 - 2 \cdot 150^2 \cdot 0,11}{2 \cdot 0,53 \cdot 0,34 + 15,13 \cdot 0,11 + 2,43 \cdot 0,11 + 6,35 \cdot 0,11 + 2 \cdot 3,46 \cdot 0,11 + 2,43 \cdot 0,17}} = 145,62 \text{ ед. допуска.}$$

Значение k_{cp} соответствует точности обработки между 11 и 12 качествами (табл. А.2 прил. А). Для назначения допусков составляющих звеньев примем точность, соответствующую 11 качеству (100 ед. допуска).

Проверяя формулу (4.2), получаем

$$1000 \neq 720,$$

следовательно, допуск на какое-то звено необходимо увеличить.

Таблица 2 – Решение проектировочной задачи теоретико-вероятностным методом

№	A_j	тип	λ_j	λ_j^2	i_j , мкм	i_j^2 , мкм ²	TA_j , мкм	TA_j^2 , мкм ²	TA_{jnp} , мкм	$E_s A_j, E_i A_j$
1	5	ув.	0,58	0,34	0,73	0,53	75	5625	75	$5_{-0,075}^0$
2	448	ув.	0,33	0,11	3,89	15,13	400	160000	754	$448_{-0,767}^{-0,013}$
3	5	ув.	0,58	0,34	0,73	0,53	75	5625	75	$5_{-0,075}^0$
4	32	ум.	0,33	0,11	1,56	2,43	160	25600	160	$32 \pm 0,08$
5	31	ум.	0,33	0,11	—	—	150	22500	150	$31_{-0,150}^0$
6	180	ум.	0,33	0,11	2,52	6,35	250	62500	250	$180_{-0,250}^0$
7	80	ум.	0,33	0,11	1,86	3,46	190	36100	190	$80_{-0,190}^0$
8	55	ум.	0,33	0,11	1,86	3,46	190	36100	190	$55_{-0,190}^0$
9	31	ум.	0,33	0,11	—	—	150	22500	150	$31_{-0,150}^0$
10	48	ум.	0,41	0,17	1,56	2,43	160	25600	160	$48 \pm 0,08$

Выберем в качестве компенсирующего звено A_2 . Рассчитаем его допуск, преобразовав формулу (4.2):

$$TA_2 = \frac{\sqrt{\left(\frac{TA_0}{t}\right)^2 - \sum_{j \neq 2} TA_j^2 \lambda_j^2}}{\lambda_2} = \frac{\sqrt{\left(\frac{1000}{3,29}\right)^2 - 30445,03}}{0,33} = 754 \text{ мкм.}$$

Назначим отклонения всех составляющих звеньев (кроме компенсирующего) так же, как и в предыдущей задаче. Для определения предельных отклонений размера A_2 вычислим координату середины интервала его допуска из уравнения (3.7):

$$E_c A_0 = \sum_{j=1}^n E_c A_{jув} - \sum_{n+1}^{n+p} E_c A_{jум}.$$

Принимая во внимание, что, исходя из условий задачи, $E_c A_0 = 0$, получим

$$E_c A_2 = 0 - 2 \cdot \frac{(-75)}{2} + \left(0 + 2 \cdot \frac{-150}{2} + \frac{-250}{2} + 2 \cdot \frac{-190}{2} + 0 \right) = -390 \text{ мкм.}$$

Согласно формулам, приведенным в п.4, получим

$$E_s A_2 = -390 + \frac{754}{2} = -13 \text{ мкм};$$

$$E_i A_2 = -390 - \frac{754}{2} = -767 \text{ мкм}.$$

4.3. Решение методом регулирования

Под *методом регулирования* понимают расчет размерных цепей, при котором требуемая точность исходного (замыкающего) звена достигается изменением (регулировкой) одного из звеньев, которое называется компенсационным. Роль компенсатора обычно выполняют специальные звенья конструкторского плана в виде прокладок, упоров, клиньев, регулировочных винтов и т.д. При этом остальные звенья размерной цепи обрабатываются со сравнительно большими допусками.

Расчет размерной цепи методом регулирования состоит из следующих этапов.

1. Определение номинальной величины компенсатора по формуле

$$A_0 = \sum_{j=1}^n A_{j_{y\phi}} - \sum_{j=n+1}^{n+p} A_{j_{ym}} \pm K. \quad (4.3)$$

Значение компенсатора K взять со знаком «плюс», если он является увеличивающим размером, и со знаком «минус» – в противоположном случае.

2. Определение предельных отклонений компенсатора E_i и E_s .

Если компенсатор является увеличивающим размером, то его предельные отклонения определяются по формулам

$$E_s A_0 = \sum_{j=1}^n E_s A_{j_{y\phi}} - \sum_{j=n+1}^{n+p} E_i A_{j_{ym}} + E_i(K); \quad (4.4)$$

$$E_i A_0 = \sum_{j=1}^n E_i A_{j_{y\phi}} - \sum_{j=n+1}^{n+p} E_s A_{j_{ym}} + E_s(K). \quad (4.5)$$

Если компенсатор является уменьшающим размером, то его предельные отклонения определяются по формулам

$$E_s A_0 = \sum_{j=1}^n E_s A_{j_{y\phi}} - E_s(K) - \sum_{j=n+1}^{n+p} E_i A_{j_{ym}}; \quad (4.6)$$

$$E_i A_0 = \sum_{j=1}^n E_i A_{j_{y\phi}} - E_i(K) - \sum_{j=n+1}^{n+p} E_s A_{j_{ym}}. \quad (4.7)$$

3. Определение возможного наибольшего расчетного отклонения, входящего за пределы интервала (поля) допуска исходного звена, подлежащего компенсации V_K :

$$V_K \geq \sum_{j=1}^{m-2} TA_j - TA_0, \quad (4.8)$$

4. Определение толщины постоянной прокладки $s_{\text{пост}}$, считая, что набор состоит из одной постоянной и нескольких сменных прокладок, количество n которых зависит от действительных размеров деталей собираемого экземпляра изделия. Определение $s_{\text{пост}}$ производится округлением в меньшую сторону величины $K^{\min}$.

5. Определение числа сменных прокладок по формуле

$$n = (V_K / TA_0) + 1,$$

округляя его до ближайшего целого.

6. Определение толщины сменной прокладки s

$$s = V_K / n.$$

Толщина каждой сменной прокладки должна быть меньше допуска исходного размера, т.е. $s < TA_0$. В противном случае после установки прокладки может быть получен исходный размер, превышающий наибольшее допускаемое значение.

7. Проверка расчета компенсатора по неравенству:

$$s_{\text{пост}} + n \cdot s < K^{\max}.$$

Пример. Пример расчета цепи методом регулирования приведем для схемы и исходных данных, рассматриваемых в предыдущих задачах.

Решение:

Наиболее часто применяемым видом компенсаторов служит набор прокладок, т.е. жесткий неподвижный компенсатор со ступенчатым регулированием размера. В качестве компенсатора здесь выберем правую прокладку – звено A_3 . В данной цепи K – увеличивающее звено.

Номинальную величину K определим по формуле (4.3)

$$1 = (448 + 5) - (32 + 31 + 180 + 80 + 55 + 31 + 48) + K.$$

Отсюда

$$K = 457 + 1 - 453 = 5 \text{ мм.}$$

Предположим, что детали, входящие в данный редуктор, имеют допуски на размеры 11-го квалитета. Определив величины допусков по

ГОСТ 25346 – 2013, назначим предельные отклонения составляющих звеньев как в предыдущих задачах. Данные для расчета удобнее расположить в виде таблицы (табл. 3).

Таблица 3 – Расчет размерной цепи методом регулирования

№	A_j	тип	TA_j , мкм	$E_s A_j, E_i A_j$
1	5	ув.	75	$5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,075 \end{smallmatrix}$
2	448	ув.	400	$448 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$
3	5	ув., K	рассчитываются	
4	32	ум.	160	$32 \pm 0,08$
5	31	ум.	150	$31 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,150 \end{smallmatrix}$
6	180	ум.	250	$180 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,250 \end{smallmatrix}$
7	80	ум.	190	$80 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,190 \end{smallmatrix}$
8	55	ум.	190	$55 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,190 \end{smallmatrix}$
9	31	ум.	150	$31 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,150 \end{smallmatrix}$
10	48	ум.	160	$48 \pm 0,08$
Σ			1725	

Подсчитаем величины, необходимые для расчета:

$$TA_0 = 1000 \text{ мкм}; \sum_{j=1}^{m-2} TA_j = 1725 \text{ мкм}.$$

$$\sum_{j=1}^n E_s A_{j_{ув}} = 0; \sum_{j=1}^n E_i A_{j_{ув}} = -475 \text{ мкм};$$

$$\sum_{j=1}^p E_s A_{j_{ум}} = +160 \text{ мкм}; \sum_{j=1}^p E_i A_{j_{ум}} = -1090 \text{ мкм}.$$

Определяем предельные отклонения $E_i(K)$ и $E_s(K)$ компенсатора. Для случая, когда K – увеличивающее звено, используя формулы (4.4), (4.5), получаем

$$\begin{aligned} +500 &= 0 - (-1090) + E_i K, \text{ откуда } E_i K = -590 \text{ мкм}; \\ -500 &= (-475) - (+160) + E_s K, \text{ откуда } E_s K = +135 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

Проверяем возможное наибольшее расчетное отклонение, выходящее за пределы интервала допуска исходного звена, подлежащее компенсации $V_K = 135 - (-590) = 725$ по формуле (4.8), получаем $725 = 1725 - 1000$. Следовательно, $K^{\max} = 5,135 \text{ мм}$; $K^{\min} = 4,41 \text{ мм}$.

Будем считать, что набор состоит из одной постоянной прокладки с толщиной $s_{\text{пост}}$ (равной с округлением в меньшую сторону величины $K^{\min}$) и нескольких сменных, количество n которых зависит от действительных размеров деталей собираемого экземпляра изделия. Принимаем $s_{\text{пост}} = 4,2$ мм (ряд Ra40 согласно ГОСТ 6636 – 69) за постоянную прокладку. Число сменных прокладок подсчитаем по формуле:

$$n = (V_{\kappa} / TA_0) + 1 = 725/1000 + 1 = 1,725.$$

Округляя n до целого числа, получаем $n = 2$. Подсчитаем толщину сменных прокладок:

$$s = V_{\kappa} / n = 725/2 = 362,5 \text{ мкм.}$$

Толщина s округляется в сторону уменьшения, принимаем $s = 360 \text{ мкм} = 0,36 \text{ мм}$. Проверяем расчет компенсатора по неравенству:

$$s_{\text{пост}} + n \cdot s = 4,2 + 2 \cdot 0,36 = 4,92 < K^{\max}.$$

Величину, равную

$$K^{\max} - (s_{\text{пост}} + n \cdot s) = 5,135 - 4,92 = 0,215 \text{ мм}$$

можно принять в качестве допуска на изготовление набора прокладок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Карпенко В.А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебное пособие /В.А. Карпенко, Н.А. Волошина, С.П. Волков – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 372 с.
2. Допуски и посадки: Справочник в двух частях /В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов и др. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. – Ч.1. – 543 с., Ч.2. – 448 с.
3. Дунаев П.Ф. Расчет допусков размеров. 3-е изд. перераб. и доп. /П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Машиностроение, 2001. – 304с.
4. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения /А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
5. Шамин В.Ю. Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей /В.Ю. Шамин. – 4-е изд., перер. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 530 с.
6. Кравченко Л.С. Размерный анализ при проектировании, изготовлении и сборке. Учебное пособие /Л.С. Кравченко. – Харьков: ХПИ, 2006. – 352 с.
7. Палей М.А. Допуски и посадки: Справочник в двух частях. 8-е изд., переработанное и дополненное /М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч.1. – 576 с., Ч.2. – 608 с.
8. Марков Н.Н., Осипов В.В., Шабалина М.Б. Нормирование точности в машиностроении; Учеб. для машиностроит. спец. вузов /Под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академик», 2001. – 335 с.: ил.
9. ГОСТ 520 – 2011. Подшипники качения. Общие технические условия. Введ. 01.07.2012. – М: Стандартиформ, 2012. – 66 с.
10. ГОСТ 25346 – 2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. Введ. 01.07.2015. – М: Стандартиформ, 2014. – 38 с.
11. ГОСТ 6636 – 69. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные линейные размеры. Введ. 01.01.70. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 8с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Таблица А.1 – Значения допусков для размеров до 500 мм (ГОСТ 25346 – 2013)

Интервал размеров, мм	Единица допуска, i, мкм	Квалитет																			
		Допуск IT, мкм												Допуск IT, мм							
		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
До 3	0,55	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,00	1,40
Св. 3 до 6	0,73	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,20	1,80
« 6 « 10	0,90	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,50	2,20
« 10 « 18	1,08	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,80	2,70
« 18 « 30	1,31	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,10	3,30
« 30 « 50	1,56	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,50	3,90
« 50 « 80	1,86	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,00	4,60
« 80 « 120	2,17	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,50	5,40
« 120 « 180	2,52	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	6,30
« 180 « 250	2,89	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,60	7,20
« 250 « 315	3,22	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,30	2,10	3,20	5,20	8,10
« 315 « 400	3,54	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,40	2,30	3,60	5,70	8,90
« 400 « 500	3,89	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,50	4,00	6,30	9,70

Таблица А.2 – Число единиц допуска k

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

Таблица А.3 – Законы распределения

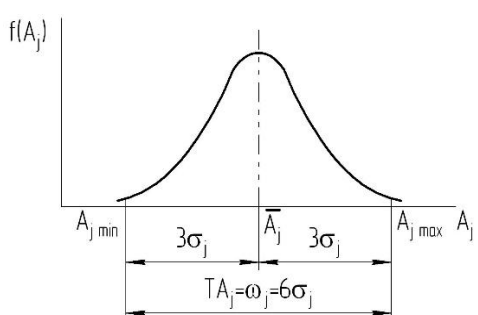
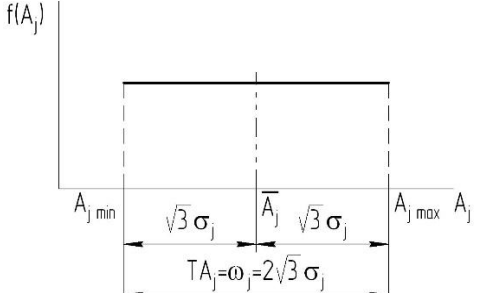
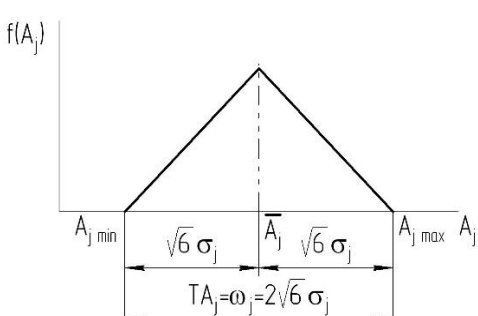
Тип распределения	Графическое представление	Плотность распределения, параметры
Нормальное		$f(A_j) = \frac{1}{\sigma_j \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(A_j - \bar{A}_j)^2}{2\sigma_j^2}},$ $\bar{A}_j - \text{математическое ожидание,}$ $\sigma_j - \text{среднеквадратическое отклонение, } \sigma_j = \frac{TA_j}{6},$ $\omega_j = \pm 3\sigma_j - \text{поле рассеяния.}$
Равномерное		$f(A_j) = \begin{cases} \frac{1}{\omega_j}, & A_j \in [A_{j\min}, A_{j\max}]; \\ 0, & A_j \notin [A_{j\min}, A_{j\max}]. \end{cases}$ $\sigma_j = \frac{TA_j}{2\sqrt{3}}.$
Симпсона		$f(A_j) = \begin{cases} \frac{2}{\omega_j} \left(1 - \frac{ A_{j\max} + A_{j\min} - 2A_j }{\omega_j} \right), & A_j \in [-A_{j\min}, A_{j\max}]; \\ 0, & A_j \notin [-A_{j\min}, A_{j\max}]. \end{cases}$ $\sigma_j = \frac{TA_j}{2\sqrt{6}}.$

Таблица А.4 – Значение коэффициента t при нормальном распределении размеров замыкающего звена для различных процентов риска P

$P, \%$	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5	10	32
t	3,89	3,48	3,29	3	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1