

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ



ПОБЕДИТЕЛЬ КОНКУРСА ИННОВАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВУЗОВ

А.В.Кудрявцев, Л.Г.Муханин, Ю.В.Федоров

«Основы взаимозаменяемости»

Часть 3

Расчёт размерных цепей



Санкт-Петербург
2010

Кудрявцев А.В., Муханин Л.Г., Федоров Ю.В. Методическое пособие к выполнению практических работ по дисциплине «Основы взаимозаменяемости» для студентов по направлениям 200100 «Приборостроение», 220401 «Мехатроника» Часть 3 – Расчёт размерных цепей. – СПб: СПб ГУИТМО, 2010. 29 с.

Методическое пособие содержит указания к практическим занятиям по дисциплине «Основы взаимозаменяемости» предназначено для студентов направлений 200100 «Приборостроение», 220401 «Мехатроника». Настоящее пособие направлено на выполнение комплексных работ по теме «Расчёт размерных цепей»; содержат справочный материал по основам выполнения рабочих чертежей деталей.

Ключевые слова: взаимозаменяемость, допуски и посадки, посадки с зазором, посадки переходные, посадки с натягом, нормальные линейные размеры, номинальные размеры.

Рекомендовано к печати ученым советом факультета ТМиТ протокол №12. от 09.11 2010 года.



СПбГУ ИТМО стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007-2008 годы и успешно реализовал инновационную образовательную программу «Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий», что позволило выйти на качественно новый уровень подготовки выпускников и удовлетворять возрастающий спрос на специалистов в информационной, оптической и других высокотехнологичных отраслях науки. Реализация этой программы создала основу формирования программы дальнейшего развития вуза до 2015 года, включая внедрение современной модели образования.

©Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2010

© А.В. Кудрявцев,
Л.Г. Муханин,
Ю.В. Федоров
2010

Содержание	Стр.
1. Общие положения	4
Цели и задачи практических работ	4
Требования к уровню подготовки студентов	4
Требования к учебно-методическому обеспечению	4
2. Лабораторный практикум	4
Общие положения. Порядок работы	5
Отчет по работе	6
Контрольные вопросы	6
3. Теоретические положения	7
Размерные цепи и методы их расчета	7
Термины, определения и обозначения	7
Виды размерных цепей	8
Последовательность расчета сборочной размерной цепи	10
Метод полной взаимозаменяемости (расчет «на максимум-минимум»)	15
Метод неполной взаимозаменяемости (теоретико-вероятностный метод)	17
Метод пригонки	20
Метод регулирования с применением сменных компенсаторов	22
Метод селективной сборки	22
4. Информационное обеспечение	23
Принятые сокращения	25
Литература	26

1. Общие положения

Цели и задачи практических работ

В результате выполнения работ студент будет

знать:

- принципы построения плоских размерных цепей;
- методику расчета размерных цепей и обоснование выбора уровня точности изготовления;
- основы выполнения рабочих чертежей деталей

уметь:

- применять основные методы расчета точности на примере сборочных единиц размерами до 500 мм;
- выполнять графические изображения деталей с указанием их размеров, допусков и посадок и других технических требований;
- использовать кодификаторы, рубрикаторы, указатели и др. информационные источники, используемые в поисковых системах стандартизации.

Требования к уровню подготовки студентов

Для успешного выполнения практических работ студентам необходимо

знать:

- основы построения и расчета размерных цепей;
- положения общей технологии в области приборостроения;
- основные производственные и технологические факторы, оказывающие влияние на качество изделий и т. д.

Требования к учебно-методическому обеспечению

В период подготовки и выполнения практических занятий студенту необходимо иметь:

- соответствующий курс лекций по дисциплине «Основы взаимозаменяемости»;
- настоящие методические указания;
- копии стандартов, содержащие основные термины, определения и другие данные по выбору и обоснованию предельных размеров, предельных отклонений, допусков и посадок гладких соединений.

2. Лабораторный практикум

Тема: Расчет плоских размерных цепей

Цель работы: изучение методики определения зазоров, натягов и допусков, обеспечивающих работоспособность узлов и отдельных соединений.

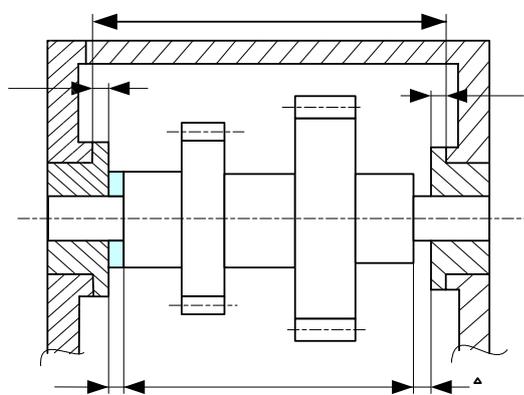
Общие положения:

Порядок работы:

1. Ознакомиться с содержанием настоящих методических указаний, содержанием стандартов.

2. По данным вариантов работ: компоновка узла, номинальные размеры (рис. 1, данные таблицы 1), произвести конструкторскую доработку узла (рис. 2) по заданию преподавателя; выявить увеличивающие и уменьшающие звенья; составить схему и выполнить расчет размерной цепи полученного сборочного узла методами полной взаимозаменяемости и (или) вероятностным.

3. Исходя из заданных условий работы механизма, выбрать посадки для сопряжений, входящих в размерную цепь.



Номинальные размеры элементов исходной компоновки, входящих в размерную цепь.

Таблица 1

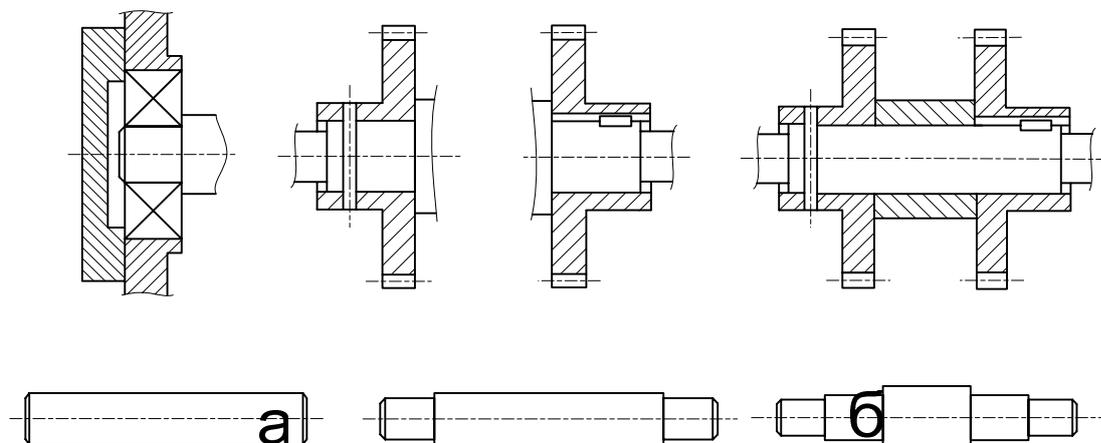
Номинальные размеры, мм	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_1	138	136	134	151	152	149	147	143	128	119
A_2	2	4	4	3	3	2	3	2	3	2
A_3	5	5	6	4.5	5	4	5	A_3	4	4
A_4	151	151	151	164	166	160	161	156	140	130
A_5	5	5	6	4.5	5	4	5	5	4	4
A_{Δ}	$1.0^{+0.2}$									
$P, \%$	0.27									

На рис. 2 изображены фрагменты конструкции:

- а) с использованием подшипника качения;
- б) со штифтовым креплением зубчатого колеса на валу;
- в) со шпоночным креплением зубчатого колеса;

г) с применением промежуточного (незакрепленного на валу) кольца между зубчатыми колесами;

д, е, ж) с использованием валов различной степени сложности.



Отчет по работе

Отчет по работе должен содержать:

1. Наименование темы и цель работы.
 2. Графическое изображение сборочной единицы.
 3. Схему размерной цепи.
 4. Данные варианта выполнения работы.
 5. Расчет размерной цепи методом «на максимум-минимум».
 6. Расчет размерной цепи вероятностным методом.
 7. Таблицу результатов расчета, выполненную согласно примеру, приведенному в теоретической части пособия, таблицы 3 (максимум-минимум) и (или) 5 (вероятностный метод).
- Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое размерная цепь? Назовите виды размерных цепей.
2. Как можно классифицировать цепи по их назначению?
3. Какие звенья цепи называются составляющими, увеличивающими, уменьшающими?
4. Что такое замыкающее звено?
5. Какими методами решаются задачи размерного анализа?
6. Какова последовательность решения размерной цепи методом максимума-минимума?
7. С какой целью решается размерная цепь теоретико-вероятностным методом?
8. В чем суть методов пригонки, регулировки и селективной сборки?

Рис. 2. Фрагменты конструкции узла

е

3. Теоретические положения

Размерные цепи и методы их расчета

Взаимосвязь размеров деталей сборочной единицы определяет необходимую для нормальной работы изделия правильность положения одних деталей, их поверхностей или осей, относительно других деталей изделия, а взаимосвязь размеров отдельной детали определяет технологичность её изготовления.

Термины, определения и обозначения

Размерной цепью называется совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении задачи обеспечения необходимого допуска размера замыкающего звена и образующих замкнутый контур. Различают конструкторские, технологические и измерительные размерные цепи, которые используются для обеспечения требуемой точности деталей и узлов соответственно при конструировании, изготовлении и измерении изделий.

Размерная цепь, размеры которой определяют взаимное положение поверхностей или осей одной детали, называется *подетальной*. Если же размеры, входящие в цепь определяют взаимное положение нескольких деталей узла или механизма, то такая размерная цепь называется сборочной или узловой. Простейшей элементарной *сборочной* размерной цепью является *посадка*.

Размеры, образующие размерную цепь называются *звеньями* размерной цепи. Причем величина конструктивного зазора или натяга, несовпадение осей или поверхностей в сборочной размерной цепи рассматривается как отдельное самостоятельное звено, хотя номинальный размер этого звена часто равен нулю.

Замыкающим называется звено, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения.

Составляющим называется звено размерной цепи, функционально связанное с замыкающим звеном.

Все составляющие звенья подразделяются на увеличивающие и уменьшающие. *Увеличивающим* называется звено, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается. *Уменьшающим* называется звено, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается.

Компенсирующим или *увязочным* называется составляющее звено размерной цепи, изменением значения которого достигается требуемая точность замыкающего звена.

Увязочное звено предназначено для согласования отклонений замыкающего и составляющих звеньев размерной цепи. В результате расчёта отклонения увязочного звена, как правило, получаются нестандартными, поэтому в качестве увязочного рекомендуется выбирать одно из легкодоступных звеньев простой геометрической формы.

Изменение размеров составляющих звеньев по-разному влияет на размер замыкающего звена.

Передаточным отношением ξ называется коэффициент, характеризующий степень влияния отклонения составляющего звена на

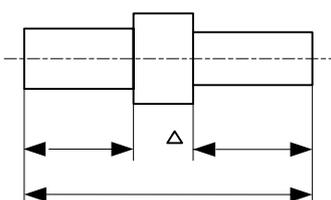
отклонение замыкающего. Определяется ξ как отношение отклонения замыкающего звена, вызванного отклонением составляющего, к величине отклонения этого составляющего звена.

Для размерных цепей с параллельными звеньями передаточные отношения $\xi = +1$ для увеличивающих и $\xi = -1$ для уменьшающих звеньев.

Виды размерных цепей

В приборостроении наиболее применяемыми являются две группы размерных цепей, различающиеся по месту в агрегате – подетальные и сборочные и различающиеся по расположению звеньев в цепи – линейные, угловые, плоские и пространственные.

Подетальная размерная цепь (рис. 3) – это цепь, звеньями которой являются размеры одной детали.



Сборочная размерная цепь (рис. 4) – это цепь, звеньями которой являются размеры отдельных деталей. Такая цепь определяет точность расположения заданных поверхностей данной сборочной единицы или всего агрегата.

Линейная размерная цепь – это цепь, звеньями которой являются линейные размеры, расположенные на параллельных прямых линиях (рис. 3,4).

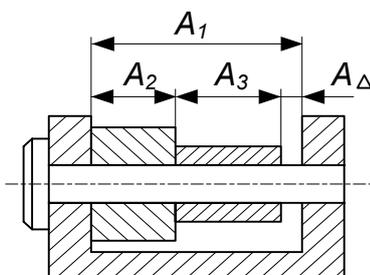


Рис.4. Сборочная размерная цепь

Составляющие звенья линейной размерной цепи обозначаются прописными буквами русского алфавита (кроме К, М, О, Р, Т).

Угловая размерная цепь – это цепь, звеньями которой являются угловые размеры (рис. 5), расположенные в одной плоскости и имеющие общую вершину. Составляющие звенья линейной размерной цепи обозначаются строчными буквами греческого алфавита (кроме α , β , ξ , λ , ω).

Рис.3. Подетальная

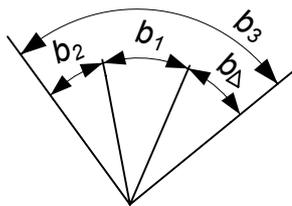
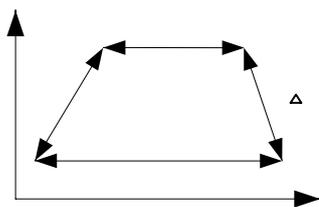


Рис.5. Угловая размерная цепь

Плоская размерная цепь – это цепь, звеньями которой являются линейные и угловые размеры, расположенные в одной или нескольких параллельных плоскостях (рис. 6).



Пространственная размерная цепь (рис. 7) – это цепь, звеньями которой являются линейные и угловые размеры, расположенные в пространстве произвольно.

Для удобства рассмотрения схем размерных цепей над буквами A , обозначающими звенья цепи, ставят стрелки разного направления: над увеличивающими замыкающее звено размерами, стрелка направлена направо, а над уменьшающими – влево.

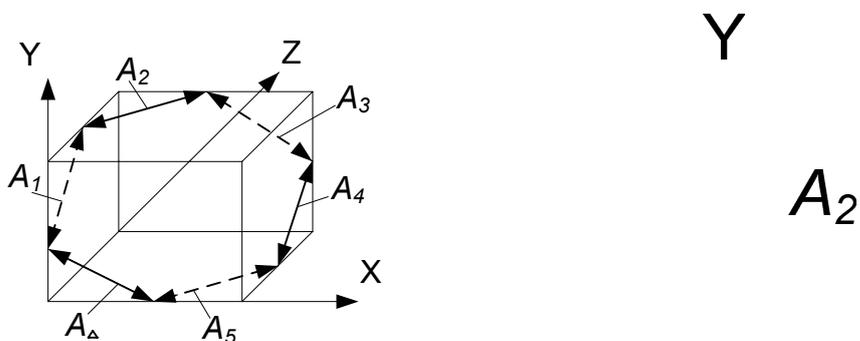


Рис.7. Пространственная размерная цепь

Расчет размерных цепей заключается в установлении связей между размерами, их допусками и отклонениями всех звеньев. При этом решается либо прямая, либо обратная задача.

При решении *прямой задачи* по установленным предельным размерам или номинальному размеру с предельными отклонениями замыкающего звена определяют наиболее рациональные значения номинальных размеров, допусков и предельных отклонений всех составляющих звеньев размерной цепи.

При решении *обратной задачи* по известным значениям номинальных размеров с предельными отклонениями всех составляющих звеньев

Рис.6. Плоская

рассчитывают номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена.

Решение прямой задачи применяется при проектировании изделий или технологических процессов; решая обратную задачу, проверяют правильность решения прямой задачи.

Требуемая точность замыкающего звена может быть достигнута способами полной, неполной, групповой взаимозаменяемости, а также методами пригонки или регулирования.

При способе полной взаимозаменяемости детали соединяются при сборке без подбора, пригонки или регулирования. При этом значения замыкающего звена не выходят за установленные пределы у всех объектов (обеспечивается 100%-я сборка при любом самом неблагоприятном сочетании размеров годных деталей). Расчет носит название «расчет на *максимум-минимум*».

При методе неполной взаимозаменяемости детали также соединяются при сборке без подбора, пригонки или регулирования, но при этом у небольшой заранее обусловленной части объектов значения замыкающего звена могут выйти за установленные пределы. Расчет ведётся с применением положений теории вероятностей и носит название «*вероятностный метод*».

При *групповой взаимозаменяемости* соединение деталей производится по соответствующим группам, на которые они были предварительно рассортированы по своим размерам. Метод групповой взаимозаменяемости состоит в обработке сопрягаемых деталей с увеличенными, экономически приемлемыми для данного производства допусками, сортировке этих деталей на равное число групп и сборке их в изделия в соответствии с выбранными группами. В результате такой групповой сборки получают изделия с меньшими колебаниями размера замыкающего звена.

При методе *пригонки* или *регулирования* точность замыкающего звена достигается изменением размера компенсирующей детали путем удаления определенного слоя металла (пригонки) или подбором сменных прокладок требуемой толщины (регулирование).

Основные способы расчета размерных цепей: *расчет на максимум-минимум*, учитывающий самые неблагоприятные сочетания предельных отклонений звеньев и *вероятностный*, учитывающий возможные вероятности рассеяния размеров и различных сочетаний отклонений составляющих звеньев.

Последовательность расчета сборочной размерной цепи

1. Формулируется задача и устанавливается замыкающее звено.

Ставится задача обеспечения работоспособности изделия, устанавливается замыкающее звено, влияющее на эксплуатационные показатели и собираемость изделия.

2. Устанавливаются предельные значения размеров замыкающего звена.

Предельные значения $A_{\Delta MAX}$ – наибольшее и $A_{\Delta min}$ – наименьшее устанавливаются исходя из теоретических исследований или на основе опыта эксплуатации аналогичных изделий.

3. Составляется размерная цепь (рис. 8).

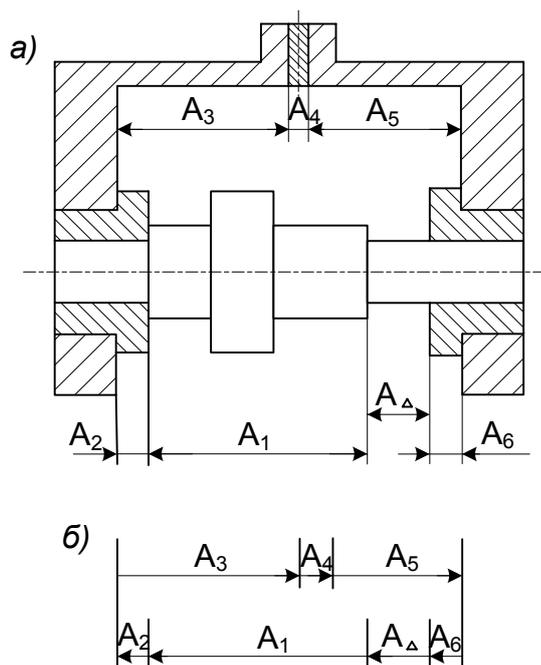


Рис. 8. Узел в сборе (а) и схема размерной цепи (б)

Последовательно, начиная от поверхности (или оси) детали, ограничивающей замыкающее звено, проставляют размеры деталей до их основных баз (поверхности, соприкасающейся с другой деталью). Последним звеном, образующим замкнутый контур размерной цепи, будет размер детали от ее основной базы (сопрягаемой поверхности, с которой сопрягается предыдущая деталь) до поверхности (или оси) этой детали, ограничивающей замыкающее звено с другой стороны.

4. Выявляются увеличивающие и уменьшающие звенья.

В сложных размерных цепях эти звенья легко определить, применяя правило обхода по контуру, Замыкающему звену присваивается определенное направление (стрелка направлена влево). Над остальными составляющими звеньями также проставляются стрелки так, чтобы получился замкнутый контур направления. Все составляющие звенья, имеющие то же направление стрелок, что и у замыкающего звена, будут уменьшающими, остальные – увеличивающими.

5. Определяются передаточные отношения составляющих звеньев (в размерных цепях с параллельными звеньями передаточное отношение $\xi = 1$).

6. Строится схема (графическое изображение) размерной цепи. Вместо стрелок над буквенными обозначениями звеньев (например, \vec{A}_1 , \vec{A}_2 и т.д.) составляющие звенья можно изображать размерными линиями со стрелками, направленными у увеличивающих звеньев вправо, а у уменьшающих – влево.

7. Рассчитываются номинальные размеры A_j составляющих и замыкающих звеньев.

Номинальные размеры определяют по чертежу с учетом масштаба и округляют в соответствии с действующими стандартами.

Исходя из условия замкнутости контура размерной цепи сумма размеров увеличивающих звеньев равна сумме размеров уменьшающих и замыкающего звеньев. Для узла, изображенного на рис. 4.1, имеем:

$$\dot{A}_3 + \dot{A}_4 + \dot{A}_5 = \dot{A}_6 + \dot{A}_1 + \dot{A}_2 + \dot{A}_\Delta.$$

Решая это уравнение относительно замыкающего звена, получают основное уравнение размерной цепи с параллельными звеньями:

$$\dot{A}_\Delta = \sum_{j=1}^k \vec{A}_j - \sum_{k+1}^{m-1} \overset{\leftarrow}{A}_j, \quad (1)$$

где k – число увеличивающих составляющих звеньев,

$(m-1)$ – число составляющих звеньев размерной цепи.

8. Выявляются звенья с известными предельными отклонениями. Такими звеньями являются размеры стандартных, покупных и заимствованных изделий (например, шарикоподшипников).

9. Определяются предельные отклонения (верхнее $E_s A_\Delta$ и нижнее $E_i A_\Delta$) замыкающего звена:

$$E_s A_\Delta = A_{\Delta \max} - A_\Delta; \quad E_i A_\Delta = A_{\Delta \min} - A_\Delta.$$

10. Определяется координата середины поля допуска (среднее отклонение) замыкающего звена:

$$E_m A_\Delta = (E_s A_\Delta + E_i A_\Delta) / 2.$$

11. Определяется допуск замыкающего звена:

$$T_\Delta = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min}, \text{ или } T_\Delta = E_s A_\Delta - E_i A_\Delta.$$

12. Выбирается метод достижения требуемой точности замыкающего звена, экономически приемлемый для данного производства.

Исходя из формулы (1), предельные размеры замыкающего звена:

$$A_{\Delta \max} = \sum_{j=1}^k \vec{A}_{j \max} - \sum_{k+1}^{m-1} \overset{\leftarrow}{A}_{j \min}; \quad (2)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{j=1}^k \vec{A}_{j \min} - \sum_{k+1}^{m-1} \overset{\leftarrow}{A}_{j \max}. \quad (3)$$

Вычитая почленно из уравнения (2) уравнение (3) и учитывая, что разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами есть допуск, получим зависимость между допусками замыкающего T_Δ и составляющих T_j звеньев.

Для размерной цепи с параллельными звеньями:

$$T_\Delta = \sum_{j=1}^{m-1} T_j. \quad (4)$$

Вычитая почленно из уравнения (2) или (3) уравнение (1) и учитывая, что разность между наибольшим (или наименьшим) предельным и номинальным размерами есть верхнее (или нижнее), отклонение, получим следующие уравнения для размерной цепи с параллельными звеньями:

$$E_s A_\Delta = \sum_{j=1}^k E_s \vec{A}_j - \sum_{k+1}^{m-1} E_i \overset{\leftarrow}{A}_j; \quad (5)$$

$$E_i A_\Delta = \sum_{j=1}^k E_i \overset{\rightarrow}{A_j} - \sum_{k+1}^{m-1} E_s \overset{\leftarrow}{A_j} . \quad (6)$$

Вместо уравнений (5) и (6) на практике часто пользуются зависимостью между средними отклонениями размеров замыкающего и составляющих звеньев.

Для размерных цепей с параллельными звеньями:

$$E_m A_\Delta = \sum_{j=1}^k E_m \overset{\rightarrow}{A_j} - \sum_{k+1}^{m-1} E_m \overset{\leftarrow}{A_j} .$$

При решении обратной задачи по формулам (1), (4)÷(6) легко определяются номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена. Сложнее решается прямая задача.

При конструировании, возникает необходимость определить параметры составляющих звеньев размерной цепи при известном замыкающем звене. Решением данной задачи может быть большое количество вариантов сочетаний допусков и предельных отклонений составляющих звеньев.

Обычно в прикидочных расчетах пользуются *способом равных допусков*, т.е.:

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{m-1} = \frac{T_\Delta}{m-1} .$$

При большой разнице в номинальных размерах составляющих звеньев такой способ является некорректным, так как к большим звеньям будут предъявляться более жесткие требования по точности. Например, (таблица 2), при одинаковой величине допуска $T_j = 100$ мкм размер $A_1 = 8$ мм соответствует 11-му качеству (уровню) точности, а размер $A = 125$ мм должен выполняться значительно точнее, по 9-му качеству.

Определение требуемой точности выполнения звеньев.

Таблица 2

№	T_j , мкм	A_j , мм	i_j	k_j	качество
1	100	8	0.9	111.1	11
2		125	2.52	39.68	9

Смысл корректного расчета размерной цепи заключается в том, чтобы допуски на составляющие звенья размерной цепи были бы одного или двух ближайших качеств (*способ равных качеств*).

Известно, что допуск T есть произведение единицы допуска i_j на коэффициент k_j . Это справедливо для любого звена размерной цепи:

$$T_j = k_j i_j ,$$

где k_j – число единиц допуска (величина постоянная для данного качества);
 i_j – единица допуска, характеризующая ту часть допуска, которая меняется с изменениями размера.

Итак, чтобы добиться одинаковых требований к точности изготовления составляющих звеньев, необходимо, чтобы коэффициенты k_j были бы одинаковыми у всех звеньев размерной цепи:

$$\sum_{j=1}^{m-1} T_j = k i_1 + k i_2 + \dots + k i_{m-1};$$

$$\sum_{j=1}^{m-1} T_j = k \sum_{j=1}^{m-1} i_j.$$

Так как разброс размеров замыкающего звена должен быть равен сумме разбросов составляющих звеньев:

$$T_{\Delta} = \sum_{j=1}^{m-1} T_j,$$

получаем:

$$T_{\Delta} = k \sum_{j=1}^{m-1} i_j,$$

откуда

$$k = \frac{T_{\Delta}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_j}. \quad (7)$$

Значения k характеризуют точность, с какой следует получать все составляющие звенья размерной цепи. Рассчитанное по формуле (7) значение k в общем случае не будет соответствовать строго определенному качеству, поэтому при назначении допусков на соответствующие звенья выбирают ближайшие качества по таблице 3.

Число единиц допуска k

Таблица 3

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

Значение единицы допуска i для размеров до 500 мм приведено в таблице 4.

Если в результате расчёта цепи получается, что расчётное число единиц допуска $k_{\text{расч}}$ не равно или близко к числу k , соответствующему определённому уровню точности (качеству), целесообразно назначать допуски составляющих элементов по двум соседним качествам, причём для больших по величине размеров – по более грубым качествам, и наоборот.

Значения единицы допуска i

Таблица 4

Интервал размеров, мм	i_j , мкм	Интервал размеров, мм	i_j , мкм	Интервал размеров, мм	i_j , мкм
До 3	0.55	Св. 30 до 50	1.56	Св.250 до 315	3.22
Св. 3 до 6	0.73	Св. 50 до 80	1.86	Св. 315 до 400	3.54
Св.6 до10	0.90	Св.80 до 120	2.17	Св. 400 до 500	3.89
Св. 10 до 18	1.08	Св.120 до 180	2.52		
Св. 18 до 30	1.31	Св.180 до 250	2.89		

Обеспечить заданную точность замыкающего звена можно несколькими методами (ГОСТ 16320-80): расчет на *максимум-минимум*, учитывающий самые неблагоприятные сочетания предельных отклонений звеньев и *вероятностный*,

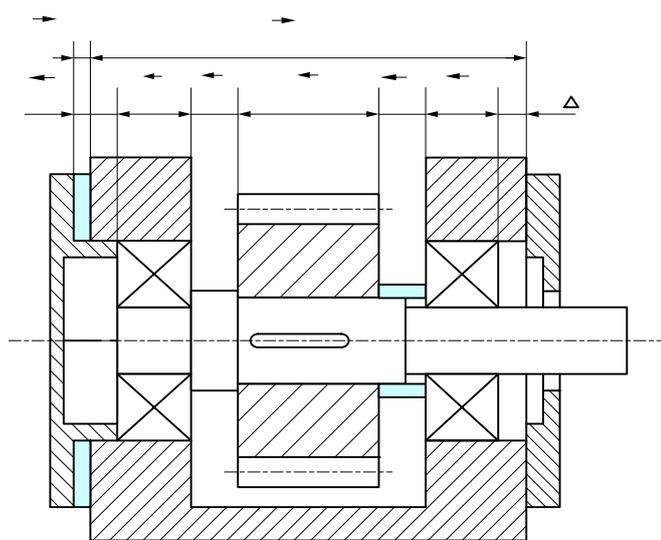
учитывающий возможные вероятности рассеяния размеров и различных сочетаний отклонений составляющих звеньев.

Метод полной взаимозаменяемости (расчет «на максимум-минимум»)

Метод, при котором взаимозаменяемость обеспечивается при любом сочетании действительных размеров годных деталей составляющих звеньев. При этом предполагается, что в размерной цепи одновременно могут оказаться все звенья с предельными значениями, причем в самых неблагоприятных сочетаниях: все увеличивающие звенья с верхними предельными размерами, а уменьшающие с нижними; или наоборот.

Пример

На рис. 9 изображен фрагмент конструкции, у которой для компенсации тепловых деформаций деталей необходимо обеспечить при сборке осевой зазор $A_{\Delta} = 1.0^{+0.2}$ между торцом крышки и наружным кольцом подшипника. Требуется назначить допуски и отклонения на составляющие звенья размерной цепи, при которых обеспечивается собираемость механизма при любом сочетании размеров. Допуски и отклонения на размеры подшипников качения назначать условно, как и на другие детали.



Решение

1. Определение номинальных размеров составляющих звеньев.

Номинальные размеры стандартных деталей находят по соответствующим стандартам. Остальные размеры составляющих звеньев, кроме звена A_7 , выбранного в качестве увязочного, определяют непосредственно по чертежу.

Для нахождения номинального размера A_7 воспользуемся зависимостью

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^k \vec{A}_j - \sum_{k+1}^{m-1} \overset{\leftarrow}{A}_j ;$$

$$A_{\Delta} = \vec{A}_7 + \vec{A}_8 - \overset{\leftarrow}{A}_1 - \overset{\leftarrow}{A}_2 - \overset{\leftarrow}{A}_3 - \overset{\leftarrow}{A}_4 - \overset{\leftarrow}{A}_5 - \overset{\leftarrow}{A}_6 ;$$

$$1 = 65 - 9 - 8 - 28 - 8 - 9 - 4 + A_7$$

A_6

A_5 A_4

A_8

$$A_7=2.0 \text{ мм.}$$

2. Определение средней точности размерной цепи:

$$k = \frac{T_{\Delta}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_j},$$

$$k = \frac{200}{0.9+0.9+1.31+0.9+0.9+0.73+0.55+1.86} = 24.84.$$

Найденное число единиц допуска практически соответствует 8-му качеству точности. Предельные отклонения на составляющие звенья, кроме A_7 , рекомендуется назначать на охватываемые размеры – по h , на охватывающие размеры – по H , на остальные – $\pm \frac{IT}{2}$, т.е. симметричные предельные отклонения.

Результаты поэтапных расчетов сведены в таблицу 5.

Результаты поэтапных расчетов

Таблица 5

Обозначение	Номинальный размер	I, мкм	Обозн. основного отклонения	Квалитет	Допуск T	Верхнее откл-ние B	Нижнее откл-ние H	Середина поля допуска, C
$\overrightarrow{A_{\Delta}}$	1	--	--	--	200	+200	0	+100
$\overleftarrow{A_1}$	9	0.9	h	8	22	0	-22	-11
$\overleftarrow{A_2}$	8	0.9	h	8	22	0	-22	-11
$\overleftarrow{A_3}$	28	$\frac{1.3}{1}$	h	8	33	0	-33	-16.5
$\overleftarrow{A_4}$	8	0.9	h	8	22	0	-22	-11
$\overleftarrow{A_5}$	9	0.9	h	8	22	0	-22	-11
$\overleftarrow{A_6}$	4	$\frac{0.7}{3}$	$\pm \frac{IT}{2}$	8	18	+9	-9	0
$\overrightarrow{A_7}$	2	$\frac{0.5}{5}$	--	≈ 8	15	+70	+55	+62.5
$\overrightarrow{A_8}$	65	$\frac{1.8}{6}$	h	8	46	0	-46	-23

3. Определение допуска звена $\overrightarrow{A_7}$:

$$\overrightarrow{O_{\Delta}} = \sum_1^8 \overrightarrow{O},$$

$$200=22+22+33+22+22+18+T_7+46,$$

$$T_7=15 \text{ мкм.}$$

4. Определение предельных отклонений звена \vec{A}_7 :

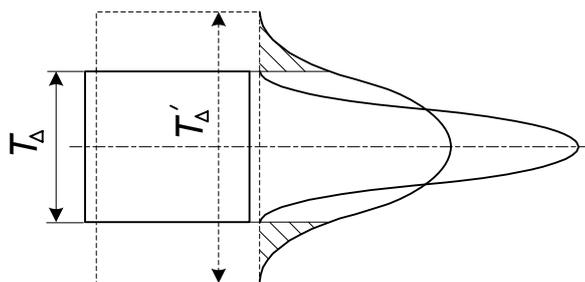
$$\begin{aligned}\hat{A}_\Delta &= \sum \vec{A} - \sum \overleftarrow{I} \quad , \\ +200 &= \vec{A}_7 + (0) - (-22) - (-22) - (-33) - (-22) - (-9), \\ \vec{A}_7 &= 70, \\ \hat{I}_\Delta &= \sum \overleftarrow{I} - \sum \vec{A}, \\ 0 &= \overleftarrow{I}_7 - 46 - 0 - 0 - 0 - 0 - 9, \\ \overleftarrow{I}_7 &= 55.\end{aligned}$$

Метод неполной взаимозаменяемости (теоретико-вероятностный метод)

Метод исходит из предположения, что сочетание действительных размеров составляющих звеньев в изделии носит случайный характер и вероятность самого их неблагоприятного сочетания весьма мала.

Такой метод расчета, который учитывает рассеяние размеров и вероятность их различных сочетаний, называется вероятностным методом расчета. Метод допускает малый процент изделий, у которых замыкающее звено выйдет за рамки поля допусков. При этом расширяются допуски размеров, составляющих цепь, и тем самым снижается себестоимость изготовления изделий.

Допуская некоторый процент брака в партии изделий, производят модификацию (расширение) исходного допуска замыкающего звена размерной цепи (рис. 10), при этом сумма значений допусков звеньев, составляющих цепь равна величине модифицированного допуска замыкающего звена.



Δ,
Δ

Задачей корректного расчета является назначение допусков на составляющие звенья, соответствующих одинаковому уровню точности изготовления (каллитету).

Зависимость допусков замыкающего и составляющих звеньев в размерных цепях с параллельными звеньями имеет следующий вид:

$$T_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \lambda_j^2 T_j^2}, \quad (8)$$

где t_{Δ} – коэффициент риска, характеризующий вероятность выхода отклонений замыкающего звена за пределы допуска;

λ_j – относительное среднее квадратическое отклонение, или коэффициент, характеризующий закон рассеяния размеров.

В зависимости от принятого процента брака $P\%$ значения коэффициента риска t при нормальном законе распределения отклонений и равновероятном их выходе за обе границы поля допуска выбирают из ряда значений, приведенного в таблице 6.

Таблица соответствия коэффициента риска к допустимому % брака

Таблица 6

$P, \%$	32.00	10.00	4.50	1.00	0.27	0.10	0.01
t	1.00	1.65	2.00	2.57	3.00	3.29	3.89

Коэффициент λ_j^2 принимается 1/9 при нормальном законе распределения отклонений (для изделий крупносерийного производства); 1/6 при распределении отклонений по закону треугольника (закону Симпсона); 1/3 при распределении отклонений по закону равной вероятности (для изделий мелкосерийного и индивидуального производства).

Формула (8) устанавливает связь между допуском на замыкающий размер и допусками на составляющие звенья.

Для того чтобы добиться одинаковой точности составляющих звеньев размерной цепи, воспользуемся известной формулой $T_j = k_j i_j$ и подставим ее в выражение (8). Потребуем, чтобы k у всех звеньев были одинаковыми, тогда:

$$T_{\Delta} = tk \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \lambda_j^2 i_j^2}.$$

Окончательно получим:

$$k = \frac{T_{\Delta}}{t \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \lambda_j^2 i_j^2}}.$$

Значение k характеризует точность, с которой следует изготовить все составляющие звенья размерной цепи при заданных условиях.

Пример

Пусть в конструкции, рассмотренной в предыдущем примере, необходимо назначить допуски и отклонения на составляющие звенья при $P = 0.27\%$ и при нормальном законе распределения рассеяния размеров составляющих звеньев.

Допуски и отклонения на ширину подшипниковых колец назначать условно, как и на другие детали.

Решение

1. Определение номинальных размеров составляющих звеньев выполняется аналогично соответствующему пункту решения задачи методом максимума-минимума.

2. Определение средней точности размерной цепи:
воспользуемся зависимостью

$$k = \frac{T_{\Delta}}{t\sqrt{\sum \lambda_j^2 t_j^2}},$$

$$k = \frac{200}{3\sqrt{\frac{1}{9}[(0.9)^2 + (0.9)^2 + (1.31)^2 + (0.9)^2 + (0.9)^2 + (0.73)^2 + (0.55)^2 + (1.86)^2]}},$$

$$k = 65.76.$$

Найденное число единиц допуска близко к стандартному значению $k=64$, соответствующему 10-му качеству. Сравнивая результаты расчёта с предыдущим методом, заметим, что данный расчёт позволяет выполнить размеры на два (!) качества грубее.

Результаты поэтапных расчетов сведены в таблицу 7.

Результаты поэтапных расчетов

Таблица 7

Обозначение	Номинальный размер	I, мкм	Основн. откл-ние	Квалитет	Допуск T	Верхнее откл. B	Нижнее откл. H	Среднее откл. C
A_{Δ}	1	—	—	—	200	+200	0	+100
\overleftarrow{A}_1	9	0.9	<i>h</i>	10	58	0	-58	-29
\overleftarrow{A}_2	8	0.9	<i>h</i>	10	58	0	-58	-29
\overleftarrow{A}_3	28	1.31	<i>h</i>	10	84	0	-84	-42
\overleftarrow{A}_4	8	0.9	<i>h</i>	10	58	0	-58	-29
\overleftarrow{A}_5	9	0.9	<i>h</i>	10	58	0	-58	-29
\overleftarrow{A}_6	4	0.73	$\pm \frac{IT}{2}$	10	48	+24	-24	0
\overrightarrow{A}_7	2	0.55	—	10	40	+22	-18	+2
\overrightarrow{A}_8	65	1.86	<i>h</i>	10	120	0	-120	-60

3. Определение предельных отклонений звена \overrightarrow{A}_7 :

$$C_{\Delta} = \sum \overrightarrow{C}_j - \sum \overleftarrow{C}_j,$$

$$+100 = (-60) + C_7 - (-29) - (-29) - (-42) - (-29) - (-29) - 0,$$

$$C_7 = 2 \text{ мкм},$$

$$\overrightarrow{A}_7 = \overrightarrow{N}_7 + \frac{\overrightarrow{O}_7}{2} = 2 + \frac{40}{2} = 22 \text{ мкм},$$

$$\vec{i}'_7 = \vec{N}_7 - \frac{\dot{O}_7}{2} = 2 - \frac{40}{2} = -18 \text{ мкм.}$$

Метод пригонки

Требуемая точность замыкающего звена достигается изменением размера компенсирующего (увязочного) звена путем снятия с него слоя металла. При этом допуски на составляющие звенья назначаются по экономически приемлемым квалитетам. Получающийся после этого у замыкающего звена избыток поля рассеяния при сборке устраняют за счет компенсатора.

Смысл расчета заключается в определении припуска на пригонку, достаточного для компенсации величины превышения предельных значений замыкающего звена и вместе с тем, наименьшего для оптимизации объема пригонки.

Роль компенсатора обычно выполняет деталь, простая по конструкции и легкодоступная при разборке механизма

Пример

Пусть для конструкции, рассмотренной в предыдущих примерах, необходимо определить размеры заготовки компенсатора. Замыкающее звено должно быть $A_\Delta = 1.0^{+0.2}$.

Решение

1. Аналогично последовательности, изложенной в предыдущих примерах, производится определение номинальных размеров составляющих звеньев.

2. Выбор и назначение допусков на составляющие звенья.

Принимаем, что для размеров звеньев экономически приемлемым является 12-й квалитет. Назначаем по этому уровню точности допуски на все размеры, кроме допусков на монтажную высоту шариковых радиальных подшипников, которые условно принимаются по таблице 10. Приложения 1, и на звено A_7 , которое выбираем в качестве компенсатора.

3. Определение наибольшей величины компенсации:

по формуле $T_\Delta = \sum_{j=1}^{m-1} T_j$;

$$T_\Delta = 120 + 150 + 210 + 150 + 120 + 120 + T_7 + 300;$$

$$T_7' = T_\Delta - 120 - 150 - 210 - 150 - 120 - 120 - 300;$$

$$T_7' = 200 - 1170; T_7' = -970 \text{ мкм.}$$

Следовательно, для того, чтобы при самом неблагоприятном сочетании размеров замыкающее звено попало в предписанные пределы, надо с компенсатора снять слой материала 0.97 мм.

Результаты расчетов сведены в таблицу 8.

Параметры размерной цепи

Таблица 8

Обозначение	Номинальный размер	I, мкм	Основн. откл-е	Квалитет	Допуск T	Верхнее откл. В	Нижнее откл. H	Среднее откл. C
						мкм		
A_{Δ}	1		—	—	—	+200	0	+100
\overleftarrow{A}_1	9	0.9	h	—	120	0	-120	-60
\overleftarrow{A}_2	8	0.9	h	12	150	0	-150	-75
\overleftarrow{A}_3	28	1.31	h	12	210	0	-210	-105
\overleftarrow{A}_4	8	0.9	h	12	150	0	-150	-75
\overleftarrow{A}_5	9	0.9	h	—	120	0	-120	-60
\overleftarrow{A}_6	4	0.73	$\pm \frac{IT}{2}$	12	120	+60	-60	0
$\overrightarrow{A}_7 = K$	2	0.55	—	—	970	—	—	-425
\overrightarrow{A}_8	65	1.86	h	12	300	0	-300	-150

4. Определение предельных размеров компенсатора \overrightarrow{A}_7 .

Координата середины поля допуска звена \overrightarrow{A}_7 :

$$C_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \overrightarrow{C}_j - \sum_{j=1}^p \overleftarrow{C}_j.$$

$$+100 = -(-60) - (-75) - (-105) - (-75) - (-60) + \overrightarrow{C}_7 + (-150).$$

$$\overrightarrow{C}_7 = -125 \text{ мкм.}$$

$$\overrightarrow{A}_7^{\min} = \overrightarrow{A}_7 + \overrightarrow{C}_7 - \frac{|T_7'|}{2}; \quad \overrightarrow{A}_7^{\min} = 2 + (-0.125) - \frac{0.970}{2}; \quad \overrightarrow{A}_7^{\min} = 1.39 \text{ мм.}$$

$$\overrightarrow{A}_7^{\max} = \overrightarrow{A}_7 + \overrightarrow{C}_7 + \frac{|T_7'|}{2}; \quad \overrightarrow{A}_7^{\max} = 2 + (-0.125) + \frac{0.970}{2}; \quad \overrightarrow{A}_7^{\max} = 2.36 \text{ мм.}$$

5. Определение размеров заготовки компенсатора.

Исполнительный размер заготовки компенсатора определяется его наибольшей величиной, т. е. A^{\max} .

Для изготовления компенсатора на него надо назначить приемлемый допуск, например, допуск по 12-му качеству, принятый для данного примера ($IT_{12} = 100$).

$$A_7^{c\hat{a}\hat{a}} = \overrightarrow{A}_7^{\max} + (IT_{12}); \quad A_7^{c\hat{a}\hat{a}} = 2.36 + 0.1 = 2.46 \text{ мм}; \quad A_7^{c\hat{a}\hat{a}} = 2.46_{-0.1}.$$

Анализируя результаты расчета размерной цепи тремя различными методами, можно сделать следующие выводы:

1. При больших объёмах производства целесообразно допускать вероятность некоторого небольшого процента брака (несобираемости изделий), получая при этом возможность существенного снижения точности выполнения размеров, а, значит, удешевления производства.

2. В ряде случаев бывает целесообразно вообще отказаться от полной взаимозаменяемости. При этом для изготовления составляющих назначаются экономически приемлемые допуски, а работоспособность изделия достигается за счёт снятия припуска на размер компенсирующего элемента – одной из легкодоступных и простых по конфигурации деталей. Такой приём, если он возможен по конструктивным и технологическим соображениям, ведет к ещё большему удешевлению производства.

Метод регулирования с применением сменных компенсаторов

Это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена достигается применением компенсирующего звена без снятия слоя металла.

Его суть состоит в том, что избыток поля рассеивания замыкающего звена устраняют путем подбора компенсатора из некоторого количества компенсаторов, заранее изготовленных с различными размерами.

Смысл расчета заключается в определении наименьшего количества компенсаторов в комплекте.

Метод селективной сборки

По методу селективной сборки производится предварительная сортировка годных деталей на размерные группы, в результате чего оказывается возможным получать заданные технические и эксплуатационные показатели готовой продукции при меньшей точности входящих в нее деталей.

Пример

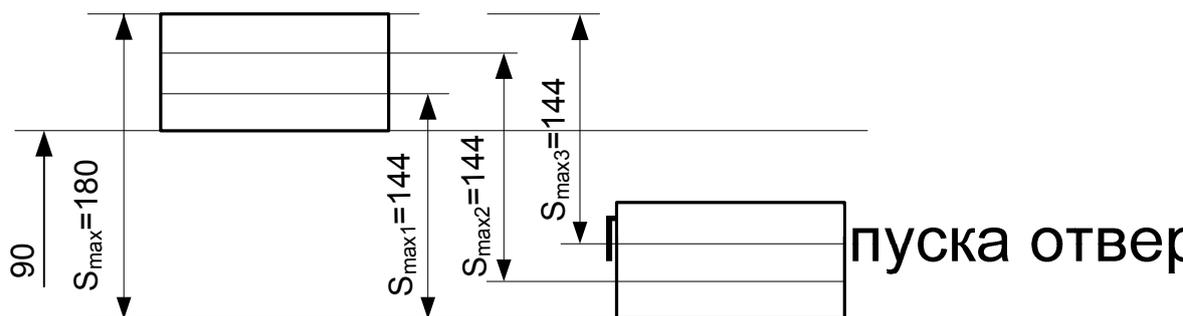
Задача

Соединение $90 \frac{H8}{f8}$ обеспечивает $S_{\max} = 180$ мкм. Пусть по условиям эксплуатации необходимо произвести соединение, обеспечив максимальный зазор не выше 150 мкм.

Решение

Разбивка полей допусков годных деталей на три размерные группы в соответствии с рис. 11.

Видно, что объединение в пары деталей из одноименных групп обеспечивает образование сопряжения с максимальным зазором $S_{\max} = 144$ мкм. Иным путем решить поставленную задачу можно лишь повышая уровень точности, что часто невыгодно экономически, либо невыполнимо в условиях данного конкретного уровня производства.



3 группа

2 группа

1 группа

4. Информационное обеспечение

Таблица значений допусков (мкм) для наиболее употребительных в приборостроении и общем машиностроении квалитетов (с 5-го по 14). Выборка по ГОСТ 25346-89 (таблица 9).

Выборка значений допусков, мкм в интервале действительных размеров до 500 мм

Таблица 9

Интервалы номинальных размеров, мм	квалитеты									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250
Св.3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300
Св.6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360
Св.10 до 18	8	11	18	27	45	72	108	162	243	360
Св.18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520
Св.30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620
Св.50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740
Св.80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870
Св.120 до 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
Св.180 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150
Св.250 до 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300
Св.315 до 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400
Св.400 до 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550

Рис. 13.7. Сортировка годных.

Выборка по ГОСТ параметров шариковых подшипников (таблица 10).

Предельные отклонения ширины колец шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников B , мкм.

Таблица 10

Номинальный внутренний диаметр d , мм	Класс точности					
	0		6		5	
	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение
Св.10 до 18	0	-120	0	-120	0	-80
Св.18 до 30	0	-120	0	-120	0	-120
Св.30 до 50	0	-120	0	-120	0	-120
Св.50 до 80	0	-150	0	-150	0	-150
Св.80 до 120	0	-200	0	-200	0	-200

Принятые сокращения

$\dot{A}_1, \dot{A}_2,$	Составляющие звенья размерной цепи
\dot{A}_Δ	Замыкающее звено размерной цепи
\vec{A}	Увеличивающее звено
$\overset{\leftarrow}{A}$	Уменьшающее звено
$\dot{A}_{\Delta MAX}, A_{\Delta min}$	Наибольшее и наименьшее значения величины замыкающего звена
E_S, E_i, E_m	Верхнее, нижнее и среднее отклонения размера
$P\%$	Процент брака
t_j	Коэффициент риска
i_i	Величина единиц допуска
λ^2	Коэффициент, характеризующий закон распределения отклонений действительных размеров от их номинальных значений
T_j	Допуск размера, мкм
ξ	Передаточное отношение
k	Число единиц допуска

Литература

1. Шляхтер Л.М., Соболев Е.А. Взаимозаменяемость и технические измерения.-М.: Легпромбытиздат, 1993.
2. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. –М.: Машиностроение, 1986.
3. Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки. Справочник в 2-х частях - СПб.: Политехника, 2001.
4. Шляхтер Л.М., Соболев Е.А. Основы выполнения рабочих чертежей деталей. Учебное пособие.- М: Изд-во МТИ, 1991.
5. Анухин В.И. Допуски и посадки. – СПб: Питер, 2007.
6. Зайцев С.А., Куранов А.Д., Толстов А.Н. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении. – М: АСАДЕМІА, 2004.
7. Ганевский Г.М., Гольдин И.И. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении. – М: ПрофОбрИздат, 2001.
8. ГОСТ 25347-82. Предельные отклонения в системе отверстия при размерах до 500 мм.



СПбГУ ИТМО стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007–2008 годы и успешно реализовал инновационную образовательную программу «Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий», что позволило выйти на качественно новый уровень подготовки выпускников и удовлетворять возрастающий спрос на специалистов в информационной, оптической и других высокотехнологичных отраслях науки. Реализация этой программы создала основу формирования программы дальнейшего развития вуза до 2015 года, включая внедрение современной модели образования.

КАФЕДРА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Кафедра измерительных технологий, и компьютерной томографии, в прошлом кафедра часового производства и приборов точной механики была создана одновременно с основанием университета, который ведёт свою историю от образования в 1900 г. ремесленного училища цесаревича Николая. Основателем кафедры является Норберт Болеславович Завадский – первый заведующий механико-оптического отделения этого училища.

В 1920 г. отделение было реорганизовано в техникум точной механики, который с 1925 г. начал подготовку инженеров-приборостроителей. В дальнейшем техникум был преобразован в учебный комбинат, ФЗУ и в 1933 г. стал институтом точной механики и оптики. Всё это время до своей смерти заведовал кафедрой и преподавал дисциплины, связанные с точной механикой, профессор Н.Б.Завадский. В 1930 году кафедру возглавил Л.П.Шишелов. На кафедре читались дисциплины «Теория часовых механизмов», «Электроизмерительные приборы», «Механические приборы», в которые входило изучение тахометров, таксометров, счётчиков, арифмометров, часовых и гироскопических приборов, электротехники.

В 1935 г. из состава кафедры выделилось направление гироскопических устройств. Была образована отдельная кафедра навигационных приборов. В 1940 г. на кафедре защитил кандидатскую диссертацию Захар Маркович Аксельрод, впоследствии доктор технических наук, возглавивший кафедру во время войны. В марте 1942

года институт был эвакуирован по дороге жизни из осаждённого блокадного Ленинграда. Местом размещения института на время стал город Кисловодск. В конце июля 1942 года институт был переведён в город Черепаново Новосибирской области, а в 1944 году ЛИТМО возвратился в Ленинград.

После войны кафедра приборов точной механики выпускала специалистов по часовому производству и производству точного измерительного инструмента. На кафедре читались курсы «Приборы времени», «Теория и проектирование приборов времени», «Приборы для измерения малых промежутков времени», «Приборы для измерения скоростей и ускорений», «Тахометры», «Основы конструирования приборов точной механики.

С 1976 г. кафедру возглавил Борис Александрович Арефьев, известный специалист в области автоматического управления. С 1985 г. кафедрой руководил основатель магниторезонансного класса изображений профессор Владислав Александрович Иванов. В связи с развитием техники и потребностью выпуска инженерных кадров по разработке и эксплуатации магниторезонансных томографов с 1992 года кафедра начала подготовку инженеров по специализации «Компьютерная томография». В настоящее время руководит кафедрой доктор технических наук, профессор Мария Яковлевна Марусина.

Александр Владимирович Кудрявцев
Лев Григорьевич Муханин
Юрий Владимирович Федоров

«Основы взаимозаменяемости» Часть 3 – Расчёт размерных цепей.
Учебное пособие

В авторской редакции

Дизайн

Ю.В.Федоров

Верстка

Л.Г.Муханин

Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского государственного
университета информационных технологий, механики и оптики

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.09

Подписано к печати

Заказ №

Тираж <100

Отпечатано на ризографе