

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**С. Б. Перетятко**

**ТЕОРИЯ СБОРОЧНЫХ ЦЕПЕЙ И МЕТОДЫ ДОСТИЖЕНИЯ  
ТОЧНОСТИ СБОРКИ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки  
15.04.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

УДК 621.71

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания  
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Перетятко, С. Б.

Теория сборочных цепей и методы достижения точности сборки: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 15.04.01 Машиностроение / С. Б. Перетятко. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 24 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Теория сборочных цепей и методы достижения точности сборки» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям.

Табл. 4, список лит. – 6 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 апреля 2023 г., протокол № 4

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 21 апреля 2022 г., протокол № 3

УДК 621.71

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© Перетятко С. Б., 2023 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	16
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	23

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых надежных и эффективных методов расчета допусков составных частей изделий, а также решения других точностных задач является метод размерных цепей [1, 2].

Размерной цепью (РЦ) называют совокупность взаимосвязанных размеров (звеньев), образующих замкнутый контур и определяющих точность взаимного расположения осей и поверхностей одной детали (поддетальная размерная цепь) или нескольких деталей в узле или механизме (сборочная размерная цепь).

Дисциплина «Теория сборочных цепей и методы достижения точности сборки» является дисциплиной, формирующей у обучающихся готовность к профессиональной деятельности в области машиностроения.

Цель освоения дисциплины – формирование у студентов знаний, умений и навыков, применяемых при расчетах сборочных цепей.

Задачи дисциплины следующие:

- изучение основ теории сборочных цепей;
- изучение оборудования, приспособлений, инструмента, применяемого при сборке;
- изучение классификации соединений деталей и узлов изделий точного машиностроения;
- овладение методиками подготовки деталей и узлов к сборке;
- овладение способами контроля качества сборки изделий в машиностроении.

Результатами освоения дисциплины является поэтапное формирование требуемых компетенций у обучающихся.

При реализации дисциплины «Теория сборочных цепей и методы достижения точности сборки» организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- основы теории сборочных цепей;
  - классификацию соединений деталей и узлов изделий точного машиностроения;
  - оборудование, приспособления и инструмент, применяемые при сборке;
  - основы проектирования сборочных цехов и сборочных линий;
  - типы и номенклатуру станков для автоматической сборки;
- уметь:
- разрабатывать типовые и групповые технологические процессы сборки;
  - оценивать технологичность сборных конструкций и соединений;
  - рассчитывать неподвижные неразъемные соединения деталей и узлов;
  - обеспечивать технологическую последовательность сборки типовых частей машин и механизмов;

- разрабатывать производственную программу сборочного цеха; владеть:
- методиками подготовки деталей и узлов к сборке;
- методами обеспечения точности сборки изделий точного машиностроения;
- способами контроля качества сборки изделий в машиностроении;
- методиками выбора автоматического сборочного оборудования для обеспечения технологических процессов;
- методами компоновки сборочных цехов и линий.

Для успешного освоения дисциплины «Теория сборочных цепей и методы достижения точности сборки» студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены практические задания. Решение практических задач обучающимися проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) относятся:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях.

Промежуточная аттестация по завершению курса проводится в виде дифференцированного зачета (зачет с оценкой), который выставляется по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. К промежуточной аттестации допускаются студенты, освоившие темы курса и выполнившие практические работы.

Универсальная система оценивания результатов обучения приведена в таблице 1 и включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>Критерий</b>				
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	собой)			
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые курсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Теория сборочных цепей и методы достижения точности сборки» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

## 1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Теория сборочных цепей и методы достижения точности сборки», студент должен научиться работать на лекциях, практических

занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области разработки ГПС, подбора оборудования машиностроительных производств, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливая их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции, практические занятия, консультирование по решению практических заданий.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены наиболее важным моментам по изучению гибких производственных систем в машиностроении. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в отсутствие преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях.

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного занятия	Кол-во часов ЛЗ
		очно-заочная форма
1	Размерные цепи. Основные термины и определения	3
2	Классификация размерных цепей. Прямая и обратные задачи	2
3	Решение размерной цепи методом максимума – минимума	3
4	Решение размерной цепи теоретико-вероятностным методом	4
<b>Итого</b>		<b>12</b>

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

### **Тема 1. Размерные цепи. Основные термины и определения**

*Ключевые вопросы темы*

1. Понятие размерная цепь.
2. Символы и обозначения, применяемые при расчетах размерных цепей.



3. Выявление размерной цепи.
4. Условное изображение размерной цепи.
5. Определение характера составляющих звеньев.

*Ключевые понятия:* размерная цепь, звено размерной цепи, замыкающее звено.

*Литература:* [1, с. 16–21].

*Методические рекомендации*

Одним из самых надежных и эффективных методов расчета допусков составных частей изделий, а также решения других точностных задач является метод размерных цепей.

Таблица 3 – Обозначения, применяемые при расчёте размерной цепи

Наименование параметра	Обозначение параметра
1 Количество звеньев размерной цепи (включая замыкающее)	$m$
2 Размер составляющего звена	$A_i$
3 Размер замыкающего звена	$A_{\Delta}$
4 Размер компенсирующего звена	$A_x$
5 Передаточное отношение звена	$\xi$
6 Допуск размера составляющего звена	$T_i$
7 Допуск размера замыкающего звена	$T_{\Delta}$
8 Допуск размера компенсирующего звена	$T_k$
9 Отклонение размера	$E (e)$
10 Верхнее отклонение (отверстия, вала)	$ES(es)$
11 Нижнее отклонение (отверстия, вала)	$EI(ei)$
12 Координата середины поля допуска размера	$E_c$
13 Координата центра группирования размеров	$E_m$
14 Риск выхода размера за пределы поля допуска: принимаемый (расчетный) действительный	$P$ $P_g$
15 Коэффициент относительного рассеяния (зависит от закона распределения размеров)	$\lambda$
16 Коэффициент риска	$t_{\Delta}$
17 Коэффициент относительной асимметрии	$\alpha$
18 Средняя величина допуска размера звена размерной цепи	$T_c$
19 Единица допуска	$i$
20 Коэффициент относительной точности	$a$

Размерной цепью (РЦ) называют совокупность взаимосвязанных размеров (звеньев), образующих замкнутый контур и определяющих точность взаимного расположения осей и поверхностей одной детали (поддетальная размерная цепь) или нескольких деталей в узле или механизме (сборочная размерная цепь).

Поскольку в разных источниках, рассматривающих решение размерных цепей, применяют разные символы (условные обозначения) для обозначения одинаковых понятий (терминов), рекомендуется использовать в данной практической работе условные обозначения, приведённые в таблице 3.

Эти условные обозначения соответствуют приведённым в Единой системе допусков и посадок (ЕСДП ГОСТ 25347) и РД 50-635-87 [3, 4].

Размеры (звенья), из которых состоит РЦ, делятся на составляющие и один замыкающий.

Замыкающим называют размер, который получается последним в процессе обработки детали или сборки узла машины. Его величина и точность зависят от величины и точности всех остальных размеров, называемых составляющими. Составляющие размеры получают в процессе обработки деталей. По отношению к замыкающему все составляющие размеры делятся на увеличивающие и уменьшающие.

Увеличивающим размером называют размер, при увеличении которого замыкающий размер увеличивается.

Уменьшающим размером называют размер, при увеличении которого замыкающий размер уменьшается.

Выявление размерной цепи начинается с нахождения ее замыкающего звена, если оно не задано. Затем от одной из сторон замыкающего звена обходят узел или деталь в выбранном направлении (по или против часовой стрелки) и выявляют звенья, увеличение которых вызывает изменение замыкающего звена. При этом следует соблюдать следующие принципы:

- размер может принадлежать только одной детали, т.е. соединять поверхности, линии или точки, принадлежащие этой детали;
- переход от одного звена к другому может осуществляться только, если эти звенья находятся в контакте друг с другом (контакт поверхностей, линий, точек и их сочетаний);
- составленная размерная цепь должна быть кратчайшей из возможных.

Условное изображение РЦ можно выполнять в виде без масштабной схемы. На ней удобнее выявлять увеличивающие и уменьшающие звенья.

Определение характера составляющих звеньев после построения схемы размерной цепи заключается в обходе её по контуру и проставлении над (или под) обозначениями звеньев стрелок, указывающих направление обхода.

Нумерация составляющих звеньев размерной цепи должна быть последовательной и начинаться от одной из сторон замыкающего звена.

Звеньев с одинаковыми номерами в цепи быть не должно, даже если детали идентичные.

#### *Вопросы для контроля*

1. Что такое размерная цепь?
2. Какие условные обозначения применяют при расчетах размерных цепей?
3. Как находятся составляющие и замыкающее звено?
4. Что такое увеличивающие и уменьшающие звенья размерной цепи?

5. Как условно изображают размерные цепи?
6. Как происходит нумерация звеньев размерной цепи?

## **Тема 2. Классификация размерных цепей. Прямая и обратные задачи**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Параллельная линейная размерная цепь.
2. Плоская линейная размерная цепь.
3. Пространственная линейная размерная цепь.
4. Сущность решения размерной цепи.
5. Прямая задача при решении размерной цепи.
6. Обратная задача при решении размерной цепи.

*Ключевые понятия:* классификация размерных цепей, прямая и обратные задачи при решении размерных цепей.

*Литература:* [1, с. 21–22]

### *Методические рекомендации*

По взаимному расположению размеров линейные РЦ делят на: параллельные, плоские и пространственные.

Параллельная линейная размерная цепь характеризуется тем, что все её размеры (звенья) лежат в одной плоскости и номинально параллельны один другому и, следовательно, могут проектироваться без изменения их величин на две или несколько параллельных линий.

Плоская линейная размерная цепь отличается от параллельной тем, что все размеры (звенья) или часть их не параллельны, но лежат в одной плоскости.

Пространственная линейная размерная цепь – цепь, у которой все размеры (звенья) или часть их не параллельны один другому и лежат в непараллельных плоскостях.

Сущность решения РЦ заключается в установлении допусков и предельных отклонений всех её размеров, исходя из требования конструкции и технологии. При этом различают два типа задач:

- прямая задача: определение параметров всех или части составляющих звеньев по заданным параметрам замыкающего звена;

- обратная задача: определение параметров замыкающего звена (номинальный размер, предельные отклонения, допуск) по заданным параметрам составляющих звеньев.

Обе задачи могут быть решены двумя методами: максимума – минимума и теоретико-вероятностным.

### *Вопросы для контроля*

1. Что такое параллельная линейная размерная цепь?
2. Что такое плоская линейная размерная цепь?
3. Что такое пространственная линейная размерная цепь?
4. Какова сущность решения размерной цепи?
5. Что такое прямая задача при решении размерной цепи?
6. Что такое обратная задача при решении размерной цепи?

### Тема 3. Решение размерной цепи методом максимума-минимума

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Метод максимума-минимума.

2. Основное уравнение размерной цепи.

3. Основные аналитические зависимости, используемые при решении линейных плоских параллельных размерных цепей методом максимума-минимума.

*Ключевые понятия:* метод максимума-минимума, основное уравнение размерной цепи.

*Литература:* [1, с. 22–24]

*Методические рекомендации:*

При решении РЦ методом максимума – минимума исходят из предположения, что в одной размерной цепи (одном узле) одновременно могут оказаться все увеличивающие звенья с верхними предельными отклонениями, а все уменьшающие звенья – с нижними предельными отклонениями. Это позволяет обеспечить полную взаимозаменяемость деталей или узлов, входящих в сборочную единицу или машину соответственно.

Метод целесообразно применять при коротких размерных цепях с общим числом звеньев не более четырёх ( $m \leq 4$ ).

Решение размерной цепи методом максимума-минимума происходит расчетом ряда параметров в следующей последовательности.

Основное уравнение размерной цепи: номинальный размер замыкающего звена равен сумме произведений номинальных размеров составляющих звеньев, умноженных на их передаточное отношение.

Передаточное отношение составляющего звена  $\xi_i$  характеризует влияние изменения этого звена на изменение замыкающего звена

Для плоских параллельных линейных размерных цепей всегда  $\xi_i = \pm 1$ .

Определение допуска звена (составляющего и замыкающего, если для них заданы предельные отклонения).

Допуск замыкающего звена при решении обратной задачи и при проверке правильности решения размерной цепи.

Координата середины поля допуска составляющего звена.

Координата середины поля допуска звена–компенсатора или звена с неуказанными предельными отклонениями.

Предельные отклонения замыкающего звена (при решении обратной задачи).

Предельные отклонения компенсирующего звена (в случае введения в РЦ звена – компенсатора).

Проверка решения размерной цепи должна быть проведена обязательно.

#### *Вопросы для контроля*

1. Как подходят к расчету размерной цепи методом максимума-минимума?

2. Каково основное уравнение размерной цепи?

3. Что такое передаточное отношение составляющего звена?

4. Каково определение допуска звена?
5. Каково определение допуска замыкающего звена?
6. Как проверить правильность расчета размерной цепи?

#### **Тема 4. Решение размерной цепи теоретико-вероятностным методом**

##### *Ключевые вопросы темы*

1. Теоретико-вероятностный метод решения размерной цепи.
2. Зависимости для расчета размерных цепей теоретико-вероятностным методом.
3. Допустимый процент риска Р выхода размера замыкающего звена за пределы поля допуска.
4. Предполагаемый закон распределения каждого из звеньев, исходя из особенностей технологического процесса обработки данной детали.
5. Процент риска.
6. Способ равных допусков.
7. Способ одинаковой относительной точности.

*Ключевые понятия:* теоретико-вероятностный метод, процент риска, закон распределения.

*Литература:* [2, с.56-72].

*Методические рекомендации:*

Одним из эффективных методов назначения допусков геометрических параметров изделий машиностроения является метод размерных цепей, который основан на размерном анализе геометрических связей деталей в сборочной единице и сборочных единиц между собой. В результате изготовления партии деталей геометрические параметры поверхностей, являющиеся случайными величинами, распределяются в пределах поля рассеяния с различной плотностью. В зависимости от вида параметра и ряда технологических факторов, рассеяние можно представить в виде законов распределения.

Наибольшее практическое применение в машиностроении получили нормальный закон, закон равной вероятности, закон Симпсона (закон треугольника), описывающие распределения линейных и угловых размеров, массы деталей, значений твердости и др.

Рассеяние значений радиального и торцового биений, отклонений от соосности, параллельности и перпендикулярности осей и плоскостей описывается законом Максвелла (эксцентриситета).

Любое рассеяние характеризуется полем рассеяния  $\omega$ , средним значением величины  $X$ , центром группирования величины  $E_m$ , средним квадратическим отклонением среднего  $\sigma$  от центра группирования величины, коэффициентом относительного среднего квадратического отклонения  $\lambda$  и коэффициентом относительного рассеяния  $k$ . При практических расчётах можно считать, что величина поля рассеяния равна величине поля допуска:  $\omega = T$ . Относительное среднее квадратическое отклонение характеризует величину рассеяния значений размеров относительно центра их группирования:  $\lambda = \sigma / 0,5 * \omega$ . Для нормального закона распределения  $\lambda = \sigma / 0,5 * 6 * \sigma = 1/3 = 0,333$  (считая, что  $\omega = T = 6 * \sigma$ ). Если при расчёте неизвестен закон распределения (при единичном

и мелкосерийном производствах) или известно, что точность звеньев будет соответствовать 5-му и более точным квалитетам, следует принять закон равной вероятности с  $\lambda = 1/\sqrt{3} = 0,577$ . Если ожидаемые точности звеньев соответствуют 5 – 8-му квалитетам и закон близок к закону Симпсона, то принимают  $\lambda = 1/\sqrt{6} = 0,408$ . При крупносерийном и массовом производствах и точности изделий по 9-му квалитету и грубее считают, что кривая распределения близка к нормальному закону. Поэтому принимают  $\lambda = 1/3 = 0,333$ . Коэффициент относительного рассеяния размеров характеризует степень отличия распределения какого-либо параметра по сравнению с нормальным распределением:  $k = \lambda_i / \lambda_{\text{норм}}$ .

Теоретико-вероятностный метод расчёта основывается на том, что вероятность одновременного совпадения наибольших размеров всех увеличивающих звеньев и наименьших размеров всех уменьшающих звеньев (или наоборот) в РЦ мала и уменьшается с увеличением количества составляющих звеньев. Данный метод расчёта учитывает закон распределения отклонений размеров деталей при изготовлении и случайный характер сочетания размеров деталей при их сборке. Распределение (рассеяние) размеров в пределах поля допуска зависит от многих факторов: вида и условий выполнения технологической операции, объёма партии деталей, особенностей настройки инструмента, точности обработки и т.п. По сравнению с методом максимума-минимума вероятностный метод позволяет назначить более широкие допуски на составляющие звенья РЦ, обеспечивая при этом заданную точность замыкающего звена. Допуски становятся технологически легче выполнимыми при незначительном риске несоблюдения предельных значений замыкающего звена. Поэтому в серийном и массовом производстве при расчёте РЦ широко применяется вероятностный метод расчёта. При расчёте размерной цепи может встретиться прямая и обратная задачи. Если заданы параметры замыкающего звена и по ним необходимо определить параметры составляющих звеньев, то это прямая задача. При решении обратной задачи по параметрам составляющих звеньев определяются параметры замыкающего звена. На практике при решении прямой задачи в большинстве РЦ среди составляющих звеньев имеются звенья с известными номинальными размерами, допусками или предельными отклонениями. Это необходимо учитывать при определении параметров остальных звеньев РЦ. Основные аналитические зависимости, используемые при решении линейных плоских параллельных размерных цепей теоретико-вероятностным методом Основное уравнение размерной цепи: номинальный размер замыкающего звена равен сумме произведений номинальных размеров составляющих звеньев, умноженных на их передаточное отношение

Передаточное отношение составляющего звена  $\xi_i$  характеризует влияние изменения этого звена на изменение замыкающего звена. Для плоских параллельных линейных размерных цепей всегда  $\xi_i = \pm 1$ . При расчёте допуска замыкающего звена по вероятностному методу учитывается закон распределения размеров, характеризуемый коэффициентом относительного рассеяния  $k$ , относительным средним квадратическим отклонением  $\lambda$  и уровнем риска  $P$ .

Относительное среднее квадратическое отклонение  $\lambda$  определяется отношением:  $\lambda = k/t$ . Для нормального закона распределения  $k = 1$ .

Коэффициент риска  $t\Delta$  определяется уровнем риска  $P$ , допустимым в данных условиях производства. Уровень риска  $P$  определяет количество изделий, у которых размер замыкающего звена будет выходить за пределы поля допуска, установленного технической документацией.

Далее рассчитывается уравнение координат середин полей допусков и уравнение координат центра группирования размеров. Коэффициент относительной асимметрии  $\alpha$  характеризует величину смещения центра группирования  $E_m$  размеров относительно середины поля рассеяния  $\omega$  размеров.

Для практических расчётов можно принять, что поле рассеяния равно полю допуска, тогда:  $\alpha = 2(E_m - E_c)/T$ . Смещение центра группирования  $E_m$  размеров происходит под действием различных технологических факторов и специальных настроек инструмента.

Порядок расчёта размерной цепи.

Анализ конструкции и составление размерной цепи. Назначение допусков. Способ равных допусков рекомендуется для расчёта размерных цепей с примерно одинаковыми значениями номинальных размеров составляющих звеньев, находящихся в одном интервале размеров или на границе двух соседних интервалов. При способе равных допусков определяется средняя величина  $T_c$  допуска для каждого составляющего звена с учётом закона распределения размеров (коэффициент относительного среднего квадратического отклонения  $\lambda$ ). Способ одинаковой относительной точности характеризуется одинаковой относительной точностью изготовления размеров всех звеньев размерной цепи:  $T_1/A_1 \approx T_2/A_2 \approx T_i/A_i \approx T_{i+1}/A_{i+1} \approx \text{const}$ . Этот способ рекомендуется для расчёта размерных цепей с существенно разными значениями номинальных размеров составляющих звеньев.

При назначении допусков способом одинаковой относительной точности следует определить средний коэффициент точности  $a_c$ , по величине которого назначается квалитет размеров всех звеньев РЦ.

Проверка назначенных допусков производится по величине действительного коэффициента риска  $t\Delta_{\text{действ}}$ .

Предельные отклонения назначаются на размеры всех звеньев цепи, за исключением компенсирующего если оно предусмотрено расчётом. Предельные отклонения составляющих звеньев рекомендуется назначать: - отклонения охватывающих размеров, как для основного отверстия; - отклонения охватываемых размеров, как для основного вала.

Правильность решения размерной цепи определяется соблюдением условий, выраженных уравнениями: номинальных размеров; допусков; координат центров группирования размеров.

### *Вопросы для контроля*

1. Назовите методы назначения допусков при расчёте размерной цепи и в каких случаях они применяются?

2. В чём сущность метода одного квалитета при назначении допусков звеньев при расчёте размерной цепи?

3. С какой целью в размерную цепь вводят компенсирующее звено?
4. В чём разница в решениях размерной цепи методами максимума – минимума и теоретико-вероятностным?
5. Что такое центр группирования размеров?
6. Какой параметр определяет величину смещения центра группирования относительно середины поля рассеяния размеров?
7. В каких случаях коэффициент относительной асимметрии замыкающего звена можно принять равным нулю?
8. Как при расчёте размерной цепи учитываются звенья, предельные отклонения и (или) допуски которых известны из НД или определены расчётом другой размерной цепи?
9. Как определить, к каким размерам (охватывающим, охватываемым или не относящимся к ним) относятся размеры звеньев цепи при назначении предельных отклонений?

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков компетентного расчет размерных цепей, представлять современное состояние и перспективы технического и технологического развития теории сборочных цепей и методы достижения точности сборки.

Практические занятия по дисциплине «Теория сборочных цепей и методы достижения точности сборки» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

Но- мер темы	Содержание практического (семинарского) занятия	Кол-во часов ПЗ
		очно-заочная форма
1	Единая система допусков и посадок. Основные термины и определения	6
2	РД 50-635-87 Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей	6
3	Расчет размерной цепи методом максимума-минимума	6
4	Расчет размерной цепи теоретико-вероятностным методом	6
<b>Итого</b>		<b>24</b>



**Практическая работа № 1:** Единая система допусков и посадок. Основные термины и определения.

*Цель:* получение практических умений и навыков в области единой системы допусков и посадок, согласно которой формируются допуски на линейные размеры деталей по ГОСТ 25347 и ГОСТ 25346, применяемые при расчетах размерных цепей.

*Задание по практической работе:*

1. Получение умений и навыков работы с системой допусков на линейные размеры согласно ГОСТ 25347-82 ЕСДП Поля допусков и рекомендуемые посадки.

2. Получение умений и навыков работы с единой системой допусков и посадок согласно ГОСТ 25347 Поля допусков и рекомендуемые посадки.

*Методические рекомендации*

Размер согласно ГОСТ 2.307 – числовое значение линейной величины (диаметр, длина и т. п.) в выбранных единицах измерения [6]. На чертежах все линейные размеры указываются в миллиметрах. Поскольку невозможно обеспечить изготовление партии деталей с совершенно одинаковым размером обрабатываемой поверхности, то необходимо определить интервал размеров, в пределах которых изготовленная деталь будет выполнять свое функциональное значение.

Рассмотрим сопряжение вала и втулки с зазором. Для получения зазора  $S$  в сопряжении размер  $D$  отверстия втулки должен быть больше размера  $d$  вала. При изготовлении деталей размеры  $D$  и  $d$  выполняются с погрешностями. Конструктор исходит из того, что погрешности неизбежны, и определяет, в каких пределах они допустимы, т.е. сопряжение еще удовлетворяет требованиям правильной сборки и нормальному функционированию. Конструктор устанавливает два предельных размера для вала –  $d_{max}$ ,  $d_{min}$  и два предельных размера для отверстия –  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ , внутри которых должны находиться действительные размеры сопрягаемых деталей (рис. 4, б).

Предельные размеры согласно ГОСТ 25346 – предельно допустимые размеры размерного элемента [5]. Удовлетворяющий допуску действительный размер находится между предельными размерами или равен им. Верхний предельный размер – наибольший допустимый размер размерного элемента. Нижний предельный размер – наименьший допустимый размер размерного элемента.

Предельные размеры – два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться (или которым может быть равен) действительный размер. Бóльший из них называется наибольшим предельным размером, мéньший – наименьшим предельным размером. Сравнение действительного размера с предельными дает возможность судить о годности детали.

Допуск согласно ГОСТ 25346 – разность между верхним и нижним предельными размерами. Допуск – положительное число. Пределы допуска – установленные значения, определяющие верхнюю и нижнюю границы допустимых значений. Стандартный допуск IT-допуск, установленный системой допусков ISO на линейные размеры. Буквы в аббревиатуре IT

являются сокращением от словосочетания «Международный допуск» («International Tolerance») [6].

Допуск размера обозначается буквой  $T$  с индексом размера, к которому относится допуск –  $Td$  и  $TD$ . Нанесение на чертеже соединения такого количества размеров крайне неудобно, поэтому было принято устанавливать один общий размер для вала и отверстия, называемый номинальным –  $D$  и указывать от него предельные отклонения.

Номинальный размер согласно ГОСТ 25346 – размер геометрического элемента идеальной формы, определенной чертежом. Номинальный размер согласно ГОСТ 2.307 – размер, относительно которого определяются отклонения. На чертеже детали указываются номинальные размеры поверхностей. Для упрощения на чертежах и в таблицах стандартов на допуски и посадки вместо предельных размеров указывают предельные отклонения от номинального размера.

Отклонение согласно ГОСТ 25346 – разность между значением и опорным значением. Для отклонений размеров опорным значением является номинальный размер, а значением – действительный размер.

Предельное отклонение – верхнее предельное отклонение или нижнее предельное отклонение от номинального размера. Предельное отклонение – алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения.

Интервал допуска согласно ГОСТ 25346-2013 – совокупность значений размера между пределами допуска, включая эти пределы. Поле допуска согласно ГОСТ 25346-89 – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера.

Поле допуска согласно ГОСТ 53442-2015 – область на плоскости или в пространстве, ограниченная одной или несколькими идеальными линиями или поверхностями и характеризуемая равным значению допуска линейным размером. Для упрощения расчётов и графического представления допусков размеров они изображаются графически в виде схемы расположения допусков, основой, которой является нулевая линия, материализующая номинальный размер поверхности

Квалитет согласно ГОСТ 25346 – группа допусков на линейные размеры, характеризующаяся общим обозначением. Квалитет – совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров. В квалитетах, начиная с IT6, значения допусков увеличиваются в 10 раз при переходе с данного квалитета на пять квалитетов грубее. Это правило распространяется на все допуски системы и может быть применено для получения значений допусков квалитетов.

Необходимое количество таких квалитетов (ступеней) определяется в каждый отрезок времени потребностями и возможностями промышленности. В настоящее время в ГОСТ 25346 предусмотрено 20 квалитетов, обозначаемых числами: 01, 0, 1, 2 ... 17, 18. Наименьший допуск размера установлен для 01-го квалитета, наибольший – для 18-го квалитета.

Обозначение качества состоит из номера качества, следующего за аббревиатурой международного допуска IT, например, IT7. Если номер качества входит в обозначение класса допуска, т. е. связан с буквой (или буквами), обозначающей основное отклонение, то аббревиатуру IT опускают, например, H7.

*Вопросы для контроля:*

1. Что такое ЕСКД?
2. Какие предельные размеры существуют?
3. Что такое допуск?
4. Что такое предельные отклонения?
5. Что такое поле допуска?
6. Что такое качество?
7. Как обозначается основное отклонение?
8. Как обозначается класс допуска?

**Практическая работа № 2:** РД 50-635-87 Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей.

*Цель:* получение умений и навыков работы с РД 50-635-87 Цепи размерные.

*Задание по практической работе:*

1. Ознакомиться с терминами и определениями.
2. Изучить примеры конструкторских и технологических задач.
3. Изучить виды размерных цепей.
4. Изучить применяемые в расчете размерных цепей размеры и отклонения.
5. Изучить задачи и способы расчета размерных цепей.
6. Изучить порядок построения размерных цепей.
7. Изучить процедуру выявления составляющих звеньев размерной цепи.
8. Изучить методы расчетов плоских размерных цепей с постоянными передаточными отношениями с использованием различных методов достижения точности.

*Методические рекомендации*

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции машины, в технологических процессах изготовления ее деталей и сборки, при измерении. Эти связи возникают в соответствии с условием и принятым решением конструкторской, технологической задачи или задача измерения. Свойства и закономерности размерных цепей отражаются системой понятий и аналитическими зависимостями, позволяющими производить расчет номинальных размеров, допусков, координат середин полей допусков и обеспечивать наиболее экономичным путем точность изделий при конструировании, изготовлении, ремонте и во время эксплуатации. Методические указания содержат: термины и определения, раскрывающие сущность размерной цепи и ее структуру; соотношения между элементами размерной цепи; виды размерных цепей; связи

между размерными цепями; методы достижения точности изделий при помощи размерных цепей; методику построения размерных цепей; методику расчета плоских размерных цепей; примеры расчета размерных цепей [3].

*Вопросы для контроля:*

1. Какие основные термины и определения используют при решении размерных цепей и которые раскрывающие сущность размерной цепи и ее структуру?
2. Какие имеются соотношения между элементами размерной цепи?
3. Какие существуют виды размерных цепей?
4. Какие имеются связи между размерными цепями?
5. Какие имеются методы достижения точности изделий при помощи размерных цепей.
6. Какова методика построения размерных цепей?
7. Какова методика расчета плоских размерных цепей?

**Практическая работа № 3:** Расчет размерной цепи методом максимума-минимума

*Цель:* получение навыков и умений расчета размерных цепей методом максимума-минимума.

*Задание по практической работе:*

1. Рассчитать заданную размерную цепь методом максимума - минимума.

*Методические рекомендации*

Решение размерной цепи методом максимума-минимума происходит расчетом ряда параметров в следующей последовательности. Основное уравнение размерной цепи: номинальный размер замыкающего звена равен сумме произведений номинальных размеров составляющих звеньев, умноженных на их передаточное отношение. Передаточное отношение составляющего звена. Определение допуска звена (составляющего и замыкающего, если для них заданы предельные отклонения). Допуск замыкающего звена при решении обратной задачи и при проверке правильности решения размерной цепи. Координата середины поля допуска составляющего звена. Координата середины поля допуска звена-компенсатора или звена с неуказанными предельными отклонениями. Предельные отклонения замыкающего звена (при решении обратной задачи). Предельные отклонения компенсирующего звена (в случае введения в РЦ звена – компенсатора). Проверка решения размерной цепи.

*Вопросы для контроля:*

1. Когда применяют метод максимума-минимума для расчета размерной цепи?
2. Каково основное уравнение размерной цепи?
3. Что такое передаточное отношение составляющего звена?
4. Как определить допуск звена?

5. Как определить допуск замыкающего звена?
6. Как проверить правильность расчета размерной цепи?

**Практическая работа № 3:** Расчет размерной цепи теоретико-вероятностным методом

*Цель:* получение навыков и умений расчета размерных цепей теоретико-вероятностным методом.

*Задание по практической работе:*

1. Рассчитать заданную размерную цепь теоретико-вероятностным методом.

*Методические рекомендации*

Теоретико-вероятностный метод расчёта основывается на том, что вероятность одновременного совпадения наибольших размеров всех увеличивающих звеньев и наименьших размеров всех уменьшающих звеньев (или наоборот) в РЦ мала и уменьшается с увеличением количества составляющих звеньев. Данный метод расчёта учитывает закон распределения отклонений размеров деталей при изготовлении и случайный характер сочетания размеров деталей при их сборке. В серийном и массовом производстве при расчёте РЦ широко применяется вероятностный метод расчёта. При расчёте размерной цепи может встретиться прямая и обратная задачи.

Основное уравнение размерной цепи: номинальный размер замыкающего звена равен сумме произведений номинальных размеров составляющих звеньев, умноженных на их передаточное отношение

Для плоских параллельных линейных размерных цепей всегда  $\xi_i = \pm 1$ . При расчёте допуска замыкающего звена по вероятностному методу учитывается закон распределения размеров, характеризуемый коэффициентом относительного рассеяния  $k$ , относительным средним квадратическим отклонением  $\lambda$  и уровнем риска  $P$ .

Относительное среднее квадратическое отклонение  $\lambda$  определяется отношением:  $\lambda = k/t$ . Коэффициент риска  $t\Delta$  определяется уровнем риска  $P$ , допустимым в данных условиях производства. Уровень риска  $P$  определяет количество изделий, у которых размер замыкающего звена будет выходить за пределы поля допуска, установленного технической документацией.

Далее рассчитывается уравнение координат середин полей допусков и уравнение координат центра группирования размеров.

Следует применить следующий порядок расчета размерной цепи. Анализ конструкции и составление размерной цепи. Назначение допусков. Способ равных допусков рекомендуется для расчёта размерных цепей с примерно одинаковыми значениями номинальных размеров составляющих звеньев, находящихся в одном интервале размеров или на границе двух соседних интервалов. Способ одинаковой относительной точности характеризуется одинаковой относительной точностью изготовления размеров всех звеньев размерной цепи:  $T_1/A_1 \approx T_2/A_2 \approx T_i/A_i \approx T_{i+1}/A_{i+1} \approx \text{const}$ . При назначении допусков способом одинаковой относительной точности следует определить средний коэффициент точности  $a_c$ , по величине которого назначается квалитет размеров всех звеньев

РЦ. Проверка назначенных допусков производится по величине действительного коэффициента риска  $t\Delta_{действ}$ . Предельные отклонения назначаются на размеры всех звеньев цепи, за исключением компенсирующего если оно предусмотрено расчётом.

Правильность решения размерной цепи определяется соблюдением условий, выраженных уравнениями: номинальных размеров; допусков; координат центров группирования размеров.

*Вопросы для контроля:*

1. Когда применяют теоретико-вероятностный метод для расчета размерной цепи?
2. Что необходимо учитывать при расчете допуска замыкающего звена по вероятностному методу?
3. Каков порядок расчета размерной цепи при теоретико-вероятностном методе расчета?
4. Когда рекомендуют применять способ равных допусков?
5. Когда рекомендуют применять способ одинаковой относительной точности?
6. Как проводится проверка назначенных допусков?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овсянников, В. В. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб.-метод. пособие по практическим занятиям / В. В. Овсянников. – Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – 70 с.
2. Правдин, Ю. Ф. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / Ю. Ф. Правдин, В. В. Овсянников. – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. – 145 с.
3. РД 50-635-87 Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчёта линейных и угловых цепей
4. ГОСТ 25347-82. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки.
5. ГОСТ 25346-82. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
6. ГОСТ 2.307 Нанесение размеров и предельных отклонений.

Локальный электронный методический материал

Сергей Борисович Перетятко

ТЕОРИЯ СБОРОЧНЫХ ЦЕПЕЙ И МЕТОДЫ ДОСТИЖЕНИЯ  
ТОЧНОСТИ СБОРКИ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 1,9. Печ. л. 1,5

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1