

**Белорусский национальный технический университет**

**Приборостроительный факультет**

**Кафедра «Стандартизация, метрология и информационные системы»**

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ П. С. Серенков

\_\_\_\_\_ 2016 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

\_\_\_\_\_ А.М. Малярович

\_\_\_\_\_ 2016 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ  
ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Проектирование норм точности»**

**для направления специальности 1-54 01 01-01 «Метрология, стандартизация  
и сертификация (машиностроение и приборостроение)»**

Составители: Серенков Павел Степанович,  
Спесивцева Юлия Борисовна

Рассмотрено и утверждено

На заседании совета приборостроительного факультета 25 апреля 2016 г.,  
протокол № 8

## **Перечень материалов**

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине «Проектирование норм точности»:

материалы для изучения дисциплины представлены учебным пособием «Методы менеджмента качества. Проектирование норм точности», включающим курс лекций и пример проектирования норм точности изделия механического типа, контрольные вопросы к экзамену и самостоятельной подготовки по дисциплине, базовую учебную программу дисциплины с перечнем основной и дополнительной литературы.

### **Пояснительная записка**

*Целью ЭУМК* по дисциплине «Проектирование норм точности» является формирование у студентов комплекса знаний по изучаемой учебной дисциплине, соответствующих академическим, социально-личностным и профессиональным компетенциям специалиста в рамках образовательного стандарта для направления специальности 1-54 01 01-01 «Метрология, стандартизация и сертификация».

*Особенностями структурирования и подачи учебного материала* являются изучение следующих теоретических материалов:

- современные тенденции развития теории и методов повышения качества продукции;
- общее решение задачи проектирования норм точности изделия;
- положения теории точности, применяемые в проектировании норм точности;
- источники, свойства и методы выявления неопределённостей параметров изделий;
- методы определения коэффициентов влияния и комплексирования неопределённостей параметров изделий;
- порядок проектирования норм точности для различных структурных элементов изделия;
- конструктивные способы снижения влияния неопределённостей параметров изделий.

*Рекомендации по организации работы с ЭУМК:*

для успешного усвоения материала изучаемой учебной дисциплины и приобретения практических навыков необходимо изучить учебное пособие, которое содержит теоретический материал и пример реализации алгоритма проектирования норм точности изделия, включающий постановку задачи, представление структуры изделия в виде «иерархической пирамиды» источников неопределенностей и распределение допуска проектируемого показателя качества между структурными элементами в виде полей допусков влияющих факторов.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛЫ

Материалы для теоретического изучения учебной дисциплины «Проектирование норм точности» и приобретения практических навыков представлены учебным пособием:

621.7 С32

СЕРЕНКОВ, П.С. Методы менеджмента качества. Проектирование норм точности : [учебное пособие для вузов по машиностроительным и приборостроительным специальностям] / П.С. Серенков и Ю.Б. Спесивцева . - Минск : ИВЦ Минфина, 2009. - 334 с. : ил., табл.

978-985-692-126-4 : руб. 37000.00

### **Аннотация:**

В учебном пособии изложены теоретические основы, принципы, подходы и методы проектирования норм точности изделий механического типа, известного как «задача проектирования полей допусков» (Tolerance Design). Предложена методика «сквозного» проектирования норм точности изделия, которая реализует известный системный подход Quality Function Deployment (QFD) - «структурирование функции качества» и представлена как алгоритм, включающий полный цикл проектирования норм точности: от требований технического задания к изделию до требований к параметрам сборочных единиц и деталей.

Методика построена на комплексном модульном подходе, позволяющем разумно ограничить выбор и применение подходов, методов и средств проектирования.

Предназначено для студентов технических специальностей, окажет помощь в выполнении курсовых и дипломных проектов конструкторского плана, а также будет полезно инженерам (конструкторам, технологам, метрологам, инженерам по качеству).

## II. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

### Контрольные вопросы для экзамена и самостоятельной подготовки по учебной дисциплине «Проектирование норм точности»

1. Современные тенденции развития теории и методов повышения качества продукции.
2. Первый этап алгоритма проектирования норм точности изделия: идентифицировать и проанализировать проектируемый показатель качества изделия в виде диапазона допускаемых значений положения/перемещения рабочего элемента.
3. Второй этап алгоритма проектирования норм точности изделия: представить структуру изделия в виде "иерархической пирамиды источников" неопределенностей.
4. Третий этап алгоритма проектирования норм точности изделия: распределение диапазона допускаемых значений положения/перемещения рабочего элемента изделия между его структурными элементами. Принципы проектирования норм точности.
5. Деталь как объект проектирования норм точности.
6. Соединение деталей как объект проектирования норм точности.
7. Конструктивная цепь как объект проектирования норм точности.
8. Функциональные устройства как объект проектирования норм точности.
9. Основные принципы теории точности, применяемые при проектировании норм точности.
10. Определение предмета проектирования норм точности изделия.
11. Определение объектов проектирования норм точности изделия. Неопределенность положения рабочего элемента.
12. Определение объектов проектирования норм точности изделия. Неопределенность перемещения рабочего элемента.
13. Действующие неопределенности параметров изделий.
14. Схемные теоретические неопределенности.
15. Параметрические теоретические неопределенности.
16. Конструктивные теоретические неопределенности.
17. Особенности теоретических неопределенностей.
18. Технологические неопределенности.
19. Эксплуатационные неопределенности.
20. Первая задача проектирования норм точности. Подходы и методы выявления действующих неопределенностей.
21. Вторая задача проектирования норм точности. Классификация методов определения коэффициентов влияния.

22. Методы определения коэффициентов влияния. Дифференциальный метод.
23. Методы определения коэффициентов влияния. Метод относительных неопределенностей.
24. Методы определения коэффициентов влияния. Геометрический метод.
25. Третья задача проектирования норм точности: комплексирование неопределенностей. Метод максимума и минимума.
26. Третья задача проектирования норм точности: комплексирование неопределенностей. Вероятностный метод.
27. Особенности комплексирования параметров в случае отличия законов распределения параметров составляющих и замыкающего звеньев от нормальных.
28. Особенности комплексирования параметров в случае, если законы распределения параметров составляющих и замыкающего звеньев близки к нормальному, но имеют явно выраженную асимметрию по отношению к соответствующим полям допусков.
29. Особенности комплексирования в случае, если диапазоны рассеяния параметров составляющих и замыкающего звеньев не совпадают с величинами соответствующих допусков.
30. Классификация неопределенностей и методов их комплексирования. Алгоритм комплексирования неопределенностей параметрической цепи.
31. Расчет параметрической цепи, представленной только скалярными параметрами.
32. Расчет параметрической цепи, представленной только векторными параметрами.
33. Расчет параметрической цепи, представленной только звеньями типа «сопряжения с зазором»
34. Расчет параметрической цепи, состоящей только из функционально-зависимых параметров.
35. Особенности проектирования норм точности на уровне изделия.
36. Особенности проектирования норм точности функциональных устройств.
37. Особенности проектирования норм точности конструктивных цепей.
38. Конструктивные способы снижения влияния действующих неопределенностей.
39. Компенсирование неопределенностей параметров. Условие и ограничения применения компенсации. Пример выбора и расчета компенсатора.
40. Компенсирование неопределенностей параметров. Методы компенсации неопределенностей.

.....

**III. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ**  
**Белорусский национальный технический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе и  
коммерческой деятельности

\_\_\_\_\_ Г.А. Вершина

\_\_\_\_\_

Регистрационный № УД-\_\_\_\_\_/баз.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОРМ ТОЧНОСТИ**

**Учебная программа для направления специальности:**  
1-54 01 01-01 Метрология, стандартизация и сертификация  
(машиностроение и приборостроение)

Минск 2010г.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**П.С.Серенков**, заведующий кафедрой «Стандартизация, метрология и информационные системы» Белорусского национального технического университета, доцент, доктор технических наук;

**Ю.Б.Спесивцева**, доцент кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**В.Л. Гуревич**, директор Белорусского государственного института стандартизации и сертификации;

**Н.А. Жагора**, директор Белорусского государственного института метрологии, доцент, доктор технических наук

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой «Стандартизация, метрология и информационные системы» Белорусского национального технического университета  
(протокол № 15 от 9 марта 2010г.)

Методической комиссией приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета  
(протокол № 7 от 24 марта 2010г.)

Ответственный за редакцию: Ю.Б.Спесивцева

Ответственный за выпуск: И.С. Габец



## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа «Проектирование норм точности» разработана для специальности I-54 01 01-01 «Метрология, стандартизация и сертификация» для высших учебных заведений.

Развитие промышленности в условиях рыночной экономики предъявляет все более жесткие требования к конкурентоспособности продукции, выпускаемой предприятиями машиностроения и приборостроения.

Современный подход к менеджменту качества предполагает комплексное решение задач планирования, обеспечения, управления и улучшения качества продукции на всех этапах жизненного цикла продукции.

Целью дисциплины в системе подготовки инженеров в области метрологии, стандартизации и сертификации продукции является изучение комплекса вопросов, связанных с обеспечением качества продукции на этапе проектирования.

В результате освоения курса «Проектирование норм точности» студент должен:

### **знать:**

- теоретические основы (принципы, подходы, методы) «сквозного» проектирования норм точности изделия (от технического задания на изделие до требований к рабочим чертежам деталей);
- порядок проектирования норм точности изделий механического типа;

### **уметь:**

- анализировать показатели качества изделия;
- выявлять источники неопределенностей показателей качества изделия;
- определять коэффициенты влияния неопределенностей параметров;
- решать прямую и обратную задачи параметрической цепи (комплексировать неопределенности параметров);

### **приобрести навыки:**

- представления конструкции изделия механического типа в виде иерархии структурных элементов, обладающих свойством функциональной автономности,
- проектирования норм точности структурных элементов изделия различных уровней иерархии,
- применения конструктивных способов снижения влияния неопределенностей;
- компенсации неопределенностей.

### **Методы (технологии) обучения**

Изложение материала на лекциях включает использование мультимедийного проектора. На практических и лабораторных занятиях используются элементы учебно-исследовательской деятельности с

использованием конструкторской документации реальных объектов. При выполнении курсовой работы применяются проектные технологии обоснования расчетным путем соответствия технических характеристик проектируемого изделия и его составляющих частей нормам точности, зафиксированных в техническом задании.

### **Организация самостоятельной работы студентов**

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- управляемая самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных расчетных заданий с консультациями преподавателя;
- подготовка курсовой работы по индивидуальным заданиям.

### **Диагностика компетенций студента**

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале.

Для оценки достижений студента используется следующий диагностический инструментарий:

- защита выполненных на практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита курсовой работы;
- проведение текущих контрольных опросов по отдельным темам;
- сдача экзамена по дисциплине.

Изучение дисциплины «Проектирование норм точности» рассчитано всего на 133 часа, в том числе — 82 часа аудиторных занятий.

Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий:

- лекции — 34 часа;
- практические занятия — 16 часов;
- лабораторные работы — 16 часов.

### **Примерный тематический план**

<b>Наименование раздела и темы</b>	<b>Лекции (часы)</b>	<b>Практические занятия (часы)</b>	<b>Лабораторные занятия (часы)</b>	<b>Всего аудиторных часов</b>
<b>Раздел I. Методология обеспечения качества изделий в части проектирования норм точности</b>				
Тема 1. Современные тенденции развития теории и методов повышения качества продукции	2			2

Тема 2. Алгоритм и принципы проектирования норм точности изделия	2		2	4
Тема 3. Постановка и анализ задачи проектирования норм точности изделия	2		1	3
<b>Раздел II. Положения теории точности, применяемые в проектировании норм точности</b>				
Тема 4. Основные принципы теории точности	1			1
Тема 5. Определение предмета и объектов проектирования норм точности изделия	3			3
<b>Раздел III. Виды неопределенностей параметров изделий</b>				
Тема 6. Действующие неопределенности	1	1		2
Тема 7. Теоретические неопределенности	2	1		3
Тема 8. Технологические неопределенности	2	1		3
Тема 9. Эксплуатационные неопределенности	1	1		2
<b>Раздел IV. Задачи проектирования норм точности</b>				
Тема 10. Первая задача: выявление действующих неопределенностей	2	2		4
Тема 11. Вторая задача: определение коэффициентов влияния	4	2		6
Тема 12. Третья задача: комплексирование неопределенностей	4	2		6
<b>Раздел V. Порядок и особенности проектирования норм точности различных структурных элементов изделия</b>				
Тема 13. Алгоритм комплексирования неопределенностей параметрической цепи	1	2		3
Тема 14. Проектирование норм точности на уровне изделия	1	1	4	6
Тема 15. Проектирование норм точности функциональных устройств	1	1	4	6
Тема 16. Проектирование норм точности конструктивных цепей	1	1	4	6
<b>Раздел VI. Снижение влияния и компенсирование действующих</b>				

<b>неопределенностей</b>				
Тема 17. Методы снижения влияния действующих неопределенностей	2	2		4
Тема 18. Компенсирование неопределенностей параметров	2	2		4
ВСЕГО	34	16	16	66

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ***Раздел 1. Методология обеспечения качества изделий в части проектирования норм точности***

#### **Тема 1. Современные тенденции развития теории и методов повышения качества продукции**

Современный подход к менеджменту качества. Проектирование как ключевой этап формирования заданного уровня качества изделия и его конкурентоспособности. Структура процесса проектирования с позиций системного подхода. Практическое значение методики «сквозного» проектирования норм точности изделия, реализующей известный системный подход Quality Function Deployment (QFD) - «структурирование функции качества».

#### **Тема 2. Алгоритм и принципы проектирования норм точности изделия**

Алгоритм проектирования норм точности изделия как последовательность этапов и соответствующих им задач. Первый этап: идентифицировать и проанализировать проектируемый показатель качества изделия в виде диапазона допустимых значений положения/перемещения рабочего элемента. Второй этап: представить структуру изделия в виде "иерархической пирамиды", позволяющей идентифицировать источники влияющих факторов («носителей» частных неопределенностей положения/перемещения рабочего элемента). Третий этап: реализовать процедуру проектирования норм точности как последовательность решения трех задач: выявить и классифицировать влияющие факторы, оценить их коэффициенты влияния, распределить диапазон допустимых значений положения/перемещения рабочего элемента изделия между его структурными элементами в виде полей допусков влияющих факторов (норм точности). Принципы проектирования норм точности: функциональной декомпозиции, модульного подхода, системности, комплексности.

### **Тема 3. Постановка и анализ задачи проектирования норм точности изделия**

Деталь как объект проектирования норм точности. Структурные элементы конструкции детали. Функциональная точность детали. Соединение деталей как объект проектирования норм точности. Виды соединений. Функциональная точность соединения. Конструктивная цепь как объект проектирования норм точности. Материализованные и расчетные конструктивные цепи. Функциональная точность конструктивной цепи. Понятие и классификация функциональных устройств. Основные структурные элементы функциональных устройств в соответствии с их функциональным назначением. Функциональная точность преобразующих и базирующих функциональных устройств. Конструктивные узлы и изделия с позиций проектирования норм точности.

## ***Раздел //.* Положения теории точности, применяемые в проектировании норм точности**

### **Тема 4. Основные принципы теории точности**

Теория точности как инструмент решения задач анализа и прогнозирования точности технических систем. Основные принципы теории точности: независимости действия неопределенностей, суперпозиции действующих неопределенностей.

### **Тема 5. Определение предмета и объектов проектирования норм точности изделия**

Идентификация предмета проектирования норм точности изделия. Объекты проектирования норм точности изделия или его структурного компонента: неопределенность положения рабочего элемента, неопределенность перемещения рабочего элемента. Функция связи между входной и выходной координатами. Основное исходное уравнение линейной теории точности для решения задач проектирования норм точности изделий механического типа. Механизмы образования неопределенности положения и неопределенности перемещения рабочего элемента. Связь неопределенности положения и неопределенности перемещения рабочего элемента изделия или его структурного компонента.

### ***Раздел III. Виды неопределенностей параметров изделий***

#### **Тема 6. Действующие неопределенности**

Действующими неопределенностями элементарные и комплексные. Выявление действующих неопределенностей. Признаки действующих неопределенностей параметров, непосредственно входящих в функцию связи. Выявление и анализ нулевых параметров. Первичный анализ и идентификация выявленных неопределенностей параметров. Источники неопределенностей параметров устройств. Классификация неопределенностей по уровню обобщенности (элементарные и комплексные), в зависимости от источника их возникновения (теоретические, технологические, эксплуатационные, неопределенности характеристик свойств материалов). Закономерности проявления действующих неопределенностей (случайные и неслучайные). Закономерности изменения числовых значений (постоянные, переменные регулярные, переменные нерегулярные). Степень определенности направления действия (скалярные, векторные).

#### **Тема 7. Теоретические неопределенности**

Причины возникновения и характеристики теоретических неопределенностей, порядок учета на первой стадии проектирования норм точности. Схемные теоретические неопределенности. Структурные допущения при проектировании схемы устройства. Параметрические теоретические неопределенности. Конструктивные теоретические неопределенности. Алгоритм определения теоретической неопределенности изделия или его структурного компонента. Методы минимизации теоретических неопределенностей. Особенности теоретических неопределенностей.

#### **Тема 8. Технологические неопределенности**

Источники и особенности технологических неопределенностей (проявляющиеся при изготовлении и сборке). Форма проявления (смещения и перекосы, вызванные геометрическими факторами, силовыми, температурными и иными деформациями). Виды неопределенностей (неопределенности размеров, формы, взаимного расположения и микрогеометрии поверхностей). Нормированное выражение и общая структура технологических неопределенностей параметров, связь с технологичностью конструкции.

### **Тема 9. Эксплуатационные неопределенности**

Источники и классификация эксплуатационных неопределенностей параметров. Смещения элементов подвижных соединений в посадках с зазором. Деформации элементов, возникающие в процессе эксплуатации под действием силовых, температурных или других воздействий внешней среды. Износ элементов подвижных кинематических пар. Структура эксплуатационных неопределенностей.

## ***Раздел IV. Задачи проектирования норм точности***

### **Тема 10. Первая задача: выявление действующих неопределенностей**

Подходы к решению первой задачи проектирования норм точности (аналитический и основанный на экспертных оценках). Этапы нахождения действующих неопределенностей. Метод Н.Г. Бруевича как формализованный метод выявления источников неопределенностей. Метод матриц влияния В.В. Кулагина как экспертный метод выявления источников неопределенностей. Метод Н.А. Калашникова как формализованный метод идентификации действующих неопределенностей.

### **Тема 11. Вторая задача: определение коэффициентов влияния**

Методологическая основа для решения второй задачи проектирования норм точности. Коэффициент влияния. Кинематический и силовой подход аналитических методов решения второй задачи. Дифференциальный метод. Метод относительных неопределенностей. Геометрический метод. Метод преобразования исходной схемы (метод преобразованного механизма или построения плана малых перемещений). Графический способ построения и анализа преобразованного механизма. Аналитический способ построения и анализа преобразованного механизма. Метод построения сетки влияния конечных неопределенностей.

### **Тема 12. Третья задача: комплексирование неопределенностей**

Прямая задача и обратная задачи. Методы обеспечения точности показателя качества (полная взаимозаменяемость, неполная взаимозаменяемость). Методы комплексирования случайных составляющих неопределенности: максимума-минимума (метод расчета по предельным значениям), вероятностный метод. Особенности комплексирования параметров в случае отличия законов распределения параметров составляющих и замыкающего звеньев от нормальных. Особенности комплексирования параметров в случае если законы распределения параметров составляющих и замыкающего звеньев близки к нормальному, но

имеют явно выраженную асимметрию по отношению к соответствующим полям допусков. Особенности комплексирования в случае если диапазоны рассеяния параметров составляющих и замыкающего звеньев не совпадают с величинами соответствующих допусков. Рекомендации по определению коэффициентов относительного рассеяния и относительной асимметрии.

## ***Раздел V. Порядок и особенности проектирования норм точности различных структурных элементов изделия***

### **Тема 13. Алгоритм комплексирования неопределенностей параметрической цепи**

Структурирование параметров цепи по группам со схожими вероятностными характеристиками. Алгоритм расчета параметрической цепи на любом уровне иерархии изделия (изделие, функциональное устройство, конструктивная цепь, соединение, деталь) с учетом особенностей конструктивного представления объектов нормирования. Расчет параметрической цепи, представленной только скалярными параметрами. Расчет параметрической цепи, представленной только векторными параметрами. Расчет параметрической цепи, представленной только звеньями типа «сопряжения с зазором» (зазоры полностью выбираются в заданном направлении; зазоры полностью выбираются попеременно в одну и в другую сторону; зазоры выбираются так, что детали сопряжения могут занимать любое относительное положение). Расчет параметрической цепи, состоящей только из функционально-зависимых параметров. Общий случай комплексирования параметров цепи.

### **Тема 14. Проектирование норм точности на уровне изделия**

Исходные данные для проектирования норм точности. Классификация требований к изделиям механического типа. Решение первой задачи проектирования норм точности. Решение второй задачи проектирования норм точности. Решение третьей задачи проектирования норм точности.

### **Тема 15. Проектирование норм точности функциональных устройств**

Исходные данные для проектирования норм точности. Особенности расчета преобразующих и базирующих функциональных устройств. Решение первой задачи проектирования норм точности. Решение второй задачи проектирования норм точности. Решение третьей задачи проектирования норм точности.



### **Тема 16. Проектирование норм точности конструктивных цепей**

Исходные данные для проектирования норм точности. Корректировка цели и задач проектировочного расчета конструктивных цепей. Решение первой задачи проектирования норм точности. Решение второй задачи проектирования норм точности. Решение третьей задачи проектирования норм точности.

## ***Раздел VI. Снижение влияния и компенсирование действующих неопределенностей***

### **Тема 17. Методы снижения влияния действующих неопределенностей**

Необходимость тесной связи проектирования норм точности с начальными этапами конструирования: проектированием системы и проектированием параметров. Путь корректировки номинальных значений конструктивных параметров изделия. Уменьшение (компенсирование) теоретической неопределенности. Уменьшение количества действующих неопределенностей параметров. Ужесточение допусков на первичные неопределенности. Уменьшение коэффициентов влияния неопределенностей влияющих параметров (принцип совпадения линии действия и линии движения, принцип ограничения вылетов).

### **Тема 18. Компенсирование неопределенностей параметров**

Компенсаторы. Условия применения компенсаторов в процессе проектирования норм точности параметрической цепи. Задачи компенсирования (центрирование, задача снижения рассеяния). Специфика применения компенсирования для теоретических неопределенностей. Связь компенсирования технологических неопределенностей с технологическими возможностями производства. Компенсирование эксплуатационных неопределенностей. Ограничения применения компенсации. Компенсация путём воздействия на источники неопределенностей. Компенсация путём воздействия на частные неопределенности параметров. Технологические методы компенсирования. Конструктивные методы компенсации. Организационно-технические методы компенсации. Методика расчета компенсаторов. Расчет компенсатора как набора прокладок. Оценка неопределенности компенсации.

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Примерный перечень тем практических занятий**

1. Системный анализ структуры механизма с точки зрения автономности методов проектирования норм точности.
2. Структурирование изделий механического типа согласно принципов функциональной декомпозиции и модульного подхода.
3. Качественный и количественный анализ теоретических неопределенностей устройств (структурных, параметрических, конструктивных). Методы их компенсации и минимизации.
4. Качественный и количественный анализ технологических неопределенностей устройств (скалярных и векторных). Суммирование технологических действующих неопределенностей устройства с учетом вероятностных характеристик рассеяния.
5. Качественный и количественный анализ эксплуатационных неопределенностей устройств. Суммирование эксплуатационных неопределенностей устройства с неопределенностями других типов.
6. Методы количественного определения коэффициентов влияния неопределенностей устройства. Геометрический метод и метод относительных неопределенностей.
7. Параметрические цепи. Их место в общем расчете на точность всего изделия. Методика составления параметрических цепей.
8. Методика проектирования норм точности изделия в целом.
9. Методика проектирования норм точности функциональных устройств изделия.
10. Методика проектирования норм точности конструктивных цепей изделия.
11. Методика проектирования норм точности соединений и деталей изделия.
12. Размерные цепи, определяющие точность расположения схемного элемента конструктивной цепи изделия. Методика проектировочного расчета размерных цепей вероятностным методом.
13. Методы компенсации неопределенностей изделий. Расчет компенсаторов.

### **Примерный перечень тем лабораторных работ**

1. Структурный анализ механизма с заданными показателями качества. Постановка целей и задач проектировочного расчета на точность.
2. Проектировочный расчет на точность механизма на уровне изделия.
3. Проектировочный расчет на точность механизма на уровне функциональных устройств и конструктивных узлов. Составление функции преобразования движения.

4. Проектировочный расчет на точность механизма на уровне конструктивных цепей.
5. Проектировочный расчет размерных конструктивных цепей механизма. Порядок составления и методика качественного анализа размерных цепей.
6. Проектировочный расчет размерных конструктивных цепей механизма. Порядок количественного расчета размерных цепей вероятностным методом.
7. Проектировочный расчет на точность механизма на уровне соединений и деталей.
8. Выявление и анализ теоретических неопределенностей механизма. Конструктивные методы компенсации теоретических неопределенностей.
9. Проектировочный расчет компенсаторов механизма.

### **Примерное содержание курсового проектирования**

Комплексное проектирование норм точности изделия механического типа с подвижным рабочим элементом (например, механизм привода барабана самописца, механизм позиционирования стола измерительного устройства и т.п.).

#### Исходные данные:

- изделие, представленное в виде чертежа общего вида эскизного проекта (выдается преподавателем);
- технические характеристики изделия: требования к точности функционирования рабочего элемента изделия.

#### Структура проекта:

- структурный анализ изделия;
- проектировочные расчеты норм точности функциональных устройств, конструктивных цепей, соединений, деталей и их оптимизация;
- проектировочный расчет параметрической цепи, определяющей точность положения (перемещения) выходного звена.
- сводные результаты проектирования норм точности изделия.

### **Основная литература**

1. Серенков, П.С. Методы менеджмента качества. Проектирование норм точности: учебное пособие для студентов высших учебных заведений/ П.С. Серенков, Ю.Б.Спесивцева. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – 336 с.
2. Кулагин, В.В. Основы конструирования оптических приборов/ В.В. Кулагин. – Л.: Машиностроение, 1982. – 312с.
3. Дунаев, П.Ф. Расчет допусков размеров / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Машиностроение, 2006. – 400с.

4. Грейм, И.А. Элементы проектирования и расчет механизмов приборов/ И.А. Грейм. – Л.: Машиностроение, 1972. – 216с.
5. Коротков, В.П. Основы метрологии и теория точности измерительных устройств/ В.П.Коротков, Б.А.Тайц. – М.: Изд-во Стандартов, 1978. – 352с.

### **Дополнительная литература**

1. Иванцов, А.И. Основы теории точности измерительных устройств/ А.И. Иванцов. – М.: Изд-во Стандартов, 1972. – 212с.
2. Обеспечение качества на этапе проектирования: подготовлено по англоязычным источникам/ под ред. Г.Е.Герасимова. – М.: НТК Трек, 2000. – 17с.
3. Допуски и посадки: справочник: в 2 ч /В.Д.Мягков [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1983. – Ч.1. – 543 с.; Ч.2. – 448 с.
4. Розова, Н.К. Управление качеством: учеб. пособие / Н.К.Розова. – СПб.: Питер, 2002. – 223 с.
5. Солонин, И.С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И.С.Солонин, С.И.Солонин. – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.
6. Стрелец, А.А. Размерные расчеты в задачах оптимизации конструкторско-технологических решений / А.А.Стрелец, В.А.Фирсов. – М.: Машиностроение, 1988. – 120 с.
7. Размерный анализ конструкций: справочник / С.Г.Бондаренко [и др.]; под общей редакцией С.Г.Бондаренко. – Киев: Тэхніка, 1989. – 148 с.
8. Руководство по выражению неопределенностей измерения / под науч. ред. проф. В.А.Слаева; пер. с англ. – СПб.: ГП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», 1999. – 134 с.
9. Точность производства в машиностроении и приборостроении / под ред. А.Н. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.
10. Шарловский, Ю.В. Регулирующие устройства приборов и их элементы / Ю.В. Шарловский. – М.: Машиностроение, 1976. – 312 с.