



Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсовой работы «Проектирование и
расчет на точность измерительного прибора»
по дисциплине
«Основы теории точности измерительных
приборов»
для студентов специальности
7.090901 – «Приборы точной механики»
специализации «Компьютерное проектирование
информационно-измерительных приборов и систем»
дневной и заочной форм обучения

Заказ № _____ от « _____ » _____ 200 _____. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ

Севастополь
2005

УДК 325.5:621.382.049.001.63

Методические указания к выполнению курсовой работы «Проектирование и расчет на точность измерительного прибора» по дисциплине «Основы теории точности измерительных приборов»

/ Разраб. А.Г. Колбасников, А.И. Балакин. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. – 36 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении курсовой работы. В методических указаниях изложена методика проектирования и расчета на точность измерительных приборов.

Методические указания предназначены для студентов специальности: 7.090901 – «Приборы точной механики», специализация «Компьютерное проектирование информационно-измерительных систем» дневной и заочной форм обучения.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Автоматизированные приборные системы» 17 июня 2005 г., протокол №12

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: А.П. Васютенко, канд. техн. наук, доц. кафедры «Автоматизированные приборные системы»

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Цель и задачи курсового проектирования.....	4
2.	Объем и оформление курсовой работы.....	5
3.	Подробное содержание разделов пояснительной записки.....	5
3.1.	Введение.....	5
3.2.	Разработка и описание технического предложения проектируемого ИП.....	5
3.3.	Вывод функции положения механизма ИП.....	6
3.4.	Разработка и описание эскизного проекта ИП.....	8
3.5.	Определение функциональной ошибки ИП.....	8
3.6.	Определение предельной ошибки ИП по эскизному проекту.....	9
3.7.	Оптимизация параметров механизма ИП.....	11
3.8.	Расчет на точность механизма ИП по техническому проекту.....	13
3.9.	Корректировка технических требований на изготовление и сборку механизма ИП.....	26
3.10.	Выводы.....	26
4.	График выполнения курсовой работы.....	27
5.	Работа с литературой.....	27
	Библиографический список.....	28
	Приложение А. Задание на курсовую работу.....	29
	Приложение Б. Варианты задания.....	30

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Курсовой проект ставит своей целью закрепление студентом знаний по курсу «Основы теории точности измерительных приборов» и производственного опыта, приобретенного на конструкторско-технологической практике VI семестра, посредством самостоятельной работы на всех этапах проектирования измерительных средств.

В ходе выполнения курсовой работы (КР) студент должен проявить:

- знание теоретических основ точности измерительных приборов (ИП), их конструкции, тенденции и перспектив их развития, автоматизации и управления;

- умение применять теоретические основы точностного анализа и синтеза измерительной цепи измерительного устройства при его проектировании;

- умение аргументировано (на основе знаний технологических возможностей современного приборостроительного производства), назначить технические условия на изготовление конструкции измерительного прибора;

- умение анализировать и применять при проектировании результаты научных исследований проведенных на практике и на кафедре в ходе выполнения программы НИРС;

- умение пользоваться действующими ГОСТами и РТМ, и технической литературой.

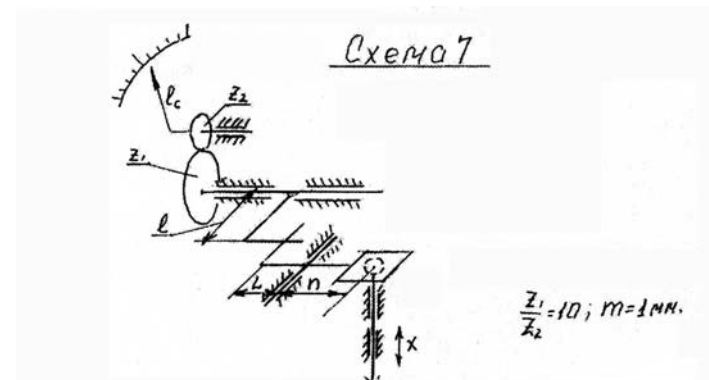
Темы курсовых работ должны быть посвящены решению следующих задач:

- проектированию новых и модернизации существующих конструкций измерительных приборов или преобразователей;

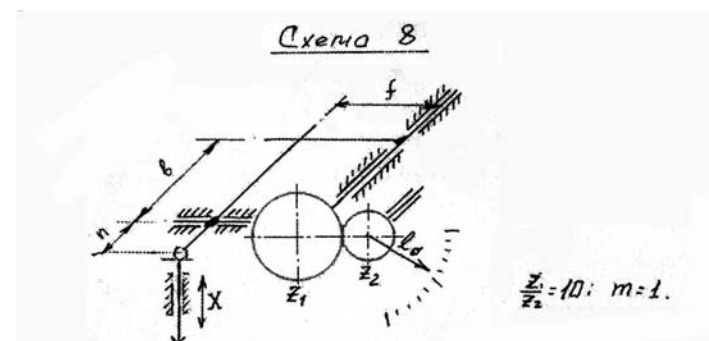
- созданию новых или модернизацию существующих конструкций узлов полуавтоматов, автоматов и автоматических устройств для контроля и сортировки деталей на размерные группы;

- созданию новых или модернизацию существующих узлов устройств активного контроля деталей.

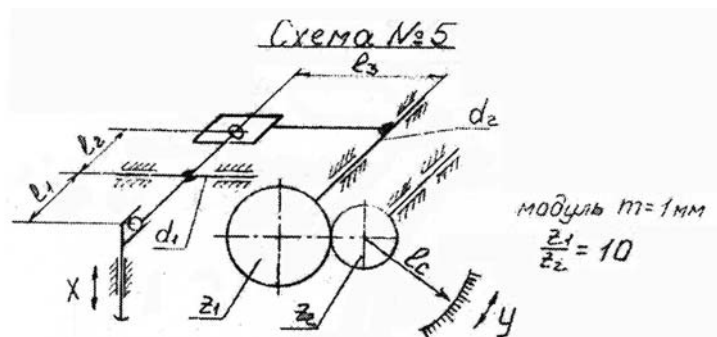
Наиболее ценные темы работ исследовательского характера, выполняемые студентами по заданию заводов, конструкторских бюро, НИИ или кафедры. При их успешном выполнении по решению кафедры такие темы могут явиться основой для составления задания этим студентам на дипломное проектирование.



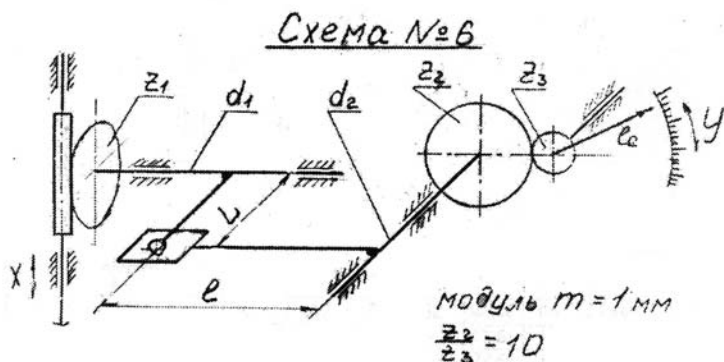
Вариант №	Последняя цифра зачетной книжки	X, мм	L, мм	l, мм	lc, мм	a, мм	c, мм	n, мм
31	0, 5	2	60	26	108,33	1,0	0,005	12,5
32	1, 6	3	70	30,5	78,43	1,0	0,01	18
33	2, 7	4	75	32	60,16	1,5	0,02	23,5
34	3, 8	5	85	36	49,13	2,0	0,05	29
35	4, 9	4	80	34	19,12	2,0	0,1	22,5



Вариант №	Последняя цифра зачетной книжки	X, мм	n, мм	b, мм	f, мм	lc, мм	a, мм	c, мм
36	0, 5	2	12,5	75	32	106,66	1,0	0,005
37	1, 6	4	23,5	80	35	67,6	1,5	0,025
38	2, 7	5	28	95	41	72,5	1,5	0,025
39	3, 8	3	19	60	28	88,67	1,0	0,01
40	4, 9	3	13	70	30	55,71	1,0	0,01



Вариант №	Последняя цифра зачетной книжки	X, мм	l_1 , мм	l_2 , мм	l_3 , мм	l_0 , мм	a, мм	c, мм
21	0, 5	4	28,2	70	30,5	49,1	1,0	0,05
22	1, 6	2	11,25	60	26	48,75	1,0	0,01
23	2, 7	5	29	75	32	49,4	1,0	0,05
24	3, 8	1,5	9	75	32	76,79	1,0	0,005
25	4, 9	3	16,12	95	41	41,7	1,5	0,025



Вариант №	Последняя цифра зачетной книжки	X, мм	L, мм	l_1 , мм	l_2 , мм	a, мм	c, мм	z_1
26	0, 5	4	70	30,5	49,1	1,0	0,05	47
27	1, 6	2	60	26	48,75	1,0	0,01	45
28	2, 7	5	75	32	49,4	1,0	0,05	58
29	3, 8	1,5	75	32	76,79	1,0	0,005	36
30	4, 9	3	95	41	41,7	1,5	0,025	43

2. ОБЪЕМ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа должна состоять из графической части и пояснительной записки.

Для курсовой работы: объем графической части не менее 2,25 листов формата А1. Объем пояснительной записки 25-30 страниц на листах формата А4.

Графическая часть выполняется в карандаше и должна отвечать по своему содержанию и оформлению всем требованиям ЕСКД и ЕСТД.

Первый лист содержания (оглавление) должен иметь штамп заглавного листа и соответственно остальные листы записки — штамп, предусмотренный по ГОСТ 2.108-68, как для последующих листов текстовых документов.

В пояснительную записку брошюруются листы спецификаций, необходимые графики, схемы, таблицы.

Схемы и таблицы к тексту пояснительной записки выполняются на форматных листах по ГОСТ 2.301-68 с основными и дополнительными графиками по ГОСТ 2.104-68.

3. ПОДРОБНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

(смотри приложение А — задание к курсовой работе)

3.1. Введение

Во введении кратко (0,5...1 страницы) должно быть раскрыто значение измерительных устройств при решении задач в приборостроении, разработке новых технологических процессов, автоматизации технологических процессов.

3.2. Разработка и описание технического предложения проектируемого ИП

Исходными данными в разработке технического предложения являются кинематическая схема ИП и предлагаемые значения размеров звеньев, указанных в задании. Разработка технического предложения предполагает знание студентов таких дисциплин как «Детали приборов» и «Теория механизмов и машин». В результате анализа кинематики движения звеньев, передающих измерительное перемещение, их

взаимного расположения, необходимо графически изобразить конструкцию механизма (пока упрощенно, без учета ее собираемости). Такая «материализация» кинематической схемы должна давать представление о взаимодействии основных деталей – неподвижной стойки и подвижных элементов, воплощающих заданную закономерность перемещения. Предоставленная конструкция должна быть описана по своему составу и действию.

3.3. Вывод функции положения механизма ИП

Вывод функции положения механизма (ФПМ) осуществляется на основе заранее построенной структурной схемы. Элементами структуры являются типовые элементарные механизмы.

3.3.1. Составление структурной схемы контрольно-измерительного устройства (КИУ).

Правильный выбор структуры КИУ, умение рационально составлять структурную схему имеет большое значение при разработке измерительных приборов и систем, позволяет целенаправленно решать задачи анализа и синтеза проектируемого средства измерения (СИ).

Согласно ГОСТ 16263-70 (Метрология. Термины и определения), структура СИ может определяться основными элементами КИУ.

К основным элементам относятся те, которые непосредственно выполняют функцию преобразования входного сигнала в выходной. Вспомогательные элементы непосредственно не участвуют в преобразовании измеряемой величины.

В качестве примера рассмотрим кинематическую схему индикатора часового типа, изображенную на рисунке 1.

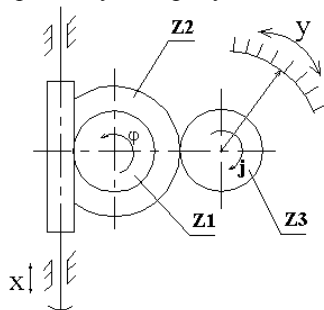
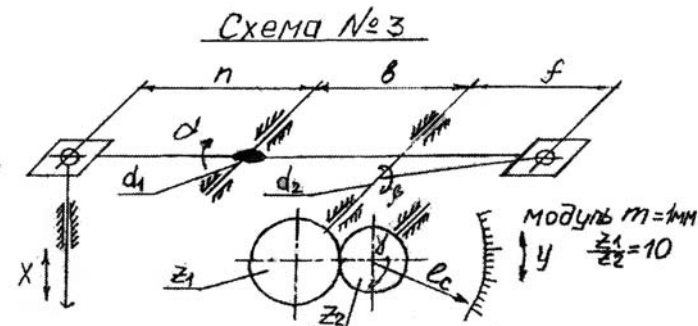
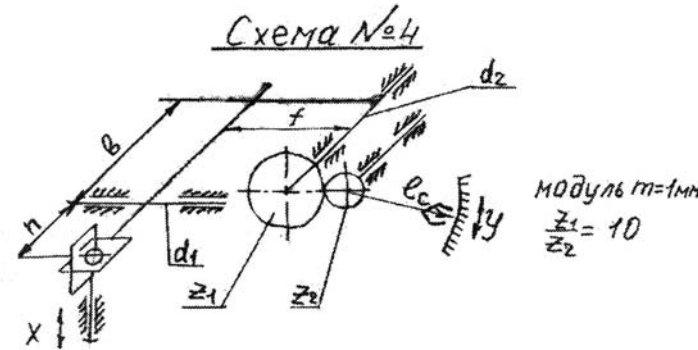


Рисунок 1 – Кинематическая схема индикатора часового типа



Вариант №	Последняя цифра зачетной книжки	X, мм	n, мм	b, мм	f, мм	l _c , мм	a, мм	c, мм
11	0, 5	2	15	5	10	100	1,0	0,01
12	1, 6	3	18	4	12	54,05	1,0	0,025
13	2, 7	2	13	3,5	14	62,43	1,5	0,025
14	3, 8	1,5	14	13	16	155	1,0	0,005
15	4, 9	2,5	16	6	10	100	1,0	0,01



Вариант №	Последняя цифра зачетной книжки	X, мм	n, мм	b, мм	f, мм	l _c , мм	a, мм	c, мм
16	0, 5	2	12,5	75	32	106,66	1,0	0,005
17	1, 6	4	23,5	80	35	67,6	1,5	0,025
18	2, 7	5	28	95	41	72,5	1,5	0,025
19	3, 8	3	19	60	28	88,67	1,0	0,01
20	4, 9	3	13	70	30	55,71	1,0	0,01

$$\varphi = f(x);$$

- для второго структурного элемента (зубчатого механизма)

$$j = f(\varphi);$$

- для третьего структурного элемента (стрелочного механизма)

$$y_d = f(j).$$

Из курсов ТММ, Элементов приборов и литературы аналитические выражения функций для рассматриваемого примера будут

$$\varphi = \frac{2X}{m \cdot z_1}, \quad (1)$$

$$j = \varphi \frac{z_2}{z_3}, \quad (2)$$

$$y_d = j \cdot L. \quad (3)$$

Подставляя (1) в (2), а (2) в (3) получим

$$y_d = \frac{2 \cdot x \cdot z_2 \cdot L}{m \cdot z_1 \cdot z_3}, \text{ (мм)}.$$

3.4. Разработка и описание эскизного проекта ИП

Описательная часть к эскизному проекту должна содержать:

1. Обоснование рациональности компоновки основных элементов измерительного прибора, исходя их требований: точности, габаритных размеров, ремонтпригодности конструкции.

2. Аргументированное пояснение применения в конструкции узлов компенсации погрешностей изготовления и сборки, а также пояснение применения, тех или иных конструктивных унифицированных преобразователей, подшипников (скольжения или качения), пружинных подвесов, шарниров, направляющих, видов зубчатых зацеплений, рычажных передач, элементов электро-, пневмо- и гидроприводов.

Описание конструкции следует делать в статическом состоянии конструкции, а затем в последовательности ее действия.

В разделах технического предложения и эскизного проекта студент должен показать способность применять в конструкции унифицированные элементы, узлы, преобразователи, творчески анализируя их точностные, технологические и экономические характеристики.

3.5 Определение функциональной ошибки ИП

Под функциональной ошибкой (ошибкой схемы) механизма понимают ошибку положения механизма, вызванную несоответствием

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Задание на курсовую работу

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Севастопольский национальный технический университет

Кафедра Автоматизированных приборных систем

ЗАДАНИЕ (№ варианта схемы)

На курсовую работу
по курсу «Основы теории и проектирования измерительных приборов»

Студенту _____ гр. _____

Тема: Проектирование и расчет на точность механизма измерительного прибора по заданной схеме и допускаемой предельной погрешности его показаний.

Исходные данные к работе: пределы измерения ($\pm x$), цена деления (c), интервал деления (a), ориентировочные размеры звеньев ($L, l, \dots, n$).
Допускаемая погрешность на выходе $[\Delta] = \pm c$

Кинематическая схема преобразователя

Значения исходных данных см. № варианта схемы

Содержание пояснительной записки

Титульный лист.
Бланк задания.
Содержание.
Введение.
Разработка и описание технического предложения проектируемого ИП.
Вывод функции положения механизма.
Разработка и описание эскизного проекта ИП.
Определение функциональной ошибки механизма ИП.
Определение предельной ошибки ИП по эскизному проекту.
Оптимизация параметров механизма ИП.
Расчет на точность механизма ИП по техническому проекту.
Корректировка технических требований на изготовление и сборку механизма ИП.
Выводы.
Библиографический список.
Приложения.

Содержание графической части проекта

Кинематическая и структурная схема механизма	формат А4
Техническое предложение	формат А4
График функции положения действительного механизма,	
график функции ошибки схемы	формат А2
Эскизный проект (сборочный чертеж)	формат А2
Технический проект (сборочный чертеж)	формат А1
Чертеж детали	формат А2

Задание выдал _____ (подпись)
Задание принял студент _____ (подпись)
«__» _____ 200__ г.

Литературу следует подбирать по тематическому библиотечному каталогу. При работе с книгой необходимо обратить внимание на состав использованной автором литературы, которую при необходимости можно найти в библиотеке по авторскому каталогу.

При отсутствии необходимой литературы в фондах библиотек Севастополя, ее можно заказать через МБА (межбиблиотечный абонемент), но следует помнить, что для этого необходимо определенное время. Поэтому работу по подбору литературы следует начинать сразу же после выдачи задания на проектирование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 8.051-81 ГНС. Погрешности, допускаемые при измерении размеров до 500мм. – Взамен ГОСТ 8.051-73; Введ. 01.01.73. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 5 с. – Группа Т86.1.СССР
2. Проектный расчет точности контроля в автоматических линиях, РТМ-ОКБ-026. – М.: ОКБ, 1978. – 14 с.
3. Кемпинский М.М. Точность и надежность измерительных приборов / М.М.Кемпинский. – Л.: Машиностроение, 1972. – 512 с.
4. ГОСТ 24642-81 Основные норма взаимозаменяемости. Допуски и формы расположения поверхностей. Основные термины и определения. – Взамен ГОСТ 10356-63 в части разд. I и II. Введ. 02.06.81. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 18 с. – Группа Г00.СССР
5. ГОСТ 25347-82. Единая система допусков и посадок. Пол допусков и рекомендуемые посадки. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 20 с. – Группа Г10.СССР
6. ГОСТ 24643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и взаимного расположения поверхностей. Числовые значения. Взамен ГОСТ 10356-63 в части разд. III; Введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 18 с. – Группа Г12.СССР
7. ГОСТ 14140-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей. Взамен ГОСТ 14140-69; Введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 5 с. – Группа Г12.СССР
8. Полишко С.П. Точность средств измерений / С.П. Полишко, А.Д. Трубенков. – К.: Вища шк., 1988. – 150 с.
9. Справочник конструктора точного приборостроения / Под ред. К.Н. Явленского, Б.П. Тимофеева, Е.Е. Чадаевой. – Л.: Машиностроение, 1989. – 100 с.
10. Грейм И.А. Элементы проектирования и расчет механизмов / И.А.Грейм. – Л.: Машиностроение. 1972. – 215 с.
11. Кемпенский М.М. Точность и надежность измерительных приборов / М.М.Кемпинский. – Л.: Машиностроение, 1972. – 263 с.
12. Коротков В.П. Основы метрологии и точности механизмов приборов / В.П. Коротков. – М.: Машгиз, 1961. – 397 с.

функций положения действительного и теоретического механизмов (ФПДМ и ФПТМ).

Вывод функции положения действительного механизма подробно изложен в разделе 3.3.

Функция положения теоретического механизма определяется исходя из номинального передаточного отношения i механизма определяемого как отношение

$$i = \frac{a}{c},$$

где a – интервал деления шкалы КИУ; c – цена деления шкалы.

Тогда функция положения теоретического механизма будет иметь вид

$$y = \frac{a}{c} x.$$

Функциональная ошибка согласно определению будет выглядеть следующим образом

$$\Delta y = y_D - y.$$

3.6. Определение предельной ошибки ИП по эскизному проекту

Предельные отклонения параметров размерных, пневматических, электрических, оптических, прочностных и др., зависят от тех их допускаемых их отклонений, которые назначит студент в качестве технических условий на изготовление данного измерительного устройства. При назначении допускаемых отклонений следует помнить, что назначение более широких допускаемых отклонений всегда упрощает технологию и таким образом удешевляет разрабатываемую конструкцию.

Так, например, наиболее предпочтительными качествами допускаемых отклонений на линейные размеры в приборостроении следует считать 7-12. В исключительных случаях необходимость применения более высоких качеств должна быть аргументирована технологическими или экономическими соображениями.

Соотношение предельных отклонений на различные параметры выбирается, исходя из соотношения коэффициентов влияния соответствующих первичных ошибок.

3.6.1. Расчет коэффициентов влияния.

Для определения коэффициентов влияния ошибок необходимо познакомиться со следующим материалом [12 С, 276-279].

Для примера рассмотрим расчет коэффициентов влияния ошибок механизма ФПДМ которого имеет вид

$$\varphi = \arctg\left(\frac{b}{c} \operatorname{tg} \arcsin \frac{x}{a}\right). \quad (4)$$

Определим коэффициенты влияния, дифференцируя данное уравнение (4) в частных производных и заменяя дифференциалы конечными приращениями

$$\Delta\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial\varphi}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial\varphi}{\partial c} \Delta c + \frac{\partial\varphi}{\partial x} \Delta x. \quad (5)$$

Дифференцируя уравнение по а получим коэффициент влияния (КВ) первичной ошибки параметра а

$$KB_a = \frac{\partial\varphi}{\partial a} = -\frac{1}{1 + \left(\frac{b}{c} \operatorname{tg} \arcsin \frac{x}{a}\right)^2} \cdot \frac{b}{c} \cdot \frac{1}{\cos^2\left(\arcsin \frac{x}{a}\right)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}} \cdot \left(-\frac{x}{a^2}\right) \dots \quad (6)$$

Если по заданию значение размеров звеньев составляют: а = 13 мм, в = 15 мм, с = 30 мм, х = 4 мм, то для получения максимального значения КВ_а необходимо значение параметров а, в, с и X_{max}=4 подставить в (3).

$$KB_a = -\frac{1}{1 + \left(\frac{15}{30} \operatorname{tg} \arcsin \frac{4}{13}\right)^2} \cdot \frac{15}{30} \cdot \frac{1}{\cos^2\left(\arcsin \frac{4}{13}\right)} \times \\ \times \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4^2}{13^2}}} \cdot \left(-\frac{4}{13^2}\right) = -1.339 \cdot 10^{-2}, \left[\frac{1}{мм}\right]$$

Коэффициенты влияния по всем остальным параметрам (в, с, х) определяются аналогично, путем дифференцирования ФПДМ по всем остальным параметрам.

3.6.2. Расчет составляющих предельной суммарной ошибки ИП.

Для расчета составляющих ошибок с целью нахождения суммарной необходимо предельные отклонения размеров умножить на соответствующие коэффициенты влияния. Расчет предельной суммарной ошибки положения механизма осуществляется в соответствии с методикой изложенной в п. 3.8.

текстовой части выводы должны содержать технические данные и метрологическую характеристику спроектированного измерительного устройства.

4. ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

№ пункта	Содержание выполняемой работы	№ недели
Пояснительная записка		
1.	Введение. Анализ методов и специальных средств контроля параметров заданного объекта измерения.	1-2
2.	Техническое предложение и эскизный проект.	2-3
3.	Расчет основных параметров выбранной схемы; кинематический анализ механизма измерительного устройства и синтез размерных параметров	3-4
4.	Разработка ТУ на изготовление механизма измерительного устройства	4-5
5.	Расчет измерительного устройства на точность и уточнение ТУ на изготовление; описание работы и настройки прибора на точность; выводы.	5-6
Графическая часть		
1.	Графики ФПДМ, ФПТМ и ошибки схемы (0.5 листа А1)	7-8
2.	Сборочный чертеж конструкции измерительного преобразователя – эскизный проект (0.5 листа А1)	9
3.	Сборочный чертеж измерительного устройства – технический проект (1 лист А1)	10-11
4.	Рабочий чертеж детали преобразователя (0,5 листа А1)	12

5. РАБОТА С ЛИТЕРАТУРОЙ

В конце пояснительной записки студент дает перечень использованной литературы, согласно ссылок на нее в тексте проекта.

В значительной степени успешное выполнение курсовой работы зависит от умения студента работать с литературой и осуществлять ее поиск.

Продолжение таблицы 4

Составляющая КО параметра					Предельная суммарная КО параметра		Предельная суммарная КО механизма
КВ	Предельное значение $\Delta_{\text{lim}} \ddot{\psi} = K_i \Delta \ddot{\psi}$	Закон распределения	$\Delta \ddot{\psi}$ при P=95%	$\sigma_{\ddot{\psi}}$ при P=95%	$\Delta_i = \sum_{j=1}^m \Delta \ddot{\psi}_j$	$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sigma_{\ddot{\psi}_j}^2}$	$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 + 2 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}}$
11	12	13	14	15	16	17	18

3.9. Корректировка технических требований на изготовление и сборку механизма ИП

После проведения расчетов на точность преобразователя и учитывая результаты оптимизации отдельных параметров преобразователя, изменение конструкции рычагов, изменение посадок, введение компенсаторов, введение силового замыкания т.п. разрабатывается технический проект преобразователя.

Основой для разработки технического проекта служит эскизный проект, который уточняется по значениям допусков на отдельные параметры и изменяется по результатам расчета на точность. Технический проект выполняется на листе формата А1 согласно всем требованиям ЕСКД. На поле чертежа технического проекта в местах, установленных ЕСКД должны быть обязательно указаны технические требования на сборку и регулировку параметров преобразователя, которые разрабатываются согласно техническим условиям на сборку преобразователя.

3.10. Выводы

В выводах кратко делается оценка результатов конструкторской разработки в связи с поставленной перед студентом задачей. Кроме

3.7. Оптимизация параметров механизма ИП.

В предварительном расчете предельной суммарной ошибки может оказаться, что ее значение превышает допускаемую. В этом случае следует произвести оптимизацию параметров по критерию минимальной функциональной ошибки. Для этого необходимо познакомиться со следующим материалом [10 С. 91-100]; [11 С. 101-113]; [12 С. 243-251].

В качестве примера рассмотрим определение оптимальных параметров преобразователя.

Функция ошибки схемы

$$\Delta \varphi_{cx} = \arctg \left(\frac{L}{l} \operatorname{tg} \frac{z_1}{z_2} \cdot \rho \right) - 2,068 \rho = \arctg \left(\frac{L}{l} \operatorname{tg} \frac{50}{56} \cdot \rho \right) - 2,068 \rho$$

При заданных значениях $L = 95$ мм, $l = 41$ мм, $z_1 = 50$ мм, $z_2 = 56$ мм, и при $\rho = \pm \frac{\pi}{16}$.

Величина ошибки схемы при номинальных параметрах будет

$$\Delta \varphi_{cx} = \arctg \left(\frac{95}{41} \operatorname{tg} \frac{50}{56} \cdot \frac{\pi}{16} \right) - 2,068 \frac{\pi}{16} = -0,0166.$$

Для уменьшения ошибки схемы необходимо воспользоваться теорией наилучшего приближения функции.

Исходя из функции ошибки схемы приближаемой величиной можно принять отношение $\frac{L}{l}$.

1. Выбор вида и степени приближаемого полинома.

Воспользовавшись [10 С, 209]; [11 С, 257] определяем, что функции входящие в ошибку схемы (tg и $\arctg$) раскладываются по нечетным степеням и учитывая, что диапазон изменения входной величины симметричный ($\rho = \pm \frac{\pi}{16}$) для приближения выбираем полином $P_n(z)$ с диапазоном измерения $[-1; +1]$.

Согласно рекомендациям [10] с. 93 с учетом того, что число приближаемых параметров ($\frac{L}{l}$) равно единице, выбираем третью степень приближаемого полинома. Таким образом, для приближения используем полином

$$P_3(z) = z^3 - \frac{3}{4}z$$

с корнями $Z_{K1}=0$; $Z_{K2,3}=\pm 0.8660$.

2. Производим замену переменной по формуле

$$\rho_k = \frac{z_k(b-a)}{2} + \frac{a+b}{2},$$

где Z_k – корень полинома; a, b – границы диапазона изменения входной величины.

Определяем значения корней во входных величинах, тогда

$$\rho_{k1} = \frac{z_{k1}(b-a)}{2} + \frac{a+b}{2} = \frac{0\left(\frac{\pi}{16} - \left(-\frac{\pi}{16}\right)\right)}{2} + \frac{-\frac{\pi}{16} + \frac{\pi}{16}}{2} = 0,$$

$$\rho_{k2,3} = \frac{z_{k2,3}(b-a)}{2} + \frac{a+b}{2} = \frac{-0.886\left(\frac{\pi}{16} - \left(-\frac{\pi}{16}\right)\right)}{2} + \frac{-\frac{\pi}{16} + \frac{\pi}{16}}{2} = \pm 0.0554\pi$$

3. Расчет оптимальных значений параметров

Для расчета оптимальных значений параметров в функции ошибки схемы подставляем значение, например, $\rho_{k2} = 0.0554\pi$ и приравниваем ее к нулю

$$\Delta\varphi_{cx} = \arctg\left(\frac{L}{l} \operatorname{tg} \frac{z_1}{z_2} \cdot 0.0544\pi\right) - 2,068 \cdot 0.0544\pi = 0.$$

Из полученного уравнения находим оптимальное отношение $\left(\frac{L}{l}\right)_{\text{опт}} = 2.402$.

4. Определяем величину ошибки схемы при $\rho_{\text{вх}} = \frac{\pi}{16}$ и значе-

нии $\frac{L}{l} = 2.402$

$$\Delta\varphi_{\text{сх}}^I = \arctg\left(2.402 \operatorname{tg} \frac{50}{56} \cdot \frac{\pi}{16}\right) - 2,068 \cdot \frac{\pi}{16} = -0.00378.$$

Как видно величина ошибки схемы уменьшилась по сравнению с первоначальной ($\Delta\varphi_{\text{сх}} = -0,0166$) почти в 4,5 раза.

Задавшись значением, например, параметра L из условия $\left(\frac{L}{l}\right)_{\text{опт}} = 2.402$ определяют значение l . Значение L необходимо задать таким, чтобы число знаков после запятой в значениях L и l было не более двух.

Если значение ошибки схемы после оптимизации параметров пре-

считывается по предельным отклонениям случайных погрешностей отдельных источников по формуле

$$\Delta_{\text{сл}} = \sqrt{\sum (\Delta \lim ij)^2}, \quad (13)$$

где j – номер источника систематической погрешности в i -ой группе влияния.

3.8.5. Назначение и корректировка технических условий изготовления и сборки КИУ

В процессе расчета предельной погрешности КИУ использовались отклонения размерных параметров, входящих в конструкцию элементов. Отклонение размеров параметров, их относительного положения и формы, назначаемые в соответствии с действующими стандартами [4], [5], [6], [7] на этапе разработки эскизного и технического проектов, в процессе расчета на точность, подлежат корректировке, которая проводится с целью достижения требуемой точности в соответствии с условием (1).

При корректировке отклонений необходимо учитывать реальность технологического изготовления проектируемых элементов. Следует помнить, что необходимое ужесточение допусков ведет к повышению затрат на изготовление КИУ. Поэтому те предельные отклонения параметров, которые не являются источниками возникновения погрешностей, должны иметь конструктивное или технологическое обоснование.

Все сборочные чертежи КИУ и рабочие чертежи деталей после расчета на точность должны быть проверены авторами проекта на соответствие представленных допусков скорректированным расчетным данным.

Таблица 4 – Расчетных данных

Размерный параметр ФПМ				Источник погрешности				Составляющие ПО параметры	
N	i	Наименование	Обозначение в ФПМ	Размер, ед. изм.	N	j	Наименование	Обозначение	Размер, ед. изм.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
								Функция связи Δ_{ij}	Размер Δ_{ij}

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
8	Определение предельной погрешности показаний КИУ	Δ_{Σ}	$\Delta_{\Sigma} = \frac{\Delta_{\Sigma PP}}{K}$, где K – чувствительность прибора	
9	Сравнение предельной суммарной погрешности с допускаемой		$\Delta_{\Sigma} \leq [\Delta]$	Допускаемая погрешность $[\Delta]$, определяется согласно ГОСТ 8.051-81

Расчетные данные, определяемые в последовательности операций изложенных в таблице 3 снести в сводную таблицу 4 расчетных данных

3.8.4. Ориентировочный расчет суммарной погрешности КИУ по предельным значениям погрешностей отдельных источников.

В начальной стадии проектирования представляется затруднительным определение параметров $\overline{\Delta_i}$ и σ_i ввиду неопределенности закона распределения погрешностей отдельных источников и отсутствия возможностей их экспериментального определения. В этом случае, предельная погрешность КИУ принимается как сумма случайной и систематической составляющих

$$\Delta_{\Sigma PP} = |\Delta_{\Sigma}| + \Delta_{сл}, \quad (11)$$

где $|\Delta_{\Sigma}|$ – абсолютное значение систематической составляющей суммарной погрешности КИУ; $\Delta_{сл}$ – случайная составляющая предельной погрешности КИУ.

Систематическая составляющая рассчитывается как алгебраическая сумма предельных отклонений тех источников возникновения погрешностей, которые в соответствии с таблицей 2, относятся по характеру проявления к систематическим

$$\Delta_{\Sigma} = \sum \Delta \lim_{ij}, \quad (12)$$

где i – номер группы влияния; $i \in \{1, 2, 3, 4\}$; j – номер источника систематической погрешности в i-ой группе влияния.

Случайная составляющая для данного экземпляра прибора рас-

вышает допускаемое, то оптимизацию параметров следует повторить по полиному более высокой степени.

3.8. Расчет на точность механизма ИП по техническому проекту.

3.8.1. Цели и задачи расчета контрольно-измерительного устройства на точность.

Расчет на точность контрольно-измерительного устройства (КИУ) осуществляется на этапе конструкторской разработки сборочного чертежа КИУ после выполнения таких разделов как аналитический обзор аналогов разрабатываемого устройства, составление принципиальной схемы и метрологической характеристики КИУ, выполнение эскизного проекта и проработки основных узлов технического проекта с назначением технических условий на их сборку.

Расчет на точность ставит целью проверки правильности назначения технических условий на изготовление и сборку КИУ, обеспечивающих функционирование КИУ с заданной точностью.

Постановка задачи в расчете на точность КИУ состоит в следующем: спроектировать контрольно-измерительное устройство, предельная погрешность измерения которого $\Delta_{\Sigma PP}$ меньше или равна допускаемой погрешности $[\Delta]$.

Весь расчет сводится к определению величины допускаемой и предельной погрешности измерения КИУ и установления их числового соотношения

$$\Delta_{\Sigma PP} \leq [\Delta]. \quad (7)$$

3.8.2. Определение допускаемой погрешности измерения контрольно-измерительного устройства.

Исходными данными в выборе допускаемой погрешности контрольно-измерительного устройства является допуск на изготовление измеряемой детали (объекта измерения).

Выбор осуществляется согласно ГОСТ 8.051-81 (СТСЭВ 303-76) в зависимости от значения номинального размера измеряемого параметра, качества и допуска на этот параметр.

Согласно ГОСТ 8.051-81 (СТСЭВ 303-76) пределы допускаемых погрешностей колеблются от 20% (для грубых качеств) до 35% табличного допуска.

3.8.3. Определение предельной суммарной погрешности контрольно-измерительного устройства.

Для возможности системного и наиболее полного анализа конструкции КИУ необходимо представить структуру суммарной погрешности КИУ.

3.8.3.1. Структура суммарной погрешности контрольно-измерительного прибора.

Суммарная погрешность КИУ есть результат множества причин. Причины по признаку принадлежности к основным функциональным элементам КИУ удобно разбить на 4 подмножества влияющих причин (группы влияния). Это позволяет суммарную погрешность КИУ (смотри рисунок 1) представить состоящей из 4 составляющих, вызванных группами влияния:

- инструментальная погрешность Δ_1 ;
- погрешность установочной меры Δ_2 ;
- погрешность, вносимая объектом контроля Δ_3 ;
- температурная погрешность Δ_4 .

Таким образом (смотри рисунок 1) погрешность группы влияния Δ_i образуется в результате действия погрешности влияющих причин Δ_{ij} , где i – порядковый номер группы влияния; j – порядковый номер влияющей причины.

Погрешность Δ_{ij} , вызванная конкретной j -ой влияющей причиной, в свою очередь образуется вследствие действия ряда различных источников возникновения погрешностей. Например, погрешность $\Delta_{1,3}$ передаточного механизма может возникнуть в результате погрешности, вызванной неплоскостностью направляющих ($\Delta_{1,3,1}$), и одновременно вследствие погрешности, вызванной первичными ошибками рычажной передачи ($\Delta_{1,3,2}$). Погрешность отдельных источников в структурной схеме образования суммарной погрешности не представлены.

3.8.3.2. Расчет предельной суммарной погрешности контрольно-измерительного устройства.

Суммарная предельная погрешность КИУ $\Delta_{\Sigma \text{пр}}$ есть функция составляющих погрешностей, вызываемых рядом независимых источников. Поэтому она является случайной величиной, оцениваемой параметрами закона распределения случайной величины: математическим

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
2	Определение поля рассеивания погрешности	ω_i	Если δa_i вызывает Δlim_i , а $(-\delta a_i)$ вызывает $(-\Delta \text{lim}_i)$, то $\omega_i = 2\Delta \text{lim}_i$. Если δa_i вызывает Δlim_i , а $(-\delta a_i)$ вызывает Δlim , то $\omega_i = \Delta \text{lim}$.	Сборочный чертеж КИУ
3	Определение закона рассеивания погрешности		На основе рекомендации таблицы 2. На основе экспериментальных данных статистических исследований.	Таблица 2, вид источника возникновения погрешности.
4	Определение значений параметров закона распределения погрешностей отдельного источника	$\bar{\Delta}_i$ σ_i	Таблица 1.	Поле рассеивания погрешности ω_i ; закон распределения погрешности отдельного источника
5	Определение значений случайной составляющей суммарной предельной погрешности КИУ	σ_Σ	$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$	Таблица 1 – параметра законов распределения случайных величин.
6	Определение систематической составляющей суммарной предельной погрешности КИУ	$\bar{\Delta}_\Sigma$	$\bar{\Delta}_\Sigma = \sum \bar{\Delta}_i$	Таблица 1 – параметра законов распределения случайных величин.
7	Определение предельной суммарной погрешности перемещения механизма КИУ	$\Delta_{\Sigma \text{пр}}$	$\Delta_{\Sigma \text{пр}} = \bar{\Delta}_\Sigma + 2\sigma_\Sigma$	

Таблица 3 – Последовательность определения суммарной предельной погрешности механизма измерительного прибора.

№ операции	Наименование операции	Определяемая величина	Методика определения	База исходных данных
1	2	3	4	5
1	Нахождение предельного значения погрешности на выходе, вызванной действием первичной ошибки отдельного источника	$\Delta \lim_i$	$\Delta \lim_i = \delta a_i \cdot k_a$	Технические условия (ТУ) сборочного чертежа КИУ; ТУ рабочих чертежей деталей; паспортные или справочные данные унифицированных элементов КИУ; таблицы допусков размеров
1.1	Нахождение предельного значения первичной ошибки параметра, отклонение которого вызывает погрешность	δa_i	$\delta a_i = a_{i \max} - a_{i \min}$, где $a_{i \max}$, $a_{i \min}$ – предельные отклонения параметра	ГОСТ 24642-81 (СТСЭВ 301-76); ГОСТ 25347-82 (СТСЭВ 144-75); ГОСТ 24643-81 (СТСЭВ 636-77).
1.2	Определение коэффициента влияния ошибки параметра а	k_a	$k_a = \frac{dy}{da}$, где $\frac{dy}{da}$ – первая производная функции по аргументу а; у – функция преобразования измерительного сигнала.	Методы определения ошибок механизмов [8] с.52; [9] с.214.

ожиданием $\overline{\Delta_{\Sigma}}$ и дисперсией распределения σ_{Σ}^2 . С вероятностью не менее 0.95 предельная суммарная погрешность измерения КИУ рассчитывается по формуле

$$\Delta_{\Sigma/D} = |\overline{\Delta_{\Sigma}}| + 2 \cdot \sigma_{\Sigma}, \quad (8)$$

где $|\overline{\Delta_{\Sigma}}|$ – абсолютная величина математического ожидания закона распределения суммарной погрешности КИУ;

σ_{Σ} – среднеквадратическое отклонение суммарно погрешности измерения КИУ.

Математическое ожидание $\overline{\Delta_{\Sigma}}$ представляет собой систематическую составляющую суммарной случайной ошибки и определяется по формуле

$$\overline{\Delta_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^n \overline{\Delta_i}, \quad (9)$$

где $\overline{\Delta_i}$ – математическое ожидание случайной погрешности отдельного источника; n – число независимых отдельных источников возникновения погрешности.

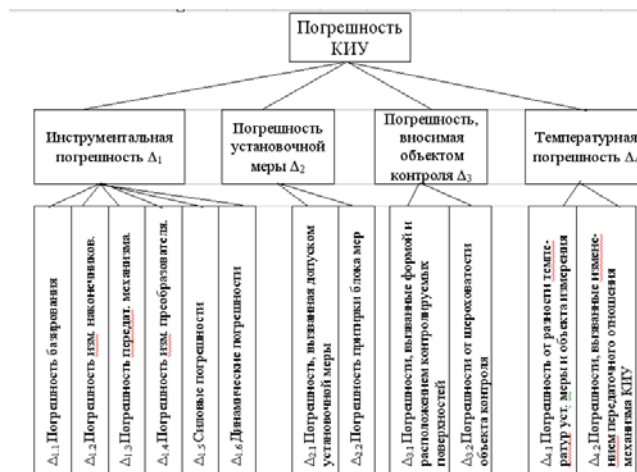


Рисунок 3 – Структура суммарной погрешности КИУ

Среднеквадратическое отклонение σ_{Σ} характеризует поле рассеивания погрешности и рассчитывается по формуле

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}, \quad (10)$$

где σ_i – среднее квадратическое отклонение отдельного независимого источника;

n – число независимых источников возникновения погрешности.

Таким образом, для расчета предельной суммарной погрешности $\Delta_{\Sigma \text{пр}}$ знать числовые значения параметров законов распределения погрешностей отдельных источников $\overline{\Delta}_i$ и σ_i .

3.8.3.3. Определение параметров закона распределения погрешностей отдельных источников.

Точную оценку закона распределения (значение параметров $\overline{\Delta}_i$ и σ_i) получают только путем эксперимента с последующей обработкой результатов.

На этапе проектного расчета пользуются сведениями руководств по прикладной статистике.

В большинстве случаев достаточно оценить какой из трех основных законов распределения (равномерный, нормальный, Релея) более соответствует данному источнику возникновения погрешности. Если погрешности не являются односторонне действующими, а располагаются симметрично относительно центра группирования, то их распределению более соответствует либо равномерный, либо нормальный законы.

Закон Релея соответствует распределению односторонне действующих погрешностей (существенно положительных или существенно отрицательных). Такие погрешности возникают, когда отклонения влияющей величины от номинала дают одинаковый эффект независимо от их направления.

Большинство технологических погрешностей распределено либо по нормальному закону, либо по промежуточному между нормальным и равномерным (композиционному закону). В частности, при массовом изготовлении закон распределения ближе к нормальному, а при индивидуальном – к равномерному.

При проектном расчете ставится задача оценить точность прибора не для отдельного измерения, а для множества измерений, т.е. статистически. Кроме того, хотя может быть изготовлен только один экземпляр прибора, при проектном расчете оценивается точность множества

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
4.	Температурная погрешность		
4.1	Погрешность от разности температур установочной меры и объекта измерения	Систематическая рандомизированная	Нормальный
4.2	Погрешность от изменения передаточного отношения механизма	Систематическая рандомизированная	Нормальный

3.8.3.4. Последовательность определения суммарной предельной погрешности механизма КИУ

Последовательность определения суммарной предельной погрешности измерительного прибора изложена в таблице 3. При этом предполагается, что разрабатываемая конструкция находится на такой стадии проектирования, когда разработаны в эскизном варианте сборочные чертежи устройства и отдельные чертежи наиболее ответственных деталей.

Первая операция (см. операция 1, таблица 3) нахождения предельного значения суммарной погрешности на выходе, вызванной действием первичной ошибки отдельного источника, предполагает знание студентом методов определения ошибок механизмов [8], [9] и умение пользоваться ГОСТами.

Излагаемая в п.п. 1.1, 1.2 последовательность предполагает использование дифференциального метода определения ошибок механизма, а следовательно, предварительный вывод функции положения механизма.

Если функция трудно выводима, можно использовать также известные методы как, например, геометрический или метод преобразованного механизма, не требующие вывода функции положения.

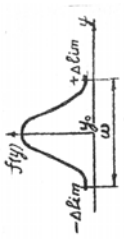
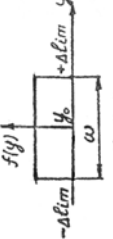
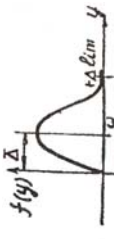
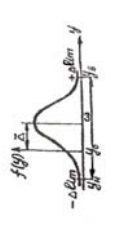
Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
1.3.3	Погрешность вызванная кинематической погрешностью зубчатых колес в пределах одного оборота	Случайная	Релея
1.3.4	Погрешность от эксцентриситета при установке угловых интервалов	Случайная	Релея
1.4	Погрешность измерительного преобразователя		
1.4.1	Погрешность срабатывания	Случайная	Нормальный
1.4.2	Погрешность настройки	Случайная	Равномерный
1.4.3	Смещение настройки	Систематическая рандомизированная	Равномерный
1.5	Силовые погрешности	По данным эксперимента или отдельной методики расчета	
1.6	Динамические погрешности	По данным эксперимента или отдельной методики расчета	
2.	Погрешность установочной меры		
2.1	Погрешность допуска или аттестации установочной меры	Систематическая	Нормальный
2.2	Погрешность притирки блока мер	Случайная	Нормальный
3.	Погрешность вносимая объектом контроля		
3.1	Погрешность вносимая формой и расположением контролируемых поверхностей	Случайная	
3.2	Погрешность от шероховатости поверхности объекта контроля	Случайная	Нормальный

приборов. Исходя из этого, большинство погрешностей, которые по своей природе являются систематическим для отдельного измерения, следует при проектном расчете считать случайными. Перевод погрешностей с класса систематических в класс случайных называется рандомизацией систематических погрешностей, а погрешность по характеру проявления – систематической рандомизированной погрешностью.

Соотношение между параметрами законов распределения случайных величин, которыми являются погрешности, вызываемые отдельными источниками представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что для определения параметров необходимо знание закона распределения погрешности отдельного источника.

Таблица 1 – Параметры законов распределения случайных величин						
Закон распределения	График функции распределения погрешности	ω_{ij}	Δ_{ij}	σ_{ij}		
				P=0,997	P=0,99	P=0,95
1	2	3	4	5	6	7
Нормальный		2 $\Delta\lim_{ij}$	0	$\frac{\Delta\lim_{ij}}{3}$	$\frac{2\Delta\lim_{ij}}{5}$	$\frac{\Delta\lim_{ij}}{2}$
Равной вероятности (равномерный)		2 $\Delta\lim_{ij}$	0	$\frac{2\Delta\lim_{ij}}{3.5}$	$\frac{2\Delta\lim_{ij}}{3.4}$	$\frac{2\Delta\lim_{ij}}{3.3}$
Релея		$\Delta\lim_{ij}$	$\frac{2\Delta\lim_{ij}}{2.8}$	$\frac{\Delta\lim_{ij}}{5.2}$	$\frac{\Delta\lim_{ij}}{4.6}$	$\frac{\Delta\lim_{ij}}{3.6}$
Композиционный		2 $\Delta\lim_{ij}$	$\frac{Y_H + Y_B}{2}$	$\frac{2\Delta\lim_{ij}}{5.0}$	$\frac{2\Delta\lim_{ij}}{4.5}$	$\frac{2\Delta\lim_{ij}}{3.7}$

На этапе проектного расчета, когда экспериментальные исследования прибора не могут быть проведены, т.к. прибора еще нет, можно руководствоваться таблицей 2, составленной на основании рекомендации, полученных по результатам исследований на множестве различных видов механизмов приборов [2]. Из таблицы 2 можно установить ориентировочное соответствие между видом источника возникновения погрешности и законом ее распределения. Таким образом, определение параметров закона распределения погрешностей отдельных источников сводится к последовательности операций, изложенных в таблице 3.

Таблица 2 – Законы распределения случайной составляющей величины погрешности отдельных источников

№ погрешности	Источник возникновения погрешности по группам влияния	Характер проявления погрешности.	Законы распределения случайной величины.
1	2	3	4
1.	Инструментальная погрешность		
1.1	Погрешность базирования	Систематическая рандомизированная	Нормальный
1.2	Погрешность измерительных наконечников	Систематическая рандомизированная	Композиционный
1.3	Погрешность передаточного механизма		
1.3.1	Погрешность рычажных передач		
	ошибка схемы	Систематическая рандомизированная	Релея
	погрешность длины рычага	Случайная	Нормальный
	погрешность начального положения	Случайная	Нормальный
	перекос рабочей плоскости	Случайная	Релея
	смещение центра вращения	Случайная	Равномерный
	погрешность формы контактирующего элемента	Случайная	Равномерный
1.3.2	Погрешность направляющих	Случайная	Нормальный