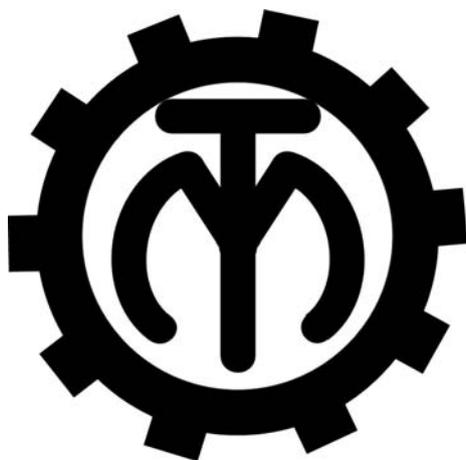


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов направлений подготовки
23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»
и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
очной формы обучения*



Могилев 2022

УДК 531.7: 658.562
ББК 30.10: 65.9
М54

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «24» января 2022 г.,
протокол № 7

Составитель канд. техн. наук, доц. Е. Н. Антонова

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Методические рекомендации предназначены для выполнения курсовой работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация», рассмотрены тематика, объем и содержание курсовой работы, приведены примеры расчета задач и оформления графической части работы.

Учебно-методическое издание

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать. . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2022

Содержание

1	Исходные данные и содержание курсовой работы.....	4
1.1	Исходные данные.....	4
1.2	Содержание курсовой работы.....	4
2	Методические указания к выполнению курсовой работы.....	7
2.1	Допуски цилиндрических зубчатых колес.....	7
2.2	Расчет и выбор посадок.....	10
2.3	Расчет и выбор посадок подшипников качения.....	12
2.4	Выбор универсальных измерительных средств.....	13
2.5	Расчет размерной цепи.....	13
2.6	Оценка результатов групповых измерений.....	14
	Список литературы.....	27
	Приложение А.....	28
	Приложение Б.....	31
	Приложение В.....	36

1 Исходные данные и содержание курсовой работы

1.1 Исходные данные

Основной задачей при выполнении курсовой работы является закрепление знаний, полученных студентами в процессе изучения курса «Метрология, стандартизация и сертификация», развитие навыков в применении теоретических знаний для решения практических задач по расчету и нормированию точности узлов машин, их деталей, умение пользоваться справочной литературой.

Студент выполняет курсовую работу по заданию, выданному преподавателем.

1.2 Содержание курсовой работы

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка печатается на принтерных устройствах ЭВМ на листах формата А4, высота шрифта 14 pt в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

Первым листом пояснительной записки является лист с основной надписью, определяющий содержание записки, выполненной по форме ГОСТ 2.104–68. Все последующие листы выполняются с основной надписью 2а того же ГОСТа. В графу 2 основной надписи записывается код (обозначение) документа, например КР.191.051352.00 ПЗ (КР – курсовая работа, 191 – номер группы, 191352 – шифр, 00 – номер по порядку листа графической части, ПЗ – пояснительная записка).

Слово «Содержание» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной буквы с абзаца 15 мм.

Расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строки – не менее 3 мм.

Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм.

Текст записки разделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей записки, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацевого отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и подраздела разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится (например, раздел 1, подраздел 1.1).

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Заголовки следует писать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела составляет 8 мм или 1 межстрочный интервал. Ширина строк – 8 мм.

Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него. Слово «где» пишется с абзаца 15 мм.

Пример – Верхнее предельное отклонение ES рассчитывается по формуле

$$ES = D_{\max} - D,$$

где D_{\max} – наибольший предельный размер детали, мм;

D – номинальный размер детали, мм.

Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после ссылки и располагают следующим образом:

Рисунок 1 – Схема размерной цепи.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблицы в соответствии с таблицей 1.1.

Таблица 1.1 – Допуски и допускаемые погрешности измерений деталей

В миллиметрах

Св. 3 до 6	0,030	0,008
Св. 6 до 10	0,036	0,009

Таблицы слева и справа, снизу и сверху ограничивают линиями. Линии формата не могут служить линиями таблицы. Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблицу в зависимости от ее размера помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее или на следующей странице.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны документа на отдельной странице.

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки правой части таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в правой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Графу «Номер по порядку» в таблицу включать не допускается.

Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут «Продолжение таблицы» с указанием номера таблицы в соответствии с рисунком 1. Слово «Таблица» в тексте пишется без сокращений.

Если все показатели в графах таблицы выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа, а при делении таблицы на части – над каждой ее частью в соответствии с таблицей 1.

Последним листом должен быть лист «Список литературы», содержащий перечень литературы, используемой при выполнении курсовой работы.

Расчетная часть ПЗ должна включать следующие разделы:

- 1) один вопрос по стандартизации (по указанию консультанта);
- 2) расчет и нормирование точности зубчатой (червячной) передачи;
- 3) расчет и нормирование точности гладких цилиндрических соединений, включающих расчет и выбор посадок: для соединений, образованных переходными посадками, и для соединений подшипникового узла (объект расчета назначает консультант);
- 4) выбор универсальных измерительных средств (объект измерения назначает консультант);
- 5) расчет допусков, входящих в размерные цепи (исходное звено указывает консультант);
- 6) оценка результатов групповых измерений.

Текст и расчеты ПЗ должны быть достаточным образом иллюстрированы схемами и таблицами. Объем ПЗ не должен превышать 25 листов формата А4.

В графической части курсовой работы необходимо выполнить (по согласованию с консультантом):

- 1) рабочий чертеж зубчатого (червячного) колеса (формат А3 или А4);
- 2) чертеж поперечного разреза шпоночного соединения (вал – шпонка – колесо) с указанием выбранных посадок по заданному типу шпоночного соединения (нормальное, плотное или свободное), поперечный разрез вала и колеса с указанием точности размеров шпоночного паза и требованиями к взаимному расположению сторон паза. Схемы полей допусков двух-трех посадок, выбранных при расчете (формат А4);
- 3) эскизы подшипникового узла и его деталей: вала, распорной втулки, корпуса, крышки с указанием технических требований к посадочным поверхностям соответствующих деталей, а также схемы расположения полей допусков выбранных посадок по наружному и внутреннему диаметру подшипника (формат А3);

4) сборочный чертеж редуктора со схемой конструкторской размерной цепи, с указанием результатов расчета (формат А4).

Примеры оформления графической части работы приведены на рисунках В.1–В.4.

2 Методические указания к выполнению курсовой работы

2.1 Допуски цилиндрических зубчатых колес

2.1.1 Исходные данные.

Из индивидуального задания выписать исходные данные зубчатой передачи: числа зубьев зубчатых колес Z_1 и Z_2 , окружную скорость V , модуль m .

Рассчитать геометрические параметры зубчатой передачи:

– делительный диаметр колеса Z_1

$$d_1 = m Z_1; \quad (2.1)$$

– делительный диаметр колеса Z_2

$$d_2 = m Z_2; \quad (2.2)$$

– межосевое расстояние

$$a_w = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}; \quad (2.3)$$

– ширину зубчатого венца ориентировочно можно принять

$$B = (8 \dots 10)m;$$

– диаметр посадочного отверстия зубчатого колеса (номинальный диаметр для расчета посадок с зазором или натягом) ориентировочно можно принять равным

$$D \approx \frac{mZ_1}{3}. \quad (2.4)$$

Полученное значение диаметра округлить до нормального линейного размера, взятого по ГОСТ 6636–69 «Нормальные линейные размеры».

2.1.2 Назначение степеней точности зубчатой передачи.

Степень точности проектируемой зубчатой передачи в большинстве случаев устанавливается в зависимости от окружной скорости.

Для показателей, определяющих нормы кинематической точности, плавности и полноты контакта, могут назначаться как одинаковые, так и различные

степени точности, т. е. допускается их комбинирование. В курсовой работе обязательным является комбинирование степеней точности. При этом, согласно рекомендациям ГОСТ 1643–81, степень точности по норме плавности может быть на две степени выше или на одну степень грубее степени точности по кинематической точности. Степень точности полноты контакта не может быть назначена грубее степени точности по норме плавности, хотя для цилиндрических зубчатых передач допускается степень на одну грубее.

Для средних и высокоскоростных передач степень точности по норме плавности целесообразно назначать более высокой, чем по кинематической точности.

В зависимости от окружной скорости зубчатые передачи делятся на:

- тихоходные, работающие при скоростях $V = 0,5...3$ м/с;
- среднескоростные – при скоростях свыше 3 м/с до 15 м/с;
- быстроходные – при скоростях свыше 15 м/с.

Учитывая изложенное выше, назначить по таблице 2.1 степень точности по норме плавности и, используя принцип комбинирования, установить степени точности, определяющие кинематическую точность и полноту контакта.

Таблица 2.1 – Зависимость степени точности по норме плавности от окружной скорости

Степень точности по норме плавности	6	7	8	9
Окружная скорость V , м/с	Св. 10 до 15	Св. 8 до 10	Св. 2 до 8	До 2
Точность отверстия по ГОСТ 25347–82 (квалитет)	6; 7	6; 7	7; 8	7; 8
Шероховатость поверхности отверстия для соединений по посадкам с зазором Ra , мкм	0,63	1,25	1,25	2,5
Шероховатость рабочей поверхности зубьев Ra , мкм	0,63	1,25	3,2	6,3

По этой же таблице определить точность посадочного отверстия, шероховатость поверхности отверстия и рабочих поверхностей зубьев.

2.1.3 Выбор вида сопряжения по боковому зазору.

Гарантированный боковой зазор – это зазор между нерабочими профилями зубьев, который необходим для размещения смазки и для компенсации изменения размеров деталей передачи от температурных деформаций.

Величину гарантированного бокового зазора для цилиндрической передачи ориентировочно можно определить следующим образом:

$$j_{n \min \text{ расч}} = V + a_w (\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2) 2 \sin \alpha, \quad (2.5)$$

где V – толщина слоя смазочного материала между поверхностями зубьев, $V = 0,01 m$ – для тихоходных передач, $V = 0,02 m$ – для среднескоростных передач.

Второе слагаемое равно нулю из-за отсутствия температурных деформаций (температура сборки и работы передачи примерно одинаковы).

По найденному значению $j_{n,\text{min.расч.}}$ и межосевому расстоянию a_w ГОСТ 1643–81 выбирают вид сопряжения по боковому зазору.

По указанному стандарту предусмотрено шесть видов сопряжений по боковому зазору A, B, C, D, E, H . Из них выбирается тот, для которого выполняется условие $j_{n,\text{min.табл.}} \geq j_{n,\text{min.расч.}}$.

2.1.4 Назначение комплексов показателей для контроля зубчатого колеса.

Для контроля зубчатого колеса Z_1 назначить комплексы в соответствии с ГОСТ 1643–81 и рекомендациями, изложенными в таблице 2.2, обеспечивающими:

- кинематическую точность;
- плавность передачи;
- полноту контакта зубьев;
- гарантированный боковой зазор.

Таблица 2.2 – Комплексы показателей для контроля зубчатых колес

Норма точности	Степень точности		
	3...8	5...8	9...12
Контрольные комплексы			
Кинематическая точность	или F'_{ir} ; или F_{cr} и F_{rr} ; или F_{vwr} и F_{rr} ; или F_{pkr} и F_{pr} для 3...6 степеней точности	или F_{vwr} и F''_{ir} ; или F_{cr} и F''_{ir} ; или F_{pr} для 7, 8 степеней точности	или F''_{ir} ; или F_{rr} ;
Плавность работы	или f''_{ir} ; или f_{zsr} ; или f_{pbr} и f_{fr} ; или f_{pbr} и f_{ptr}	f''_{ir}	или f''_{ir} ; или f_{pbr} ; или f_{ptr}
Контакт зубьев	или $F_{\beta r}$; или F_{kr} ; или суммарное пятно контакта		
Боковой зазор	или E_{ns} и T_n ; или E_{wms} и T_{wm} ; или E_{wr} и T_w ; или E_{cs} и T_c ; или E''_{as} и $-E''_{ai}$ (каждый из комплексов назначается в зависимости от вида сопряжения и степени точности по норме плавности)		

Для обеспечения оптимального варианта выбора комплексов необходимо руководствоваться рекомендациями [1].

Выписать из ГОСТ 1643–81 допуски на выбранные показатели.

Используя справочную литературу [10], выбрать приборы для контроля показателей точности зубчатого колеса.

Выбранные показатели, допуски на них, наименования и модели приборов свести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели и приборы для контроля зубчатого колеса

Норма точности	Наименование и условное обозначение контролируемого параметра	Условное обозначение и численное значение допусков, мм	Наименование и модель прибора
1 Кинематическая точность			
2 Плавность работы			
3 Контакт зубьев			
4 Боковой зазор			
Пример заполнения граф таблицы			
1 Кинематическая точность	1 Колебание длины общей нормали F_{vw} 2 Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса F_{ir}''	$F_{vw} = 0,050$ $F_{ir}'' = 0,035$	Нормалемер индикаторный БВ 6045 Межцентромер МЦМ-400

Рассчитать длину общей нормали по формуле

$$W = m \cdot W_1, \quad (2.6)$$

где W_1 – длина общей нормали для зубчатого колеса с $m = 1$ мм.

Значения W_1 взять из таблиц справочника [4]. По ГОСТ 1643–81 выбрать предельные отклонения на длину общей нормали.

В соответствии с рекомендациями, изложенными в [1], определить допуски диаметра наружного цилиндра, радиального биения наружного цилиндра, торцового биения базового торца.

2.1.5 Оформление рабочего чертежа зубчатого колеса.

Рекомендации по оформлению рабочего чертежа зубчатого колеса приведены в [2] и ГОСТ 2.403–75.

Рабочий чертеж выполняется на листе формата А3 или А4 (см. рисунок В.1), форма колеса принимается из сборочного чертежа задания.

2.2 Расчет и выбор посадок

Расчет и выбор посадок разъемных неподвижных соединений с дополнительным креплением.

Расчет разъемных соединений, образованных переходными посадками, производится исходя из условий:

- обеспечение высокой точности центрирования зубчатого колеса на валу;
- обеспечение легкой сборки и разборки соединения.

Сочетать высокую точность центрирования с относительной легкостью сборки и разборки соединения можно только при небольших натягах или зазорах в нем.

Хорошее центрирование зубчатого колеса на валу необходимо для обеспечения высокой кинематической точности передачи, ограничения динамических нагрузок и т. д. Известно, что наличие зазора в сопряжении за счет одностороннего смещения вала в отверстии вызывает появление радиального биения зубчатого венца колеса, определяющего кинематическую точность.

В этом случае наибольший допустимый зазор, обеспечивающий первое условие, может быть определен по формуле

$$S_{\max} \leq \frac{F_r}{K_T}, \quad (2.7)$$

где F_r – допуск радиального биения зубчатого (червячного) венца;

K_T – коэффициент запаса точности, $K_T = 2 \dots 5$.

Легкость сборки и разборки соединения определяется наибольшим предельным натягом, величина которого рассчитывается по формуле

$$N_{\max} = S_{\max} \frac{3 - Z}{3 + Z}, \quad (2.8)$$

где Z – аргумент ($Z = \bar{X}/S$), отвечающий функции Лапласа $\Phi_0(Z) = P_\Delta - 0,5$ [4, приложение 11];

P_Δ – вероятность получения зазора в соединении, выбирается в зависимости от преобладания требований к одному из условий, предъявляемых к соединению.

По рассчитанным S_{\max} и N_{\max} из ГОСТ 25347–82 выбирается переходная посадка, предельные значения $S_{\max T}$ и $N_{\max T}$ которой не превышали бы расчетных.

Для обеспечения неподвижности зубчатых колес с валами обычно применяют призматические шпонки. Работоспособность шпоночных соединений определяется в основном точностью посадок по ширине шпонки (паза) b .

В этом случае ГОСТ 23360–78 предусматривает посадки, образующие нормальное, плотное и свободное соединение шпонок с пазами вала и втулки в системе основного вала. Для нормального соединения установлены поля допусков ширины шпонки b для паза на валу $N9$ и для паза во втулке J_s9 ; для плотного соединения одинаковые поля допусков для обоих пазов $P9$; для свободного соединения на валу $H9$ и во втулке $D10$. Шпонка как основной вал имеет поле допуска $h9$. Предельные отклонения указанных полей допусков соответствуют ГОСТ 25347–82.

Пример выполнения шпоночного соединения и схем полей допусков выбранных посадок представлен на рисунке В.2. Название чертежа в основной надписи «Соединение шпоночное».

2.3 Расчет и выбор посадок подшипников качения

Расчет посадок подшипников качения.

Номинальный диаметр соединения внутреннего кольца с валом назначить конструктивно на 5...10 мм меньше диаметра отверстия зубчатого колеса, рассчитанного в п. 2.1.1. По ГОСТ 8338–75, учитывая этот диаметр, выбрать радиальный шарикоподшипник и выписать его номинальные размеры D , d , B , r .

Остальные исходные данные принимаются из задания, выданного преподавателем.

По условиям работы подшипника в узле устанавливается вид нагружения наружного и внутреннего колец подшипника. Внутреннее кольцо подшипника является циркуляционно нагруженным, наружное кольцо подшипника испытывает местное нагружение.

Кольца подшипников, имеющих циркуляционное нагружение, как правило, сопрягаются по посадкам с натягом.

В работе посадки для циркуляционно нагруженного кольца подшипника выбираются по интенсивности радиальной нагрузки или по минимальному натягу. Второй метод, применяется в том случае, если расчет по интенсивности радиальной нагрузки не позволяет выбрать посадку с натягом. Методика расчета посадок по обоим методам приведена в [3]. Посадка по второму методу выбирается при соблюдении условий

$$N_{\min \text{ расч.}} \leq N_{\min \text{ табл.}}$$

Алгоритм расчета посадки по второму методу приведен в таблице Б.1.

Посадка кольца, испытывающего местное нагружение при установке в неподвижный корпус (корпус применять разъемный), выбирается, как правило, с зазором [3].

Выписать предельные отклонения размеров посадочных поверхностей вала, отверстия корпуса (ГОСТ 25347–82), внутреннего и наружного колец подшипника (ГОСТ 520–89). В зависимости от заданного класса точности и размеров подшипника установить параметры шероховатости, допуски круглости, профиля продольного сечения и торцового биения заплечиков посадочных поверхностей вала и отверстия в корпусе под подшипник по ГОСТ 3325–85.

Графическая часть выполняется на листе формата А3 или А4, где вычерчиваются схемы расположения полей допусков сопрягаемых деталей: внутреннего кольца с валом, наружного кольца с отверстием в корпусе. На этих схемах показываются S_{\max} , S_{\min} , N_{\max} , N_{\min} и их численные значения, обозначение полей допусков. На этом же листе вычертить эскизы части вала и корпуса, сопрягаемые с подшипником, обозначить шероховатость, допуски размеров, формы и распо-

ложения поверхностей. Пример оформления этого листа приведен на рисунке В.3.

Название чертежа в основной надписи «Соединение подшипниковое». Выбранные посадки обозначаются на сборочном чертеже редуктора.

2.4 Выбор универсальных измерительных средств

Выбор универсальных измерительных средств выполняется для отверстия и вала оптимальной посадки, полученной в результате выполнения задания 2.

Выбор средств измерения заключается в сравнении их предельной (наибольшей возможной) погрешности измерения Δ с допускаемой погрешностью δ , регламентированной ГОСТ 8.051–81, т. е. предельная погрешность измерений не должна превышать допускаемую погрешность

$$\pm\Delta < \delta .$$

Под допускаемой погрешностью измерения δ понимается наибольшее значение погрешности, при которой полученный в результате измерения размер может быть признан действительным. В соответствии с ГОСТ 8.051–82 допускаемая погрешность измерения составляет от 20 % до 35 % допуска на измеряемый размер. В таблице А. 4 приведены значения допусков и допускаемых погрешностей измерения.

Выбор технических средств измерения производится по их техническим характеристикам, где, наряду с основными параметрами, указаны их предельные погрешности измерений. Результаты выбора оформляют в виде таблицы 2.4.

Характеристики технических средств измерения содержатся в [2].

Таблица 2.4 – Универсальные средства измерения

Номинальный размер, поле допуска	Допуск изделия, мкм	Допускаемая погрешность измерения δ , мкм	Наименование средства измерения, модель, ГОСТ	Цена деления отсчетного устройства, мкм	Предельная погрешность измерения $\pm\Delta$, мкм
40h7	25	7	Микрометр рычажный МР–50 ГОСТ 4381–80	2	± 3

2.5 Расчет размерной цепи

Расчет размерной цепи может выполняться по трем методам согласно полученному заданию: методом максимума-минимума, теоретико-вероятностным и методом регулирования.

2.5.1 Расчет размерной цепи методом максимума-минимума.

По исходному звену A_{Δ} размерной цепи, представленной на чертеже узла, определить допуски всех составляющих звеньев. Исходные данные взять из выданного задания.

Номинальные размеры звеньев определяются по чертежу при соблюдении условия

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_{ув.} - \sum_{i=1}^n A_{ум.},$$

где m – число увеличивающих звеньев цепи;

n – число уменьшающих звеньев цепи.

Размеры подшипников принимаются по соответствующим стандартам, а допуски на них определяются по ГОСТ 520–89 в зависимости от заданного класса точности подшипника (использовать подшипники классов точности 0 или 6).

Алгоритм расчета размерной цепи методом максимума-минимума приведен в таблице Б.2.

2.5.2 Расчет размерной цепи теоретико-вероятностным методом.

По исходному звену A_{Δ} размерной цепи, представленной на чертеже заданного узла, определить допуски всех составляющих звеньев. Алгоритм расчета размерной цепи теоретико-вероятностным методом приведен в таблице Б.3.

2.5.3 Расчет размерной цепи методом регулирования.

По исходному звену A_{Δ} размерной цепи, представленной на чертеже заданного узла, определить допуски всех составляющих звеньев, рассчитать необходимое количество прокладок для обеспечения заданной точности замыкающего звена. Алгоритм расчета размерной цепи методом регулирования приведен в таблице Б.4.

Таблица стандартных допусков и примеры расчетов по всем методам приведены в [1, 2].

В графическую часть задания входит сборочный чертеж редуктора. На сборочном чертеже проставляются размеры составляющих звеньев с рассчитанными предельными отклонениями, посадками зубчатого колеса с валом (задача 2), подшипника с валом и корпусом (задача 3). Пример оформления этого листа приведен на рисунке В.4.

2.6 Оценка результатов групповых измерений

2.6.1 Анализ результатов измерений контролируемого параметра на наличие грубых ошибок.

Оценка результатов групповых измерений выполняется по различным критериям в зависимости от количества измерений.

Проверяемая гипотеза состоит в утверждении, что результат измерений x_i не содержит грубой погрешности, а является одним из значений случайной ве-

личины. Обычно проверяют наибольшее и наименьшее значения результатов измерений. Для проверки гипотез используются следующие критерии.

1 Если число измерений $n \leq 10$, то используется *критерий Шовине*. В этом случае грубой ошибкой (промахом) считается результат X_i , если разность $|\bar{X} - X_i|$ превышает значения σ_x , определяемые в зависимости от числа измерений:

$$|\bar{X} - X_i| > 1,6\sigma_x \text{ при } n = 3;$$

$$|\bar{X} - X_i| > 1,7\sigma_x \text{ при } n = 6;$$

$$|\bar{X} - X_i| > 1,9\sigma_x \text{ при } n = 8;$$

$$|\bar{X} - X_i| > 2,0\sigma_x \text{ при } n = 10,$$

где σ_x – среднеквадратическое отклонение (СКО), при $n < 20$ определяемое по формуле

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad (2.9)$$

где n – число измерений.

2 *Критерий Романовского, или критерий оценки аномальности результатов измерений при неизвестном СКО*, используемый при числе измерений $10 < n < 20$. При этом вычисляют отношение

$$\beta = \left| \frac{\bar{X} - X_i}{\sigma_x} \right|, \quad (2.10)$$

где X_i – i -е значение результатов измерений;

\bar{X} – среднее арифметическое значение результатов измерений;

σ_x – среднеквадратическое отклонение.

Среднее арифметическое значение результатов измерений

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (2.11)$$

Полученное значение β сравнивают с табличным β_T (таблица 2.5) при выбранном уровне значимости q . Уровень значимости – это вероятность отвергнуть верную гипотезу при статической проверке гипотезы. При обработке результатов обычно принимается уровень значимости q в пределах 0,05...0,1.

Таблица 2.5 – Предельные значения коэффициента β_T

Уровень значимости q	Число измерений								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,100	1,15	1,42	1,60	1,73	1,83	1,91	1,98	2,03	2,09
0,075	1,15	1,44	1,64	1,77	1,88	1,96	2,04	2,10	2,14
0,050	1,15	1,46	1,67	1,82	1,94	2,03	2,12	2,18	2,23
0,025	1,15	1,48	1,72	1,89	2,02	2,13	2,21	2,29	2,36

Продолжение таблицы 2.5

Уровень значимости q	Число измерений								
	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,100	2,13	2,17	2,21	2,25	2,28	2,31	2,34	2,36	2,38
0,075	2,20	2,24	2,28	2,32	2,35	2,38	2,41	2,44	2,46
0,050	2,29	2,33	2,31	2,41	2,44	2,48	2,50	2,53	2,56
0,025	2,41	2,41	2,50	2,55	2,58	2,62	2,66	2,68	2,71

3 Критерий 3σ – наиболее распространенный. Он используется, когда количество измерений $n \geq 20 \dots 50$. В этом случае считается, что результат, полученный с вероятностью $P = 0,003$, маловероятен и его можно квалифицировать как промах, т. е. сомнительный результат X_i должен быть исключен из измерений, если

$$|\bar{X} - X_i| > 3\sigma_x.$$

Пример 1. При измерении отверстия $\varnothing 20H13^{(+0,33)}$ получены следующие результаты: 20,32; 20,18; 20,26; 20,21; 20,28; 20,42 мм. Необходимо проверить, является ли размер 20,42 мм промахом.

Решение

Поскольку число измерений $n = 6$, применяется критерий Шовине.

Среднее арифметическое значение результатов измерений рассчитываем по формуле (2.11):

$$\bar{X} = \frac{20,32 + 20,18 + 20,26 + 20,21 + 20,28 + 20,42}{6} = 20,28.$$

По формуле (2.9) найдем СКО:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{0,04^2 + (-0,1)^2 + (-0,02)^2 + (-0,07)^2 + (-0,14)^2}{6-1}} = 0,14.$$

$$|\bar{X} - X_i| = |20,28 - 20,42| = 0,14 < 11,7 \sigma_x.$$

Это значит, что хотя результат и выходит за заданный предельно допустимый размер, его нельзя считать промахом. Поэтому деталь следует забраковать.

Пример 2. При измерении вала $\varnothing 40h12_{(-0,25)}$ получены следующие результаты в миллиметрах (таблица 2.6).

Таблица 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
39,72	39,75	39,76	39,8	39,82	39,82	39,83	39,85	39,87	39,88

Продолжение таблицы 2.6

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
39,88	39,90	39,91	39,92	39,92	39,93	39,94	39,96	39,98	39,96	39,99

Поскольку результат измерения 39,72 выходит за пределы наименьшего предельного размера, и деталь может быть забракована, следует определить, не является ли этот размер промахом.

Решение

Поскольку число измерений превышает 20, применяется критерий 3σ . После обработки результатов измерений по формулам (2.11) и (2.9) получаем

$$\bar{X} = 39,91 \text{ мм}; \sigma_x = 0,12,$$

тогда $3\sigma_x = 3 \cdot 0,12 = 0,36$.

$$|\bar{X} - X_i| = |39,91 - 39,72| = 0,19 < 0,36.$$

Следовательно, результат измерения 39,72 мм не может быть признан промахом и деталь должна быть забракована.

Пример 3. При измерении сопротивления резистора получена упорядоченная выборка пяти значений: 180; 182; 183; 184; 196 Ом. Необходимо оценить результат измерения 196 Ом при заданном уровне значимости ошибки $q = 0,05$ по критерию Романовского.

Решение

Рассчитываем среднее арифметическое результатов измерений и СКО по формулам (2.11) и (2.9): $\bar{X} = 185,0$ Ом; $\sigma_x = 6,3$ Ом.

Определяем отношение β для крайнего значения ряда измерений:

$$\beta_5 = \left| \frac{X_5 - \bar{X}}{\sigma_x} \right| = \left| \frac{196 - 185}{6,3} \right| = 1,75.$$

При $q = 0,005$ и $n = 5$ по таблице 6 определяем значение $\beta_T = 1,67$. Так как $\beta_5 = 1,75$, $\beta_T = 1,67$ и $1,75 > 1,67$, то результат 196 Ом считаем промахом и исключаем из выборки.

Пример 4. Проверить результаты 18 измерений сопротивления резистора, представленные в таблице 8 на наличие грубых погрешностей.

Таблица 2.7 Результаты измерений

R_i	8,619	8,380	8,498	8,484	8,340	8,526	8,394	8,641	8,420
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Продолжение таблицы 2.7

R_i	8,553	8,522	8,408	8,283	8,494	8,399	8,561	8,551	8,669
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Решение

Упорядочим результаты измерений по возрастанию и введем их нумерацию, оформим в виде таблицы 2.8.

Таблица 2.8 – Упорядоченные результаты измерений

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_i	8,283	8,340	8,380	8,394	8,399	8,408	8,420	8,484	8,494

Продолжение таблицы 2.8

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
R_i	8,498	8,522	8,526	8,551	8,553	8,561	8,619	8,641	8,669

Проверяем, не относятся ли минимальное значение R_1 и максимальное R_{18} к грубым погрешностям. Для этого вычисляем среднее арифметическое и СКО результатов измерений: $\bar{X} = 8,486$ Ом; $\sigma_x = 0,106$ Ом.

Определяем отношение β для крайних значений ряда измерений β_1 и β_{18} .

$$\beta_1 = \left| \frac{X_1 - \bar{X}}{\sigma_x} \right| = \left| \frac{8,283 - 8,486}{0,106} \right| = 1,903;$$

$$\beta_{18} = \left| \frac{X_{18} - \bar{X}}{\sigma_x} \right| = \left| \frac{8,669 - 8,486}{0,106} \right| = 1,721.$$

Задаемся уровнем значимости ошибки $q = 0,1$. При $n = 18$ табличное значение $\beta_T = 2,34$. Так как $\beta_1 = 1,903$, $\beta_T = 2,34$, $1,903 < 2,34$ и $\beta_{18} = 1,712$, $\beta_T = 2,34$, $1,712 < 2,34$, то результаты измерений R_1 и R_{18} не являются грубыми ошибками (промахами), следовательно, все остальные результаты измерений также не являются промахами.

2.6.2 Оценка случайных погрешностей при проведении измерений.

Среднее значение \bar{X} измеряемой величины X_i является случайной величиной и, следовательно, отличается от нее на некоторую *абсолютную погрешность* Δ , которая для каждого измерения определяется разностью:

$$\Delta_i = X_i - \bar{X}. \quad (2.12)$$

В связи с этим практический интерес представляет определение *доверительных границ* погрешности результата измерений, или доверительного интервала, в котором с заданной *доверительной вероятностью* P находится измеряемая величина.

Границы доверительного интервала определяются по условию

$$X = \bar{X} \pm \overset{\circ}{\Delta}, \quad (2.13)$$

где $\overset{\circ}{\Delta}$ – случайная погрешность измерений,

$$\overset{\circ}{\Delta} = \frac{\sigma_x \cdot t_p}{\sqrt{n}}, \quad (2.14)$$

где t_p – коэффициент, определяемый по таблице распределения Стьюдента (таблица А.1) при $n \leq 30$ при заданной доверительной вероятности P и $k = n - 1$, называемым *числом степеней свободы*.

Результат измерений (границы доверительного интервала) в этом случае записывают как

$$\bar{X} - \overset{\circ}{\Delta} \leq \bar{X} \leq \bar{X} + \overset{\circ}{\Delta}, \quad P = \dots$$

Пример 5. При многократном измерении вала получены следующие результаты размера d в миллиметрах: 49,72; 49,74; 49,79; 49,80; 49,82. Определить доверительный интервал результатов измерений с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

Решение

Определяем среднее арифметическое измеренных значений \bar{X} и σ_x :

$$\bar{X} = (49,72 + 49,74 + 49,79 + 49,80 + 49,82) / 5 = 49,78.$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(-0,06)^2 + (-0,04)^2 + 0,01^2 + 0,02^2 + 0,04^2}{5-1}} = 0,04.$$

При вероятности $P = 0,95$ и числе степеней свободы $k = 5 - 1 = 4$ коэффициент Стьюдента по таблице А.1 $t_p = t_{0,95} = 2,77$.

Граница доверительного интервала, определяемая случайной погрешностью:

$$\Delta = \frac{2,77 \cdot 10,04}{\sqrt{5}} = 0,05.$$

$$49,78 - 0,05 \leq \bar{X} \leq 49,78 + 0,05.$$

Результат измерения записываем в следующем виде:

$$9,73 \leq \bar{X} \leq 49,83, \quad P = 0,95.$$

Это означает, что истинное значение измеряемого размера с вероятностью 0,95 находится в пределах от 49,73 до 49,83 мм при заданном числе измерений.

2.6.3 Определение требуемого минимального количества измерений.

Минимальное количество измерений определяется по зависимости

$$n_{\min} = \frac{\nu^2 \cdot t_p^2}{k^2}, \quad (2.15)$$

где ν – коэффициент вариации;

t_p – коэффициент Стьюдента при заданной вероятности;

k – коэффициент, показывающий долю предельной ошибки от средней арифметической величины (показатель точности измерений).

Коэффициент вариации

$$\nu = \frac{\sigma_x}{\bar{X}}. \quad (2.16)$$

2.6.4 Оценка достоверности групповых неравноточных измерений при операционном и приемочном контроле качества.

Неравноточными называются измерения одной и той же физической величины, выполняемые с различной точностью, в различных условиях, разными измерительными средствами.

Для оценки результатов неравноточных измерений рассчитывается *весовая характеристика* g_i каждой из серии равноточных наблюдений

$$g_i = \frac{n_i}{\sigma_i^2}, \quad (2.17)$$

где n_i – объем i -й серии равноточных измерений;

σ_i – дисперсия i -й серии равноточных измерений.

Среднеквадратическое отклонение при $n \geq 20$:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}. \quad (2.18)$$

Наиболее вероятное значение величины неравноточного наблюдения определяется по формуле

$$X_n = \frac{\sum g_i \cdot \bar{X}}{\sum g_i}, \quad (2.19)$$

где \bar{X} – среднее арифметическое ряда равноточных наблюдений с результатами $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m$.

Результаты расчета по выше приведенным формулам оформляются в виде таблицы.

2.6.5 Проверка соответствия экспериментальных данных нормальному закону распределения.

При статической обработке результатов измерений особую роль играет проверка соответствия распределения случайных величин нормальному закону, которому чаще всего подчиняются результаты большинства случайных измерений, что необходимо для обоснованного выбора доверительных границ результатов измерений. В наибольшей степени этой цели соответствует *критерий Пирсона χ^2* , который применяется при количестве измерений свыше 40.

Обычно принимается следующий порядок решения задачи.

1 Все результаты измерений анализируются и определяются границы диапазона разброса, т. е. минимальное $X_{i \min}$ и максимальное $X_{i \max}$ из всех измеренных значений. Затем рассчитывается зона разброса результатов (размах) R :

$$R = X_{i \max} - X_{i \min}. \quad (2.20)$$

Далее весь диапазон распределяют на r интервалов равной длины.

Длина интервала

$$\Delta X = R / r, \quad (2.21)$$

где r – число интервалов, выбирается в зависимости от числа измерений n исходя из соотношений: при $n = 40 \dots 100$ $r = 7 \dots 9$, а при $n = 100 \dots 500$ $r = 8 \dots 12$.

Определение границ r_i интервалов производится путем последовательного прибавления к минимальному результату измерения расчетной длины интервала:

$$X_1 = X_{\min} + \Delta X; \quad X_2 = X_1 + \Delta X; \quad X_n = X_{n-1} + \Delta X \quad \text{и т. д.}$$

2 Определяют среднее значение каждого интервала X_{io} .

3 Для каждого интервала подсчитывают число измерений в интервале – экспериментальные частоты m_i , равные количеству результатов из всей выборки, лежащих в i -м интервале.

4 Определяют частоту появления величин P_i в каждом интервале:

$$P_i = m_i / n, \quad (2.22)$$

где n – общее количество измерений выборки.

5 Строят гистограмму распределения величины X_i , откладывая по оси абсцисс результаты наблюдений в виде интервалов ΔX_i в порядке возрастания индекса i , а по оси ординат – оценку средней плотности распределения p_i случайной величины X_i в каждом интервале ΔX_i , получая тем самым прямоугольник высотой p_i .

Оценка средней плотности распределения p_i случайной величины X_i :

$$p_i = P_i / \Delta X_i = m_i / n \cdot \Delta X_i. \quad (2.23)$$

При построении гистограммы масштабы по осям рекомендуется принимать так, чтобы отношение ее высоты к основанию составляло 5:8.

6 Соединяя середины отрезков, получают полигон распределения, что дает возможность с большей долей вероятности подобрать соответствующую кривую распределения.

Предположение о соответствии распределения случайных величин нормальному закону должно быть подтверждено по критериям согласия. При количестве измерений свыше 40 применяется критерий согласия Пирсона χ^2 . При этом возможны два вида ошибок. Ошибка первого рода состоит в том, что в силу случайного характера результатов измерений отвергают верную гипотезу. Вероятность ошибки первого рода называют уровнем значимости q :

$$q = 1 - \alpha, \quad (2.24)$$

где α – уровень доверительной вероятности, выбирается в пределах 0,05...0,10.

Принимая неверную гипотезу, совершают ошибку второго рода q_1 , значение которой колеблется в пределах 0,95...0,9 соответственно. Физический смысл которой состоит в том, что принимают ошибочное решение о несоответствии распределения случайной величины X_i выбранному теоретическому распределению.

Проверка гипотезы по критерию согласия Пирсона χ^2 .

1 Определяют среднее арифметическое значений всех измерений \bar{X} .

2 Статистическое среднеквадратичное отклонение

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_{io} - \bar{X})^2 m_i}{n - 1}}. \quad (2.25)$$

3 Нормированное отклонение от среднего арифметического z_i для каждого интервала:

$$z_i = \frac{X_{io} - \bar{X}}{S_x}. \quad (2.26)$$

4 По справочной таблице А.2 для каждого интервала определяется значение функции плотности вероятностей для нормального закона $f(z_i)$.

5 Плотность в серединах интервалов

$$f^*(z_i) = \frac{f(z_i)}{S_x}. \quad (2.27)$$

6 Теоретическая частота

$$N_i = n \cdot \Delta X \cdot f^*(z_i). \quad (2.28)$$

7 Интегральная функция χ^2 – распределение Пирсона или показатель разности частот для каждого интервала

$$\chi_i^2 = \frac{(m_i - N_i)^2}{N_i}. \quad (2.29)$$

8 Определяют суммарное значение интегральной функции χ^2 всех интервалов:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \chi_i^2. \quad (2.30)$$

9 Определяют число степеней свободы:

$$k = r - 3. \quad (2.31)$$

где r – количество интервалов, с учетом того, что, если в интервале оказывается менее пяти измерений, его объединяют с соседним.

10 Задавая уровень значимости q (от 0,05 до 0,1) находят по таблице интегральной функции распределения $\chi^2_{k,p}$ два граничных значения, причем первое определяется при $P = q / 2$, а второе при $P = 1 - q / 2$, т. е. $\chi^2_{k; \frac{q}{2}}$ и $\chi^2_{k; 1 - \frac{q}{2}}$

(таблица А.3).

Если расчетное значение χ^2 оказывается в найденных пределах, то распределение результатов принимают нормальным.

Пример 6. При измерении плотности грунта было сделано 80 измерений (таблица 2.9), причем все они оказались лежащими в диапазоне 1,55...1,77, т. е. зона разброса результатов (размах) составляет

$$R = 1,77 - 1,55 = 0,22 \text{ г/см}^3.$$

Таблица 2.9 – Результаты измерений плотности грунта

Результат измерений плотности грунта, г/см ³																
Номер измерений	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1,74	1,55	1,74	1,6	1,58	1,7	1,64	1,65	1,75	1,68	1,66	1,55	1,69	1,68	1,58	1,62
2	1,65	1,74	1,56	1,69	1,56	1,7	1,72	1,68	1,58	1,62	1,66	1,77	1,72	1,65	1,66	1,58
3	1,63	1,73	1,7	1,72	1,58	1,57	1,61	1,71	1,62	1,55	1,73	1,71	1,71	1,56	1,57	1,61
4	1,73	1,65	1,69	1,58	1,7	1,68	1,7	1,57	1,71	1,61	1,73	1,56	1,73	1,68	1,71	1,63
5	1,63	1,6	1,69	1,68	1,64	1,72	1,65	1,7	1,76	1,55	1,64	1,55	1,6	1,6	1,59	1,59

В этом случае весь диапазон целесообразно распределить на 10 интервалов равной длины ΔX .

$$\text{Длина интервала } \Delta X = 0,22/10 = 0,022 \text{ г/см}^3.$$

Определяем границы X_i интервалов путем последовательного прибавления к минимальному результату измерения расчетной длины интервала.

$$X_1 = 1,55 + 0,022 = 1,572; \quad X_2 = 1,572 + 0,022 = 1,594;$$

$$X_3 = 1,594 + 0,022 = 1,616; \quad X_4 = 1,616 + 0,022 = 1,638 \text{ и т. д.}$$

Границы интервалов заносим в таблицу 2.10, в которой проводятся дальнейшие расчеты среднего значения всех измерений \bar{X} , среднего значения каждого интервала X_{io} , частоты m_i , частоты P_i , отклонения X_{io} от среднего значения всех измерений \bar{X} и оценки средней плотности распределения p_i случайной величины X_i .

Таблица 2.10 – Расчет средней плотности распределения случайной величины

Номер измерений	Интервал действительных значений	Среднее значение интервала X_{io}	Число измерений в интервале (экспериментальная частота) m_i	Частость $P_i = m_i / n$	Отклонение от среднего значения $X_{io} - \bar{X}$	Оценка средней плотности распределения p_i случайной величины X_i $p_i = P_i / \Delta X$
1	1,550...1,572	1,561	12	0,15	-0,089	6,818
2	1,572...1,594	1,583	8	0,1	-0,067	4,545
3	1,594...1,616	1,605	7	0,0875	-0,045	3,977

Окончание таблицы 2.10

Номер измерений	Интервал действительных значений	Среднее значение интервала X_{io}	Число измерений в интервале (экспериментальная частота) m_i	Частость $P_i = m_i / n$	Отклонение от среднего значения $X_{io} - \bar{X}$	Оценка средней плотности распределения p_i случайной величины X_i $p_i = P_i / \Delta X$
4	1,616...1,638	1,627	6	0,075	-0,023	3,409
5	1,638...1,660	1,645	11	0,1375	-0,005	6,25
6	1,660...1,682	1,671	6	0,075	0,016	3,409
7	1,682...1,704	1,693	10	0,125	0,038	5,682
8	1,704...1,726	1,715	9	0,1125	0,06	5,114
9	1,726...1,748	1,737	8	0,1	0,082	4,545
10	1,748...1,770	1,759	3	0,0375	0,104	1,7
	Среднее значение всех измерений $\bar{X} = 1,66$		Общее число измерений в выборке $n = 80$	$\sum P_i = 1$		

По результатам расчетов строим гистограмму распределения величины X_i и полигон распределений (рисунок 2.1). Характер распределения не позволяет высказать предположение о нормальном законе распределения, однако эта гипотеза должна быть проверена по критерию Пирсона χ^2 .

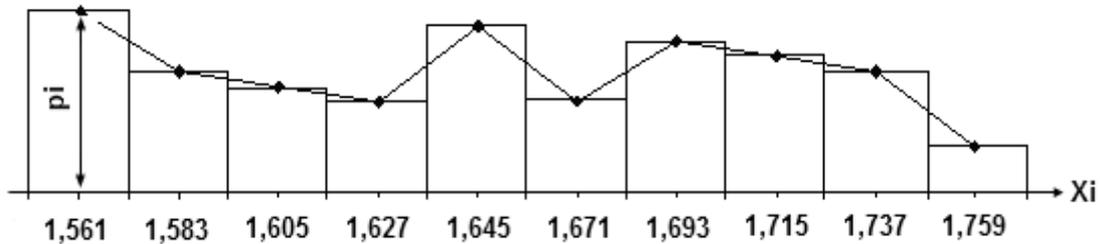


Рисунок 2.1 – Полигон и гистограмма результатов измерений

Для проверки по критерию Пирсона χ^2 анализируем группировку данных по числу измерений в интервале m_i по таблице 11. Если в интервале оказывается менее пяти измерений, его объединяем с соседним, т. е. 9 и 10-й интервалы.

Статистическое среднеквадратичное отклонение

$$S_x = \sqrt{\frac{(1,561 - 1,66) \cdot 12 + (1,583 - 1,66) \cdot 8 + (1,605 - 1,66) \cdot 7 + \dots}{80 - 1}} = 0,0598.$$

Далее все расчеты проводим в таблице 2.11.

Значение функции плотности вероятностей для нормального закона $f(z_i)$ для каждого интервала выбираем по таблице А.2 в зависимости от z_i .

Таблица 2.11 – Расчет критерия Пирсона

Но- мер изме- рени	Интервал действи- тельных значений	Нормиро- ванное от- клонение от среднего арифмети- ческого $z_i = \frac{X_{io} - \bar{X}}{S_x}$	Значение функции плотности вероятно- стей для нормально- го закона $f(z_i)$	Плотность в серединах интервалов $f^*(z_i) = \frac{f(z_i)}{S_x}$	Теоретиче- ская частота $N_i = n \cdot \Delta X \times$ $\times f^*(z_i)$	Показатель разности частот $\chi_i^2 = \frac{(m_i - N_i)^2}{N_i}$
1	1,55–1,572	1,48	0,1334	2,23	3,92	16,65
2	1,572–1,594	1,12	0,2131	3,56	6,26	0,48
3	1,594–1,616	0,75	0,3011	5,03	8,85	0,38
4	1,616–1,638	0,38	0,3712	6,2	10,91	2,21
5	1,638–1,66	0,08	0,3977	6,65	11,70	0,04
6	1,66–1,682	0,26	0,3857	6,45	11,35	2,52
7	1,682–1,704	0,63	0,3271	5,47	9,62	0,015
8	1,704–1,726	1,01	0,2396	4,00	7,04	0,54
9	1,726–1,748	1,37	0,1561	2,61	4,59	2,53
10	1,748–1,77	1,73	0,0893	1,49	2,62	0,055
						$\sum \chi^2 = 25,42$

Определяем число степеней свободы. Поскольку число наблюдений в десятом интервале меньше пяти, то 9 и 10-й интервалы объединены в один.

Поэтому $k = r - 3 - 1 = 10 - 4 = 6$.

Гипотеза о том, что опытное распределение значений можно считать нормальным, подтверждается, если соблюдается условие

$$\chi_{k; \frac{q}{2}}^2 < \chi^2 < \chi_{k; 1 - \frac{q}{2}}^2.$$

Задавая уровень значимости $q = 0,1$ находим P_1 и P_2 :

$$P_1 = q / 2 = 0,1 / 2 = 0,05;$$

$$P_2 = 1 - q / 2 = 1 - 0,1 / 2 = 0,95.$$

По таблице А.3 интегральной функции распределения $\chi^2_{k,p}$ определяем два граничных значения при $k = 6$, $P_1 = 0,05$ и $P_2 = 0,95$, т. е. $\chi^2_{6;0,05} = 1,635$; $\chi^2_{6;0,95} = 12,592$.

Из полученных значений делаем вывод, что гипотеза о совпадении отвергается, т. к. не соблюдается условие $\chi^2_{k;\frac{q}{2}} < \chi^2 < \chi^2_{k;1-\frac{q}{2}}$, т. е. расчетное значение $\chi^2 = 25,42$ превышает верхнюю границу $\chi^2_{k;1-\frac{q}{2}} = 12,592$; $25,42 > 12,592$.

Список литературы

1 Нормирование точности и технические измерения: методические рекомендации к курсовой работе для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-53 01 01 «Технология автоматизированного производства», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / Сост. Е. Н. Антонова. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 48 с.

2 Палей, М. А. Допуски и посадки: справочник в 2 ч. / М. А. Палей. – 8-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Политехника, 2001. – Ч. 1. – 576 с.

3 Палей, М. А. Допуски и посадки: справочник в 2 ч. / М. А. Палей. – 8-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Политехника, 2001. – Ч. 2. – 608 с.

4 Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1987. – 352 с.

5 ГОСТ 2.403–75. Правила выполнения чертежей цилиндрических зубчатых колес. – Москва: Изд-во стандартов, 1982. – 23 с.

6 Марков, А. Л. Измерение зубчатых колес / А. Л. Марков. – Ленинград: Машиностроение, 1977. – 275 с.

7 ГОСТ 2.105–95. Общие требования к текстовым документам. – Москва: Изд-во стандартов, 1995. – 50 с.

8 ГОСТ 3325–85. Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки. – Москва: Изд-во стандартов, 1985. – 21 с.

9 Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. – Москва: Юрайт, 2010. – 820 с.

10 Аристов, А. И. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / А. И. Аристов, Л. И. Карпов. – Москва: Академия, 2008. – 384 с.

Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Распределение Стьюдента t_p

Число степеней свободы k	Доверительная вероятность P											
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,65
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,625
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,707
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,077
28	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
∞	0,1256	0,2533	0,3853	0,5244	0,6744	0,842	1,0364	1,2815	1,6448	1,9599	2,3263	2,575

Таблица А.2 – Плотность вероятности нормального распределения $f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0,3	3814	3802	6790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3697
0,4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3392
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	3123	3101	3079	3059	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	1717	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1,8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	06694	0681	0669
1,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0551
2,0	0,0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459	0449
2,1	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371	0363
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290
2,3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235	0229
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180
2,5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143	0139
2,6	0136	0132	0125	0126	0122	0119	0116	0113	0110	0107
2,7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084	0081
2,8	0079	0077	0075	0073	071	0069	0067	0065	0063	0061
2,9	0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047	0046
3,0	0,0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0036	0035	0034
3,1	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025	0025
3,2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018	0018
3,3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013	0013
3,4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009	0009
3,5	0009	0008	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007	0006
3,6	0006	0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0004
3,7	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003	0003	0003
3,8	0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002	0002	0002

Таблица А.3 – Интегральная функция распределения Пирсона χ^2 . Значения $\chi^2_{k p}$ для различных k и p

k	p												
	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,30	0,50	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
1	0,0001	0,0006	0,0039	0,0158	0,0642	0,148	0,455	1,074	1,42	2,706	3,841	5,412	6,635
2	0,0201	0,0404	0,103	0,211	0,446	0,713	1,389	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,07	13,388	15,086
6	0,872	1,134	1,635	2,204	3,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,59	15,033	16,812
7	1,239	1,564	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,06	16,622	18,475
8	1,646	2,032	2,733	3,490	4,594	5,527	7,344	9,524	11,03	13,362	15,50	18,168	20,090
9	2,088	2,532	3,325	4,168	5,380	6,393	8,343	10,65	12,24	14,684	16,92	19,679	21,666
10	2,558	3,059	3,940	4,865	6,179	7,267	9,342	11,78	13,44	15,987	18,30	21,161	23,209
11	3,053	3,609	4,575	5,578	6,989	8,148	10,341	12,89	14,63	17,275	19,67	22,618	24,725
12	3,571	4,178	5,226	6,304	7,807	9,034	11,340	14,01	15,81	18,549	21,02	24,054	26,217
13	4,107	4,765	5,892	7,042	8,634	9,926	12,340	15,12	16,98	19,812	22,36	25,472	27,688
14	4,660	5,368	6,571	7,790	9,467	10,821	13,339	16,22	18,15	21,064	23,68	26,873	29,141
15	5,229	5,985	7,261	8,547	10,307	11,721	14,339	17,32	19,31	22,307	24,99	28,259	30,578
16	5,812	6,614	7,962	9,312	11,152	12,624	15,338	18,42	20,46	23,542	26,29	29,633	32,000
17	6,408	7,255	8,672	10,085	12,002	13,531	16,338	19,51	21,62	24,769	27,59	30,995	33,409
18	7,015	7,906	9,390	10,865	12,857	14,440	17,338	20,60	22,76	25,989	28,87	32,346	34,805
19	7,633	8,567	10,117	11,651	13,716	15,352	18,338	21,69	23,90	27,204	30,14	33,687	36,191
20	8,260	9,237	10,851	12,444	14,578	16,266	19,337	22,78	25,04	28,412	31,41	35,020	37,566
21	8,897	9,915	11,591	13,240	15,445	17,182	20,337	23,86	26,17	29,615	32,67	36,343	38,932
22	9,542	10,600	12,338	14,041	16,314	18,101	21,337	24,94	27,30	30,813	33,92	37,659	40,289
23	10,196	11,293	13,091	14,848	17,187	19,021	22,337	26,30	28,43	32,007	35,17	38,968	41,638
24	10,856	11,992	13,848	15,659	18,062	19,943	23,337	27,096	29,553	33,19	36,41	40,270	42,980
25	11,524	12,697	14,611	16,473	18,940	20,867	24,337	28,172	30,675	34,38	37,65	41,566	44,314
26	12,198	13,409	15,379	17,292	19,820	21,792	25,336	29,246	31,795	35,56	38,88	42,856	45,642
27	12,879	14,125	16,151	18,114	20,703	22,710	26,336	30,319	32,912	36,74	40,11	44,140	46,963
28	13,565	14,847	16,928	18,939	21,588	23,647	27,336	31,391	34,027	37,92	41,34	45,419	48,278
29	14,256	15,574	17,708	19,768	22,475	24,577	28,336	32,461	35,139	39,09	42,56	46,693	49,588
30	14,953	16,306	18,493	20,599	23,364	25,508	29,336	33,530	36,250	40,26	43,77	47,962	50,892

Таблица А.4 – Допускаемые погрешности измерения размеров по ГОСТ 8.051–82

В микрометрах

Номинальный размер	Квалитет											
	5		6		7		8		9		10	
	T	$\delta_{\text{изм.}}$	T	$\delta_{\text{изм.}}$	T	$\delta_{\text{изм.}}$	T	$\delta_{\text{изм.}}$	T	$\delta_{\text{изм.}}$	T	$\delta_{\text{изм.}}$
Св. 6 до 10	6	2,0	9	2,0	15	4,0	22	5,0	36	9	58	12
Св. 10 до 18	8	2,8	11	3,0	18	5,0	27	7,0	43	10	70	14
Св. 18 до 30	9	3,0	13	4,0	21	6,0	33	8,0	52	12	84	18
Св. 30 до 50	11	4,0	16	5,0	25	7,0	39	10,0	62	16	100	20
Св. 50 до 80	13	4,0	19	5,0	30	9,0	46	12,0	74	18	120	30
Св. 80 до 120	15	5,0	22	6,0	35	10,0	54	12,0	87	20	140	30

Примечание – T – допуски размеров; $\delta_{\text{изм.}}$ – допускаемые погрешности измерений

Приложение Б (рекомендуемое)

Таблица Б.1 – Алгоритм расчета и выбора посадок для колец подшипников, испытывающих циркуляционное нагружение по минимальному расчетному натягу

Содержание работы	Расчетная формула
1 Определить минимальный расчетный натяг	$N_{\min} = \frac{1,3R \cdot N}{(B - 2r) \cdot 10^n}$
2 Определить допустимый натяг	$N_{\text{доп}} = \frac{1,14 \cdot [\sigma] \cdot Nd}{2 \cdot 10^{11} (N - 1)} \cdot 10^3$
3 Выбрать посадку, из рекомендованных ГОСТ 3325–85, удовлетворяющую условию	$N_{\min} \leq N_{\min_T};$ $N_{\text{доп}} > N_{\max_T}$

В таблице Б.1 приняты следующие обозначения:

R – радиальная нагрузка на опору, Н;

N – коэффициент (для подшипников легкой серии $N = 2,8$, средней $N = 2,3$ и тяжелой $N = 2$);

d – номинальный диаметр кольца подшипника, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала кольца при растяжении, Па (для подшипниковой стали $[\sigma] = 400 \cdot 10^6$ Па).

Таблица Б.2 – Алгоритм расчета размерной цепи методом максимума-минимума

Расчетный параметр	Расчетная формула
1	2
1 Записать параметры замыкающего звена: номинальное значение, предельные отклонения, допуск, координату середины поля допуска	$A_{\Delta}; ESA_{\Delta}; EIA_{\Delta};$ $TA_{\Delta} = ESA_{\Delta} - EIA_{\Delta};$ $Eca_{\Delta} = \frac{ESA_{\Delta} + EIA_{\Delta}}{2}$
2 Выявить размерную цепь, увеличивающие и уменьшающие звенья. Составить ее схему	По чертежу изделия
3 Записать номинальные значения составляющих звеньев	По чертежу изделия
4 Проверить правильность назначения номинальных значений составляющих звеньев	$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_{yв.} - \sum_{i=1}^n A_{yм.}$
5 Определить среднее значение допусков составляющих звеньев	$TA_{i\text{cp}} = \frac{TA_{\Delta}}{m+n}$
6 По номинальным размерам составляющих звеньев, используя ГОСТ 25347–82, назначить стандартные допуски на все звенья, близкие к среднему значению, кроме одного звена и подшипников	$TA_1 = \dots; \quad TA_2 = \dots;$ $TA_3 = \dots; \quad TA_{m-1} = \dots$

Окончание таблицы Б.2

1	2
7 Проверить правильность назначения допусков и рассчитать допуск неизвестного звена путем вычитания из допуска замыкающего звена суммы допусков всех составляющих звеньев (см. пункт 6)	$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m+n} TA_i$
8 Задать расположение допусков составляющих звеньев и записать их предельные отклонения, кроме одного звена	<p>Для звеньев, определяющих размеры охватываемых поверхностей, $ESA_i = +TA_i$; $EIA_i = 0$.</p> <p>Для звеньев, определяющих размеры охватывающих поверхностей, $ESA_i = 0$; $EIA_i = -TA_i$.</p> <p>Для поверхностей, определяющих размеры ступеней (крышек), $ESA_i = +TA_i/2$; $EIA_i = -TA_i/2$</p>
9 Определить координаты середин полей допусков, кроме одного звена	$Ec_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}$
10 Определить координату середины поля допуска оставшегося неизвестным звена (при расчетах учитывать знаки координат)	$Ec_{\Delta} = \sum^m Ec_{ув.} - \sum^n Ec_{ум.}$
11 Определить предельные отклонения оставшегося неизвестным звена	$ESA_i = Ec_i + \frac{TA_i}{2};$ $EIA_i = Ec_i - \frac{TA_i}{2}$
12 Записать результаты расчетов: номинальные значения и найденные предельные отклонения составляющих звеньев	$A_1 = \dots; \quad A_2 = \dots;$ $A_3 = \dots; \quad A_{m-1} = \dots$
13 Проверить правильность расчетов	$ESA_{\Delta} = \sum^m Ec_{ув.} - \sum^n Ec_{ум.} + \frac{\sum TA_i}{2};$ $EIA_{\Delta} = \sum^m Ec_{ув.} - \sum^n Ec_{ум.} - \frac{\sum TA_i}{2}$
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 При наличии в размерной цепи стандартных изделий (подшипников, шпонок и т. п.) в процессе корректировки допусков на них следует установить допуски, предусмотренные соответствующими стандартами.</p> <p>2 В таблице приняты следующие обозначения: $A_{ув.}$, $A_{ум.}$ – увеличивающие и уменьшающие звенья; m, n – количество увеличивающих и уменьшающих звеньев</p>	

Таблица Б.3 – Алгоритм расчета размерной цепи теоретико-вероятностным методом

Содержание работы	Расчетная формула
1	2
1 Записать параметры замыкающего звена: номинальное значение, предельные отклонения, допуск, координату середины поля допуска	$A_{\Delta} = \dots; ESA_{\Delta} = \dots; EIA_{\Delta} = \dots;$ $TA_{\Delta} = ESA_{\Delta} - EIA_{\Delta};$ $EcA_{\Delta} = \frac{ESA_{\Delta} + EIA_{\Delta}}{2}$
2 Выявить размерную цепь, увеличивающие и уменьшающие звенья. Составить ее схему	По чертежу изделия
3 Конструктивно определить номинальные значения составляющих звеньев	По чертежу изделия
4 Проверить правильность определения номинальных значений составляющих звеньев	$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_{yв.} - \sum_{i=1}^n A_{yм.}$
5 Определить среднее значение допусков составляющих звеньев	$TA_{icp} = \frac{TA_{\Delta}}{t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2}}$
6 По номинальным размерам составляющих звеньев, используя ГОСТ 25347–82, назначить стандартные допуски на все звенья, близкие к среднему значению, кроме одного звена и подшипников	$TA_1 = \dots; TA_2 = \dots;$ $TA_3 = \dots; TA_{m-1} = \dots$
7 Проверить правильность назначения допусков и рассчитать допуск неизвестного звена, выразив его из заданной формулы	$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 TA_i^2}$
8 Задать расположение допусков составляющих звеньев и записать их предельные отклонения, кроме одного звена	<p>Для звеньев, определяющих размеры охватывающих поверхностей, $ESA_i = +TA_i; EIA_i = 0.$</p> <p>Для звеньев, определяющих размеры охватываемых поверхностей, $ESA_i = 0; EIA_i = -TA_i.$</p> <p>Для поверхностей «типа ступеней» $ESA_i = + TA_i / 2; EIA_i = -TA_i / 2$</p>
9 Определить координаты середин полей допусков составляющих звеньев, кроме одного звена	$Ec_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}$
10 Определить координату середины поля допуска оставшегося неизвестным звена	$Ec_{\Delta} = \sum_{i=1}^m Ec_{yв.} - \sum_{i=1}^n Ec_{yм.}$
11 Определить предельные отклонения оставшегося неизвестным звена	$ESA_i = Ec_i + \frac{TA_i}{2};$ $EIA_i = Ec_i - \frac{TA_i}{2}$

Окончание таблицы Б.3

1	2
12 Записать результаты расчетов: номинальные значения и предельные отклонения составляющих звеньев	$A_1 = \dots; A_2 = \dots;$ $A_3 = \dots; A_{m-1} = \dots$
13 Проверить правильность расчетов	$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m Ec_{yв.} - \sum_{i=1}^n Ec_{yм.} + t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 \left(\frac{TA_i}{2}\right)^2};$ $EIA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m Ec_{yв.} - \sum_{i=1}^n Ec_{yм.} - t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 \left(\frac{TA_i}{2}\right)^2}$

Таблица Б.4 – Алгоритм расчета размерной цепи методом регулирования

Расчетный параметр	Расчетная формула
1	2
1 Записать параметры замыкающего звена: номинальное значение, предельные отклонения, допуск, координату середины поля допуска	$A_{\Delta} = \dots; ESA_{\Delta} = \dots; EIA_{\Delta} = \dots;$ $TA_{\Delta} = ESA_{\Delta} - EIA_{\Delta};$ $EcA_{\Delta} = \frac{ESA_{\Delta} + EIA_{\Delta}}{2}$
2 Выявить размерную цепь, увеличивающие и уменьшающие звенья, составить ее схему, определить компенсирующее звено	По чертежу изделия
3 Конструктивно определить номинальные значения составляющих звеньев	По чертежу изделия
4 Проверить правильность определения номинальных значений составляющих звеньев	$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_{yв.} - \sum_{i=1}^n A_{yм.}$
5 По ГОСТ 25346–82 установить экономически целесообразные допуски TA'_i (по IT12...IT14)	$TA'_1 = \dots; TA'_2 = \dots;$ $TA'_3 = \dots; TA'_{m-2} = \dots$
6 Задать расположение допусков составляющих звеньев и записать их предельные отклонения, кроме компенсирующего звена	<p>Для звеньев, определяющих размеры охватываемых поверхностей, $ESA_i = +TA_i; EIA_i = 0.$</p> <p>Для звеньев, определяющих размеры охватывающих поверхностей, $ESA_i = 0; EIA_i = -TA_i.$</p> <p>Для поверхностей «типа ступеней» $ESA_i = +TA_i / 2; EIA_i = -TA_i / 2$</p>
7 Определить координаты середины полей допусков составляющих звеньев, кроме компенсирующего	$EcA_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}$
8 Определить производственный допуск замыкающего звена, за исключением компенсирующего	$TA'_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m+n-1} TA'_i$

Окончание таблицы Б.4

1	2
9 Определить величину компенсации	$T_k = TA'_\Delta - TA_\Delta + T_{mk}$
10 Определить координату середины производственного допуска замыкающего звена, не учитывая компенсатор	$EcA'_\Delta = \sum_{i=1}^m Ec_{i.yв.} - \sum_{i=1}^n Ec_{i.ум.}$
11 Определить величину компенсации координаты середины поля производственного допуска замыкающего звена	$EcA_k = \pm (EcA_\Delta - EcA'_\Delta)^*$
12 Определить предельные значения величины необходимой компенсации	$ESA_k = EcA_k + \frac{TA_k}{2};$ $EIA_k = EcA_k - \frac{TA_k}{2}$
Если $EIA_k > 0$, то дальше выполнить пункты 15 и 16 Если $EIA_k < 0$, то выполнить пункт 13 и далее	
13 Изменить координату середины поля допуска одного из составляющих звеньев на величину	$EcA_i'' = EcA_i' - EIA_k$ (для увеличивающих звеньев); $EcA_i'' = EcA_i' + EIA_k$ (для уменьшающих звеньев)
14 Определить новые предельные отклонения для измененного звена	$ESA_i'' = EcA_i'' + \frac{TA_i'}{2};$ $EIA_i'' = EcA_i'' - \frac{TA_i'}{2}$
15 Установить толщину одной прокладки	$S \leq TA_\Delta$
16 Определить количество прокладок	$N = T_k / S$
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 – * – знак «плюс» ставится в том случае, если компенсатор является увеличивающим звеном, а знак «минус» – уменьшающим звеном.</p> <p>2 В таблице приняты следующие обозначения:</p> <p>T_{mk} – допуск на изготовление компенсатора. В расчетах принять $T_{mk} = 40$ мкм (по 10-му качеству точности)</p>	

Приложение В (рекомендуемое)

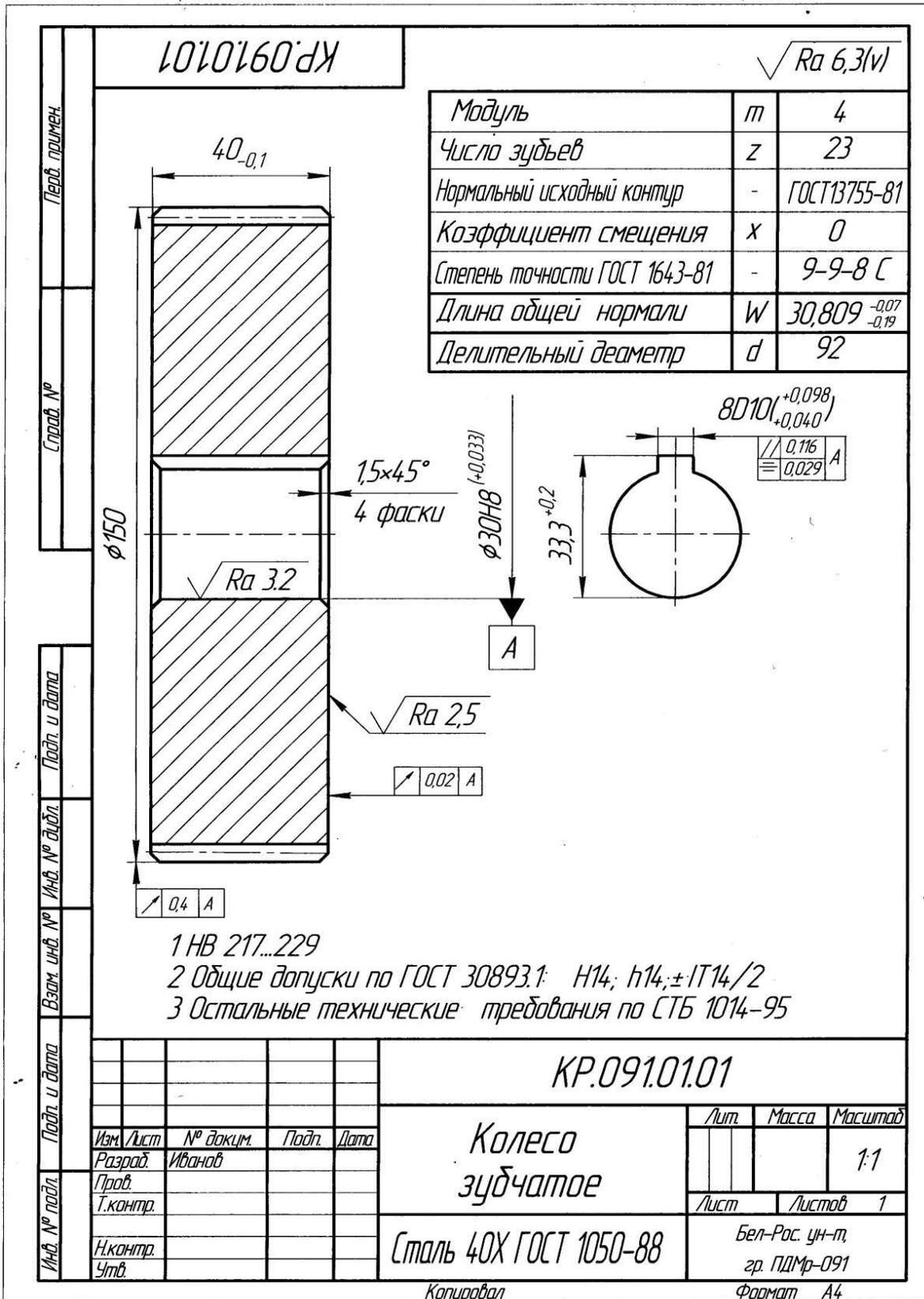


Рисунок В.1 – Чертеж зубчатого колеса

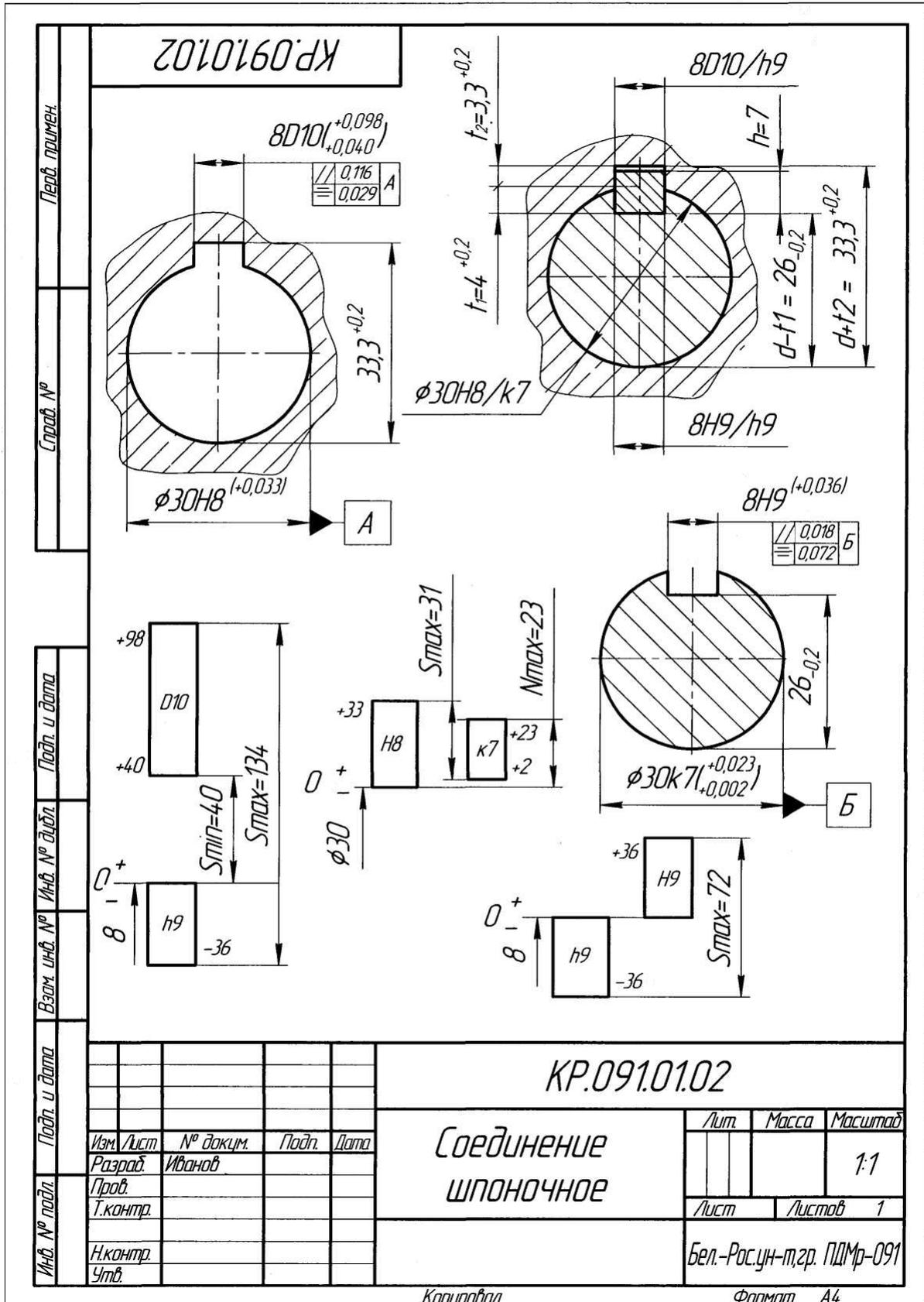


Рисунок В.2 – Чертеж шпоночного соединения

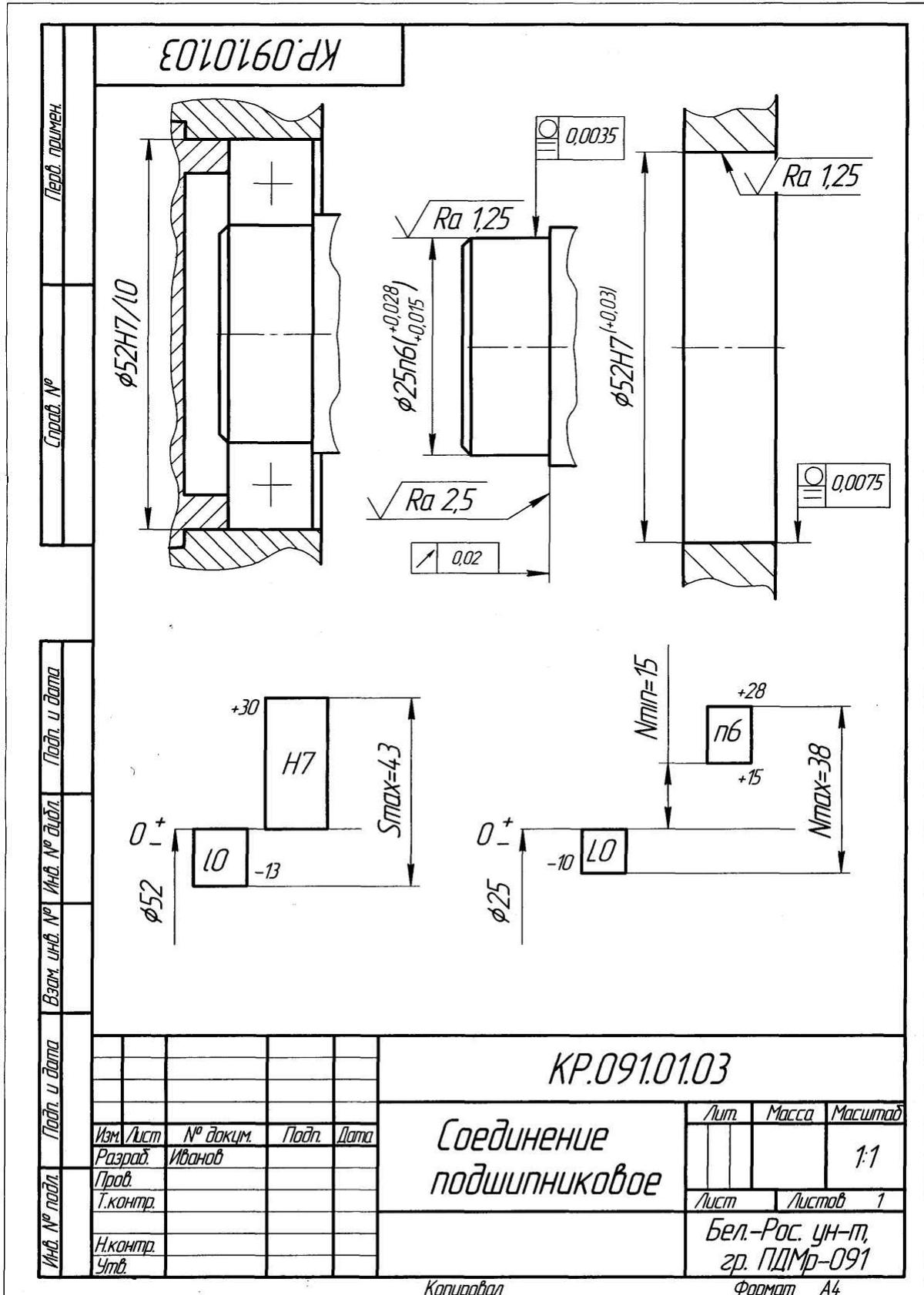


Рисунок В.3 – Чертеж подшипникового соединения

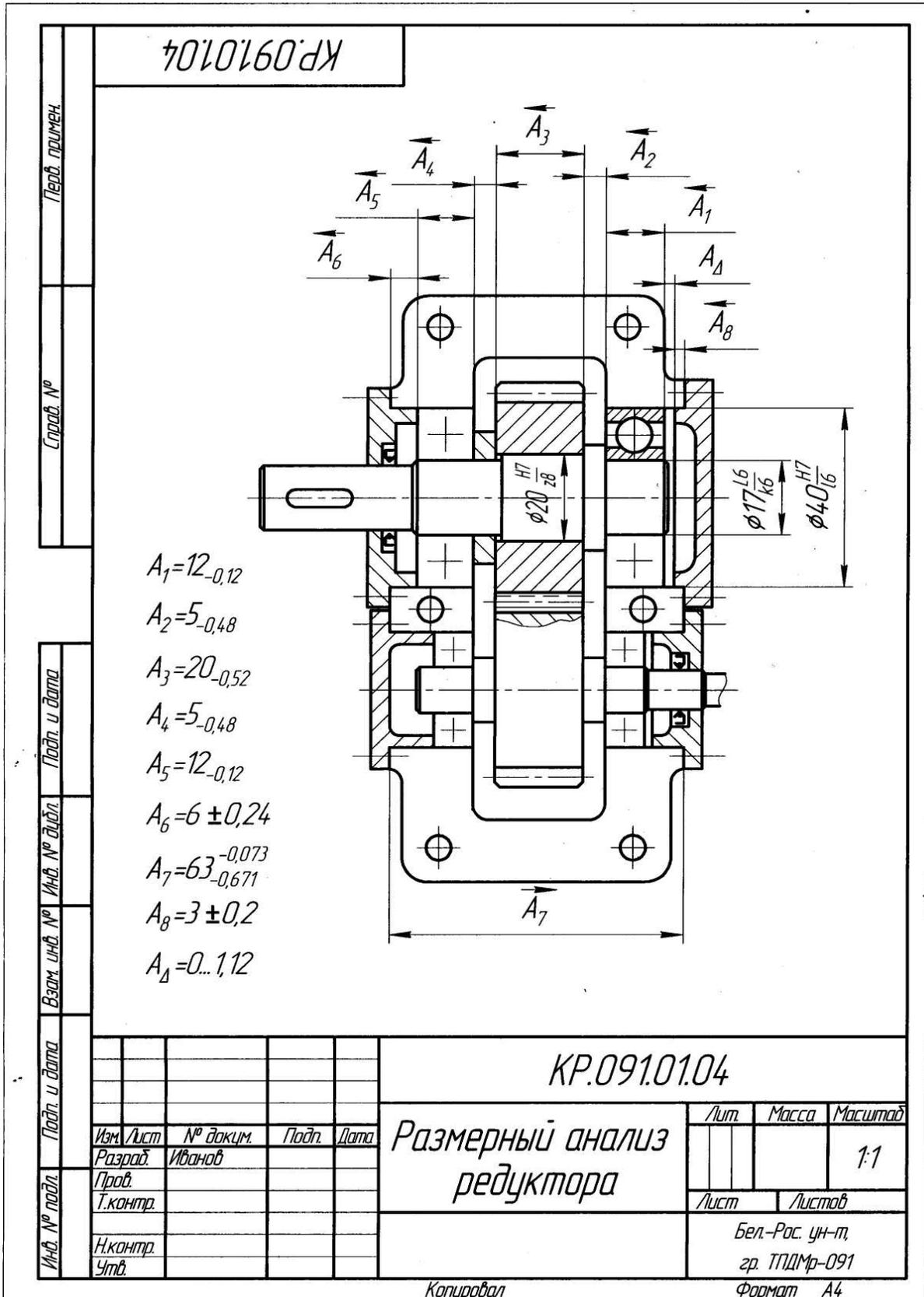


Рисунок В.4 – Чертеж редуктора