

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
Промышленных технологий
электроэнергетики и транспорта

Кафедра
Технологии и оборудование
машиностроения

Направление подготовки

15.04.05 Конструкторско-
технологическое обеспечение
машиностроительных производств

Магистерская программа

Металлообрабатывающие станки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему

Исследование точности токарно – винторезного станка по типу модели СТ16К20

ПГУ 15.04.05.06.00.00 ПЗ
(обозначение ВКР)

Студент гр. 22ММСм2


(подпись, дата)

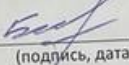
Небылица Антон Вадимович
(фио полностью)

Научный руководитель


(подпись, дата)

Большаков Г.С.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролер


(подпись, дата)

Большаков Г.С.
(фамилия, инициалы)

Рецензент

к.т.н., вед. конструктор ООО КБ
«ПУЛЬСАР-ТЕЛЕКОМ»
(должность, место работы)


(подпись, дата)

Белашов М.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 19.06.24 № 10)

Заведующий кафедрой

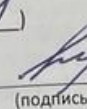

(подпись)

Зверовщиков А.Е.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с оценкой отлично

(протокол заседания ГЭК от 20.06.24 № 1)

Секретарь ГЭК


(подпись)

Истомина Ю.В.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2024

Реферат

Пояснительная записка содержит 81 лист формата А4, 25 рисунков, 4 источника литературы.

МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЙ СТАНОК, РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ, РАСЧЕТ, ТОКАРНЫЙ СТАНОК

Пояснительная записке приведены описание основных узлов, обзор, характерных источников возникновения погрешностей в станках, методов анализа размерных цепей, способов повышения точности станков, анализ требований к геометрической точности токарно-винторезного станка СТ16К20 для нормального и повышенного класса точности, расчет параметров точности несущей системы для обеспечения одновысотности оси вращения шпиндельной передней бабки и оси отверстия пиноли для нормального и повышенного класса точности станка методом полной и неполной взаимозаменяемости, расчет параметров точности несущей системы для обеспечения параллельности траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости для нормального и повышенного класса точности станка методом полной и неполной взаимозаменяемости, расчет параметров точности несущей системы для обеспечения прямолинейности траектории перемещения суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости для нормального и повышенного класса точности станка методом полной и неполной взаимозаменяемости, методика измерения параметров точности несущей системы

					ПГУ 15.04.05.06.00.00 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Н		Небылица А.В.					
Пров.		Большаков Г.С.					
Н. контр.		Большаков Г.С.					
Утв.		Зверовщиков А.Е.					
					Исследование точности токарно-винторезного станка по типу модели СТ16К20 Пояснительная записка		
					Лит.	Лист	Листов
						4	81
					Кафедра «ТОМ», группа 22ММСм2		

Графическая часть содержит:

1. Лист формата А1 – Опыт применения и обеспечения характеристик соединений с натягом в машиностроении (Теоретический чертеж);
2. Лист формата А1 – Анализ свойств анаэробных материалов (Теоретический чертеж);
3. Лист формата А1 – Исследование НДС и циклической прочности ССН при действии изгибающей силы (Теоретический чертеж);

Содержание

Введение.....	6
1 Обзор характерных источников возникновения погрешностей в станках.....	8
2 Методы анализа размерных цепей.....	11
3 Способы повышения точности станков	17
4 Анализ требований к геометрической точности токарно-винторезного станка СТ16К20 для нормального и повышенного класса точности.....	19
5 Расчет параметра для одновысотности оси вращения шпиндельной передней бабки и оси отверстия пиноли.....	26
5.1 Расчет для нормального класса точности станка.....	27
5.2 Расчет для повышенного класса точности станка.....	32
6 Расчет параметра на параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости.....	39
6.1 Расчет для нормального класса точности станка.....	39
6.2 Расчет для повышенного класса точности станка.....	47
7 Расчет параметра на прямолинейность траектории перемещения суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости.....	56
7.1 Расчет для нормального класса точности станка.....	58
7.2 Расчет для повышенного класса точности станка.....	63
8. Методика измерения параметров точности несущей системы.....	71

8.1 Методика измерения параметра «Одновысотность оси вращения шпиндельной передней бабки и оси отверстия пиноли».....	71
8.2 Методика измерения параметра «параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости».....	74
8.3 Методика измерения параметра «параллельность траектории перемещения суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в горизонтальной плоскости».....	74
Заключение.....	80
Список литературы.....	81

Введение

Требования высокой точности, предъявляемые к изготавливаемым деталям при обработке их на металлорежущих станках, могут быть удовлетворены только в том случае, если сами станки будут иметь высокую точность изготовления и сборки базовых узлов и направляющих элементов.

В зависимости от требуемой точности обработки деталей станки должны быть изготовлены в соответствии с нормами точности. Таким образом, в связи с повышением требований, предъявляемых к точности работы станка, проблема правильного назначения допусков на размеры деталей и их сопряжения становится особенно актуальной. Однако, допуски на изготовление сборки механизмов и деталей, узлов и станка в целом, назначаются необоснованно, что приводит к увеличению стоимости и сроков производства станка.

Наиболее правильным путем решения таких задач является анализ размерных цепей, который позволит обеспечить требуемую геометрическую точность станков.

Целью магистерской диссертации: повышение точности токарно-винторезного станка, а именно геометрической точности, и разработка математической модели, позволяющей оценивать влияние величин отклонений основных элементов для станков различных двух классов точности.

Методы исследования. Теоретические исследования базируются на основных положениях станкостроения и теории размерных цепей.

Научная новизна. Разработана математическая модель, позволяющая оценивать влияние величин отклонений основных элементов для станков различных классов точности.

Практическая ценность. Определен перечень базовых деталей и элементов несущей системы станка и влияние их допусков на геометрическую точность для разработанной модели.

Публикации.

По теме магистерской диссертации опубликовано 3 научные статьи в сборниках входящих в перечень РИНЦ:

1) Небылица А.В. Анализ вариантов компоновок токарных станков / А.В. Небылица, Д. В. Кочетков, П. Г. Павловский, В. Г. Кандобаров // Сборник статей XI Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием. – Пенза: Издательство Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 228–231.

2) Небылица А.В. Исследование жесткости шпиндельного узла токарного станка / А.В. Небылица, Д. В. Кочетков, В. Г. Кандобаров // Актуальные проблемы станкостроения – 2023 : сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Пенза, 1–3 июня 2023 г.) / под общ. ред. д.т.н., проф. А.Е. Зверовщикова; к.т.н., доцента С.А. Нестерова; к.т.н., доцента Д.В. Кочеткова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2023. – С. 174–179.

3) Небылица А.В. Повышение точности токарно – винторезного станка по типу модели СТ16К20 / А.В. Небылица, Г.С. Большаков // Инновация технических решений в машиностроение и транспорте Сборник статей XI Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием. – Пенза: Издательство Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 31–35.

1 Обзор наиболее характерных источников возникновения погрешностей в станках

Требования высокой точности, предъявляемые к изготавливаемым деталям при обработке их на металлообрабатывающих станках, могут быть удовлетворены только в том случае, если сами станки будут иметь высокую точность изготовления и сборки базовых узлов и направляющих элементов. Установлено, что из пяти видов погрешностей, образующихся на деталях, – погрешности размеров, отклонения расположения поверхностей, отклонения формы, волнистости и шероховатости – на возникновение первых четырех станок влияет решающим образом [1, 5, 6].

На рисунке 1.1 приведены наиболее характерные источники возникновения погрешностей в станках [1].

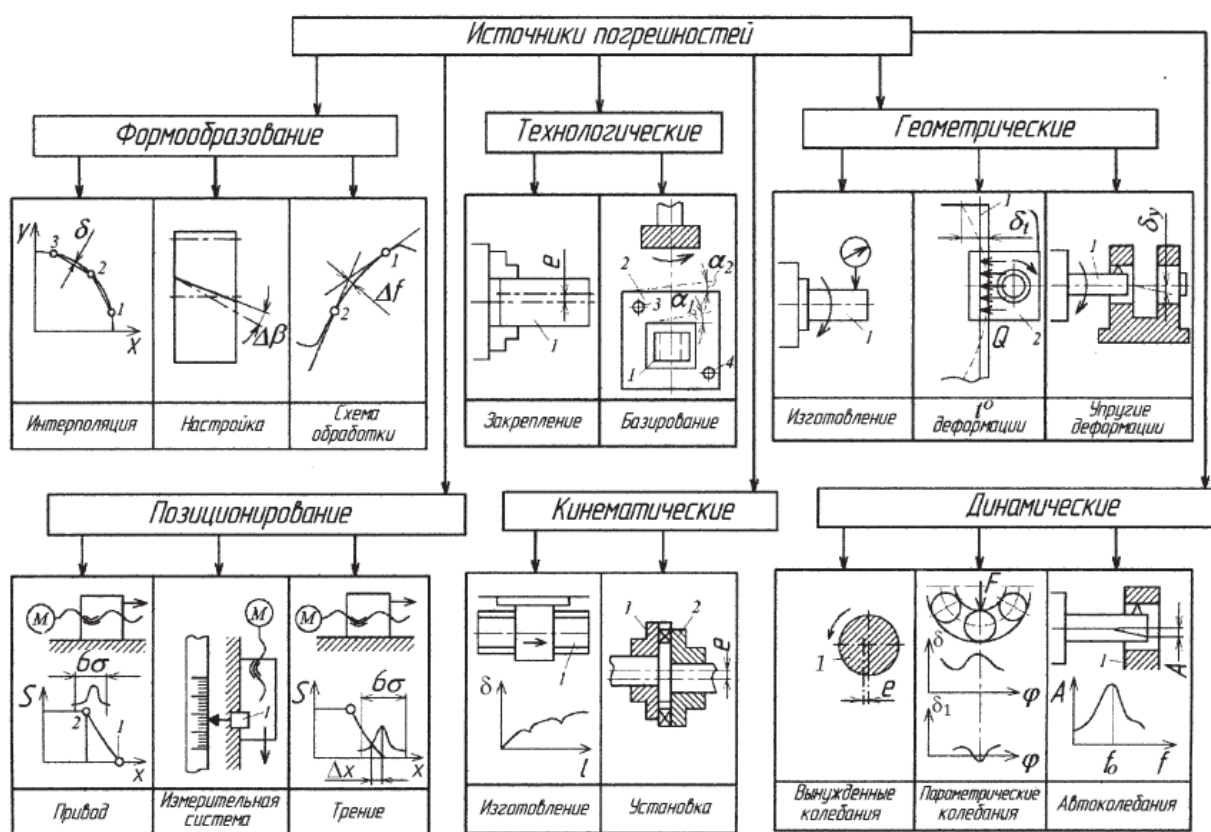


Рисунок 1. – Источники возникновения погрешностей

Следует выделить следующие погрешности формообразования (см. рисунок 1): связанные с аппроксимацией δ траектории и интерполяцией; 9

настройки $\Delta\beta$ (например, подбора колес гитары дифференциала при обработке косозубых колес); процесса формообразования Δf , например, при обработке зубчатых колес червячной фрезой.

Геометрические неточности, связанные с производством, сборкой, термическими и упругими деформациями, присущи всем станкам. Ошибки изготовления могут вызывать вибрацию шпинделя 1, смещения узлов и другие проблемы. Температурные деформации δt стойки 1 из-за нагрева от шпиндельной бабки 2 могут составлять до 70% общей погрешности станка. Упругие деформации δu в основном стабильны при изменении параметров (например, вылета шпинделя 1) и могут быть скомпенсированы различными методами (см. рисунок 1.1).

Сущность воздействия технологических неточностей, таких как крепление и размещение заготовки и инструмента, смещение детали 1 на величину e при закреплении в патроне токарного станка; составляют значительную долю (до 50%) в общем балансе неточностей (см. рисунок 1).

Неточности инструмента связаны с размерным его износом, который происходит весьма интенсивно и является одной из причин неточностей обработки. Использование инструмента с небольшим размерным износом (синтетического, керамического) улучшает условия получения точности. Неточности позиционирования являются специфичными для станков с ЧПУ. Они определяют разность между требуемым и фактическим положениями узла при его перемещении. Решающее влияние оказывают трение в направляющих перемещаемого узла, измерительная система, привод (см. рисунок 1).

Кинематические погрешности влияют на скорость движения рабочих органов станка, несущих инструмент и обрабатываемую деталь, и важны в тех случаях, когда скорость движения инструмента относительно детали влияет на формообразование, что имеет место в станках для обработки сложных поверхностей. Они связаны в первую очередь с неточностью δ изготовления винтов 1, зубчатых колес, неточностью e установки полумуфт 1 и 2 (см. рисунок 1) и т.п. То есть кинематические неточности складываются

вследствие ошибок в передаточных числах зубчатых, червячных и винтовых передач кинематической цепи, вследствие неточности изготовления элементов привода и переменной жесткости станка.

Динамические неточности связаны с относительными колебаниями инструмента и обрабатываемой детали, а в некоторых случаях и торможении, реверсировании и врезании инструмента. вынужденные колебания, например, при дисбалансе е обрабатываемой детали 1; параметрические колебания, вызванные.

2 Методы анализа размерный цепей

Размеры деталей, как и сами детали, в собранном изделии взаимосвязаны и взаимозависимы. Изменение размера одной детали узла или механизма вызывает изменение положения другой или нескольких других деталей этого узла или механизма. Взаимосвязь и взаимозависимость размеров деталей в собранных узлах или механизмах называется размерными связями деталей. Размерные связи деталей образуют сборочные размерные цепи.

Размерной цепью называется расположенные по замкнутому контуру размеры, непосредственно влияющие на точность одного из размеров контура.

Размерной цепью называется замкнутая цепь размеров, определяющих точность относительного расположения осей и поверхностей одной детали или нескольких деталей в сборочном соединении.

Таким образом, основными признаками размерной цепи являются замкнутость размерного контура и непосредственное влияние на точность одного из размеров цепи отклонений любого размера, входящего в данную размерную цепь. Размерная цепь состоит из отдельных звеньев [3, 4]. Звеном размерной цепи называется размер, определяющий расстояние между поверхностями (осями) или их угловое расположение.

Размерная цепь состоит из составляющих и исходного, или замыкающего, звеньев. Исходным звеном размерной цепи называется размер, к которому предъявляется основное требование по точности детали, комплекта или узла машины. В процессе изготовления детали или сборки комплекта исходное звено становится замыкающим звеном, т.к. в этом случае оно формируется в последнюю очередь и замыкает размерную цепь. Остальные звенья – относятся к числу составляющих.

Таким образом, размерная цепь состоит из одного замыкающего и нескольких составляющих звеньев.

Передаточным отношением A называется число со знаком, характеризующее величину и направленность влияния составляющего звена на замыкающее.

По видам звенья размерной цепи делятся на:

- 1) Звенья – линейные размеры;
- 2) Звенья – угловые размеры;
- 3) Звенья – линейные зазоры;
- 4) Звенья – угловые зазоры.

Звеньями-зазорами считаются не сами зазоры, а смещения поверхностей или осей деталей за счет зазоров.

Таким образом, линейным звеном-зазором называется расстояние между параллельными поверхностями или осями сопрягающихся деталей типа вал – отверстие, а угловым звеном-зазором называется угол между поверхностями или осями сопрягающихся деталей.

Звеном-компенсатором называется звено, применяемое для компенсации ошибок составляющих звеньев с целью уменьшения погрешности замыкающего звена. В качестве компенсаторов могут применяться зазоры и детали (прокладки, шайбы и т.д.). Звенья изображаются на схемах размерных цепей и на схематических видах механизмов и узлов так же, как и размеры на чертежах: линейные звенья прямыми, а угловые дуговыми линиями с одной или двумя стрелками.

Схемы размерных цепей изображаются непосредственно на эскизе сборочной единицы (узла, механизма, комплекта) или рядом с ним.

Размерные цепи классифицируются по различным признакам [3, 4]:

- 1) По месту в изделии – подетальная и сборочная;
- 2) По методу достижения точности – без компенсатора и с компенсатором;
- 3) По расположению звеньев – линейная, плоская и пространственная;
- 4) По характеру взаимной связи – независимая и взаимосвязанная.

Сборочные размерные цепи подразделяются на размерные цепи общей компоновки и узловые размерные цепи.

Размерные цепи общей компоновки характеризуют размерные взаимосвязи узлов и деталей машины, собираемых в единое целое. С помощью анализа и расчета размерных цепей этой группы обеспечивается сопряжение узлов машины с требуемой точностью.

Узловые размерные цепи определяют размерные взаимосвязи деталей и отдельных сборочных единиц, находящихся в узлах машины. Расчет размерных цепей этой группы обеспечивает с требуемой точностью взаимное расположение деталей и сборочных единиц в каждом узле.

Детальные размерные цепи характеризуют размерные взаимосвязи осей или поверхностей в пределах одной детали.

Отклонения размеров вызываются производственными и эксплуатационными причинами.

Основными причинами являются: 1) Погрешности оборудования – неточности кинематической цепи станка, его шкал, лимбов и т.д.;

2) Колебания режима работы – изменение скорости резания, подачи, нагрева инструмента и обрабатываемой детали;

3) Погрешности инструмента – неправильная форма режущего инструмента и недостаточная его жесткость, затупление режущей кромки и т.д.;

4) Погрешности приспособления – отклонения размеров осей отверстий направляющих втулок от базовых поверхностей, погрешности оправок и цанг, недостаточная жесткость приспособления;

5) Неоднородность материала обрабатываемой детали;

6) Ошибки рабочего (при настройке станка, установки детали и инструмента и т.д.).

В большинстве случаев причины возникновения погрешностей проявляются случайно. Таким образом, отклонения представляют собой

случайные величины и рассеяние действительных размеров определяется законами теории вероятностей.

Таким образом, поскольку размеры деталей имеют рассеяние, а отклонения в размерах относятся к случайным величинам, в отношении первичных производственных ошибок можно пользоваться всеми правилами теории вероятностей. В теории вероятностей основными вероятностными характеристиками случайных величин приняты [3, 4]: 14

1) Среднее значение математического ожидания случайной величины MX как характеристика центра группирования теоретического распределения;

2) Дисперсия DX или же среднеквадратическое отклонение σx как характеристика рассеяния теоретического распределения.

Для расчета размерных цепей важными являются следующие теоремы теории вероятностей:

1) Среднее значение суммы случайных величин равно сумме средних значений этих величин,

$$M\left(\sum_i x_i\right) = \sum_i MX_i;$$

2) Дисперсия суммы независимых случайных величин равна сумме дисперсий этих величин,

$$D\left(\sum_i x_i\right) = \sum_i DX_i;$$

3) Среднее значение произведения постоянной величины на случайную равно произведению постоянной на среднее значение случайной величины,

$$M(A_i X_i) = A_i MX_i;$$

4) Дисперсия произведения постоянной величины на случайную равна произведению квадрата постоянной на дисперсию случайной величины,

$$D(A_i X_i) = A_i^2 DX_i;$$

5) Среднее значение произведения двух случайных величин равно произведению средних значений этих величин,

$$M(X_l \cdot Y_l) = MX_l \cdot MY_l;$$

6) Дисперсия произведения двух случайных величин равна произведению дисперсий этих величин плюс произведение дисперсии первой величины на квадрат среднего значения другой величины плюс произведение дисперсии другой величины на квадрат среднего значения первой величины,

$$D(X_l Y_l) = DX_l \cdot DY_l + DX_l (MY_l)^2 + DY_l (MX_l)^2;$$

7) Среднее значение M суммы случайной X и постоянной A величин равно сумме среднего значения MX случайной величины и постоянной величины A ,

$$M(X + A) = MX + A;$$

8) Дисперсия суммы случайной и постоянной величин равна дисперсии случайной величины,

$$D(X + A) = DX + A;$$

9) Дисперсия суммы случайных величин, связанных коррелятивной зависимостью, равна сумме дисперсий случайных величин плюс сумма удвоенных произведений коэффициента корреляции на среднеквадратичные значения случайных, связанных между собой величин,

$$DX = DX_1 + DX_2 \dots + DX_n + 2 \sum_{l,\tau} \rho_{l\tau} \sigma_l \sigma_\tau,$$

где $X = X_1 + X_2 + \dots + X_n$.

Так как отклонение составляющего звена размерной цепи связано с отклонением замыкающего звена передаточным отношением A_i , необходимо определить по существу характеристики произведения постоянной на случайную величину, т.е. $A_i x_i$.

Таким образом, применяя представленные выше теоремы, получается:

$$M \left(\sum_l A_l x_l \right) = \sum_l A_l M X_l,$$

$$D \left(\sum_i A_i x_i \right) = \sum_i A_i^2 DX_i.$$

Номинальные значения размеров звеньев размерной цепи определяется

$$N_{\Sigma} = \sum_i A_i N_i,$$

где N_{Σ} – номинальное значение размера замыкающего звена размерной цепи;

N_i – номинальное значение размера каждого составляющего звена размерной цепи;

A_i – передаточное отношение этого звена.

Если составляющее звено q изменяется на величину d_q , то это ведет к изменению замыкающего звена на величину d_{φ} . Таким образом, отношение изменений $\frac{d_{\varphi}}{d_q}$, называется передаточным отношением.

По знаку передаточного отношения можно судить о направлении изменения замыкающего звена, за счет изменения размера составляющего звена цепи, т.е. две группы звеньев: звенья увеличивающие и звенья уменьшающие.

Таким образом, определение размерных цепей является ответственным этапом, от которого зависит качество расчетов, а определение замыкающих звеньев – первым этапом расчета размерных цепей. Для этого, прежде всего, необходимо установить требования к точности, которым должен отвечать механизм, узел и вся машина в целом.

3 Способы повышения точности станков

Точность станка в основном предопределяет точность обработанных на нем изделий. Можно сформулировать несколько самых общих принципов повышения точности обработки. Часть принципов относится к общему повышению точности станка, а часть – к получению на станках деталей более высоких классов точности, чем соответствующие узлы станка.

Выше уже было отмечено, что из пяти видов погрешностей, образующихся на деталях, – погрешности размеров, отклонения расположения поверхностей, отклонения формы, волнистости и шероховатости – на возникновение первых четырех станок влияет решающим образом [1, 2, 5, 6].

Наиболее распространенные способы повышения точности:

- 1) совершенствование метода формообразования;
- 2) применение компоновок, обеспечивающих более высокую точность;
- 3) повышение геометрической точности деталей и узлов;
- 4) использование коррекционных механизмов (например, при обработке червячных колес);
- 5) применение адаптивных систем управления точностью.

Таким образом, одним из основных параметров станка является точность, под которой понимается отклонение от номинальной величины исходного и конечного положения, а также траектории движения рабочих поверхностей выходных звеньев его основного и вспомогательных механизмов по отношению к его базовым поверхностям. Показатели точности машины оговариваются в технических условиях, или в стандартах определяющих нормы точности, в которых также указываются методы их контроля при проведении испытаний. Например, для токарно-винторезного станка в ГОСТ 18097-93 показателями точности являются: прямолинейность продольного перемещения суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскостях, радиальное и осевое биение шпинделя.

Требования по точности, предъявляемые к узлам и механизмам машины, указываются в технических требованиях сборочного чертежа, в которых кроме этого приводятся методы их обеспечения.

Убедиться в правильном назначении требований по точности к деталям, позволяющим обеспечить необходимые требования по точности станка, в который они входят, можно составив и рассчитав размерные цепи.

4 Анализ требований к геометрической точности токарно-винторезного станка СТ16К20 для нормального и повышенного класса точности

Требования высокой точности, предъявляемые к изготавливаемым деталям при обработке их на металлорежущих станках, могут быть удовлетворены только в том случае, если сами станки имеют высокую точность изготовления и сборки базовых узлов и направляющих элементов.

В зависимости от требуемой точности обработки деталей станки должны быть изготовлены в соответствии с нормами геометрической точности. Они приведены в соответствующих ГОСТах 22267 – 76, 8-82 для каждого типа и группы станков в зависимости от компоновки размеров и класса точности. Для токарно-винторезного станка по типу модели СТ16К20 в соответствии с ГОСТ 22267 – 76 нормируются следующие геометрические параметры и величины допусков: одновысотность оси вращения передний бабки и оси отверстия пиноли (0,01 мм), параллельность траектории продольного перемещения суппорта относительно оси вращения шпинделя передний бабки в плоскостях (0,02 мм), биение наружной центрирующей поверхности шпинделя передней бабки (0,01 мм).

Указанные параметры геометрической точности обеспечиваются точностью изготовления и сборки узлов и деталей несущей системы станка.

В связи с повышением требований, предъявляемых к точности работы станка, проблема правильного назначения допусков на размеры деталей и их сопряжения становится особенно актуальной. Однако, допуски на изготовление деталей и сборку механизмов, узлов и станка в целом, часто назначаются необоснованно, что приводит к увеличению стоимости и сроков производства станка.

Наиболее совершенным путем решения таких задач является анализ размерных цепей, который позволит назначить допуски на элементы несущей системы из условия обеспечения требуемой геометрической точности

станков. Расчет размерных цепей выполняется двумя методами - метод полной и неполной взаимозаменяемости.

Метод полной взаимозаменяемости обеспечивает достижения требуемой точность замыкающего звена размерной цепи во всех случаях ее реализации путем замены или включения в нее звеньев без выбора, подбора или изменения их значений.

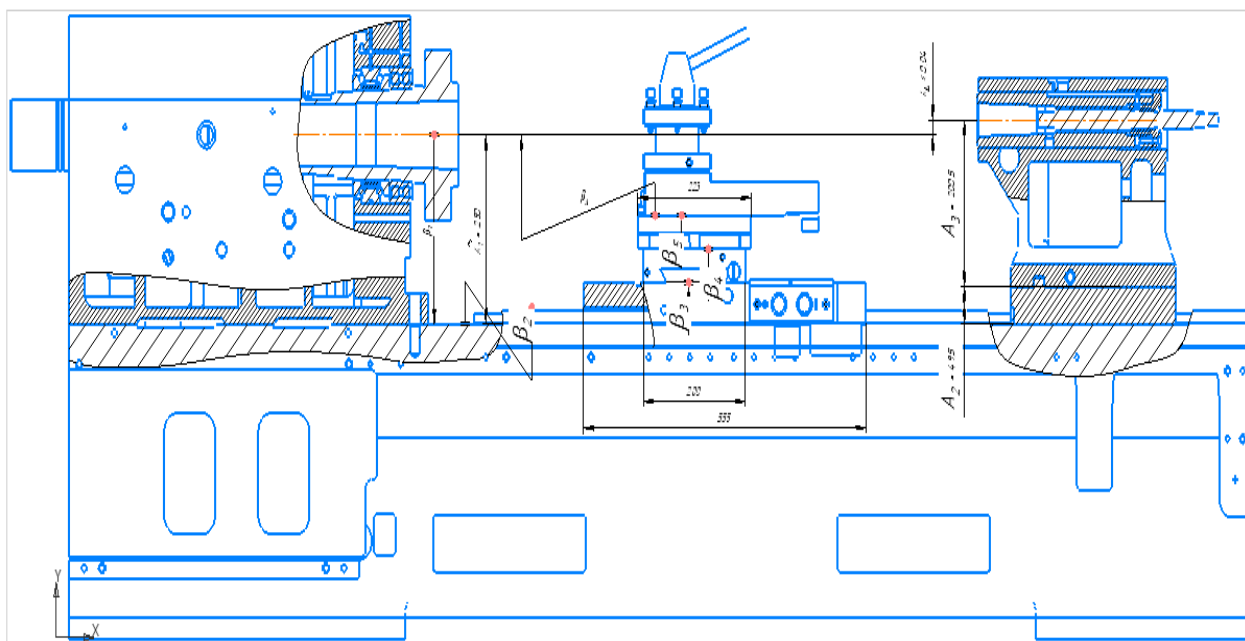


Рисунок 1 – Расчетная схема математической модели

Суть метода неполной взаимозаменяемости в том, что точность замыкающего звена размерной цепи достигается с заранее установленным риском, путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений. При неполной взаимозаменяемости допускается не более 0,27 процентов. Для расчета размерных цепей построена модель, с указанными на ней 3-мя размерными цепями, которая показана на рисунке 1. И так же указаны замыкающие звенья.

Одним из способов повышения точности станков является повышение геометрической точности деталей и узлов.

Требования по точности, предъявляемые к узлам и деталям станка, указываются на рабочих чертежах, деталей в виде допусков соответствующих размеров, а также отклонений формы и расположения поверхностей. Допуски

на детали несущей системы назначались согласно ГОСТу 22267 – 76 для двух классов точности станка – это нормальный и повышенный. Указанные параметры геометрической точности обеспечиваются точностью изготовления и сборки узлов и деталей несущей системы станка.

На рисунке 1 показано один из типов измерения для двух классов точности станка. Это нормальный и повышенный. А именно точность установки направляющих в направлении: а) продольном, б) поперечном.

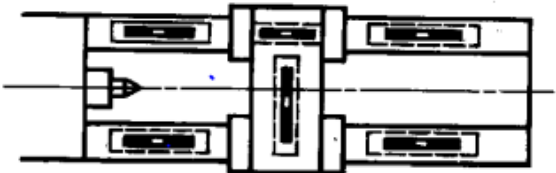
Тип измерения	Класс точности станка	
	Нормальный	Повышенный
<ul style="list-style-type: none"> Точность установки направляющих в направлении: <p>А) продольном</p>  <p style="text-align: center;"><i>a</i></p> <p>Б) поперечном</p>  <p style="text-align: center;"><i>b</i></p>	0,04 мм/м	0,03 мм/м
	0,04 мм/м	0,03 мм/м

Рисунок 1 – Точность установки в направлении: А) продольном;
Б) поперечном

На рисунке 2 показан тип измерения- одновысотность оси вращения шпиндельной передней бабки и оси отверстия пиноли и показана схема как проводить измерения.

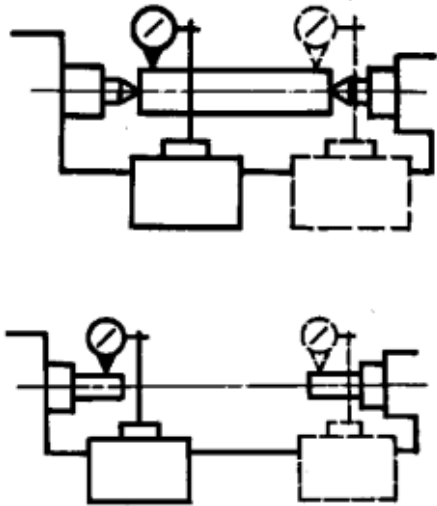
Тип измерения	Класс точности станка	
	Нормальный	Повышенный
<ul style="list-style-type: none"> Одновысотность оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли (шпинделя) задней бабки 	40 мкм	20 мкм

Рисунок 2 – Одновысотность оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли (шпинделя) задней бабки

На рисунке 3 показан тип измерения осевое биение шпинделя передний бабки для станков нормального и повышенного класса точности.

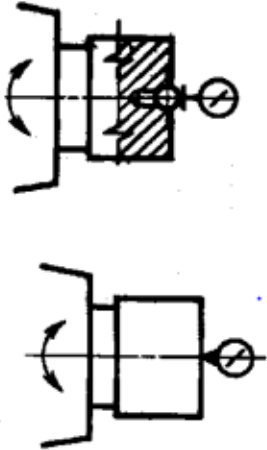
Тип измерения	Класс точности станка	
	Нормальный	Повышенный
<ul style="list-style-type: none"> Осевое биение шпинделя передний бабки 	10 мкм	5 мкм

Рисунок 3 – Осевое биение шпинделя передний бабки

На рисунке 4 показан тип измерения – торцевое биение фланца шпинделя передней бабки для станков нормального и повышенного класса точности.

Тип измерения	Класс точности станка	
	Нормальный	Повышенный
<ul style="list-style-type: none"> Торцевое биение фланца шпинделя передней бабки (не распространяется на станки с несъемными планшайбами) 	20 мкм	10 мкм

Рисунок 4 – Торцевое биение фланца шпинделя передней бабки

На рисунке 5 показан тип измерения радиальное биение упорного центра, вставленного в отверстие шпинделя для станков нормального и повышенного класса точности.

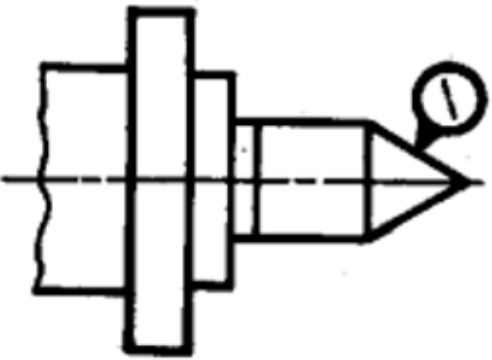
Тип измерения	Класс точности станка	
	Нормальный	Повышенный
<ul style="list-style-type: none"> Радиальное биение упорного центра, вставленного в отверстие шпинделя 	15мкм	10мкм

Рисунок 5 – Радиальное биение упорного центра, вставленного в отверстие шпинделя

5 Расчет параметра для одновысотности оси вращения шпиндельной передней бабки и оси отверстия пиноли.

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции машины, в технологических процессах изготовления ее деталей и сборки, при измерении.

Эти связи возникают в соответствии с условием и принятым решением конструкторской, технологической задачи или задачи измерения.

Свойства и закономерности размерных цепей отражаются системой понятий и аналитическими зависимостями, позволяющими производить расчет номинальных размеров, допусков, координат середин полей допусков и обеспечивать наиболее экономичным-путем точность изделий при конструировании, изготовлении, ремонте и во время эксплуатации.

На рисунке 6 показан тип измерения – одновысотность оси вращения шпиндельной передней бабки и оси отверстия пиноли и показана схема как проводить измерения. Так же был выполнен расчет размерных цепей для Н и П класса точности станка.

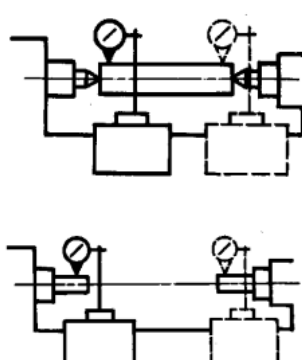
Тип измерения	Класс точности станка	
	Нормальный	Повышенный
<ul style="list-style-type: none">Одновысотность оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли (шпинделя) задней бабки 	40 мкм	20 мкм

Рисунок 6 – Одновысотность оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли (шпинделя) задней бабки

Объектом расчета является система узлов «передняя бабка-станина-задняя бабка» станка СТ16К20.

Цель расчета: допускаемые отклонения на размеры определяющие взаимное расположение оси вращения шпинделя и оси конического отверстия пиноли задней бабки с целью выполнения требований П 4.7 ГОСТ 18097-93.

Выполнен расчет размерных цепей для токарно-винторезного станка для двух классов точности станка.

5.1 Расчет для нормального класса точности станка.

Замыкающим звеном является размер A_{Δ} , связывающий оси вращения шпинделя и отверстия пиноли задней бабки. Из нормативно-технической документации (ГОСТ 18097-93, п.4.7) известно, что разность их высот от основных направляющих станины не должна превышать 0,04 мм, при этом ось отверстия пиноли задней бабки должна находиться выше. Следовательно допуск на замыкающее звено будет равен:

$$T_{A_{\Delta}} = 0,04 \text{ мм},$$

а координата середины поля допуска:

$$\Delta_{0A_{\Delta}} = \frac{0,04}{2} = +0,02 \text{ мм}.$$

На рис.7 показана схема размерной цепи, определяющей величину разновысотности осей.

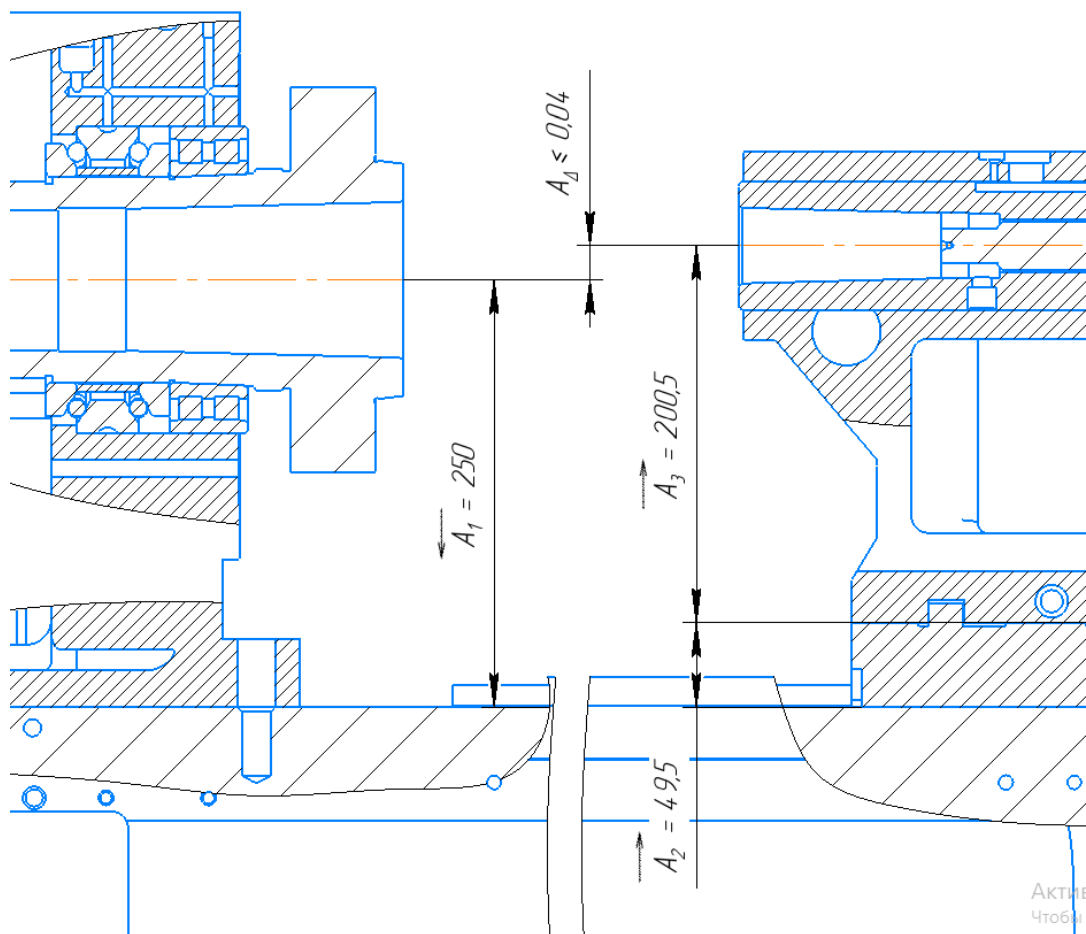


Рисунок 7 – Схема размерной цепи

Уравнение размерной цепи согласно рисунку 1

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 + A_3.$$

1) Выполним расчет методом полной взаимозаменяемости. При этом методе должно быть соблюдено условие $\sum_{i=1}^{m-1} |\xi_{A_i}| T_{A_i} = T_{A_{\Delta}}$. В линейной размерной цепи $|\xi_{A_i}| = 1$.

Рассчитаем среднюю величину допуска $T_{\text{ср}} = \frac{T_{A_{\Delta}}}{m-1} = \frac{0,04}{3} = 0,013 \text{ мм}$

Учитывая степень сложности достижения требуемой точности

составляющих звеньев, устанавливаем подбором: $T_{A_1} = 0,018 \text{ мм}$, $T_{A_2} = 0,004 \text{ мм}$, $T_{A_3} = 0,018 \text{ мм}$.

Принимаем координаты середин полей допусков $\Delta_{0A_1} = -0,009 \text{ мм}$, $\Delta_{0A_3} = +0,009 \text{ мм}$.

Координату середины поля допуска второго звена находим из уравнения:

$$\Delta_{0A\Delta} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{\Delta_{0Ai}} - \sum_{n+1}^{m-1} \overleftarrow{\Delta_{0Ai}} = -\Delta_{0A1} + \Delta_{0A2} + \Delta_{0A3},$$

$$0,02 = -(-0,009) + \Delta_{0A2} + 0,009.$$

Следовательно, $\Delta_{0A2} = 0,02 - 0,009 - 0,009 = 0,002$ мм

Проверяем правильность назначения допусков:

$$\begin{aligned} \Delta_{нА\Delta} &= \Delta_{0A\Delta} - \frac{T_{A\Delta}}{2} = -(-0,009) + 0,002 + 0,009 - \frac{0,018 + 0,004 + 0,018}{2} \\ &= 0 \text{ мм;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{вА\Delta} &= \Delta_{0A\Delta} + \frac{T_{A\Delta}}{2} = -(-0,009) + 0,002 + 0,009 + \frac{0,018 + 0,004 + 0,018}{2} \\ &= 0,04 \text{ мм;} \end{aligned}$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что допуски установлены верно.

2) Выполним расчет методом неполной взаимозаменяемости.

Известно, что при расчете по вероятностному способу $T_{A\Delta} =$

$$t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2}$$

Примем экономически оправданным риск $P = 10\%$, при котором коэффициент риска $t_{\Delta} = 1,66$.

Полагая, что условия изготовления деталей таковы, что распределение отклонений размеров будет близким к закону Гаусса, принимаем: $\lambda_{Ai}^2 = \frac{1}{9}$.

Определим величину

$$\sum T_{Ai}^2 = \frac{T_{A\Delta}^2}{t_{\Delta}^2 \xi^2 \lambda_{Ai}^2} = \frac{0,04^2}{1,66^2 * 1 * \frac{1}{9}} = \frac{0,0016}{2,756 * \frac{1}{9}} = 0,00522$$

Примем, что $T_{A1} = 0,45 * T_{A\Delta}$, $T_{A2} = 0,1 * T_{A\Delta}$, $T_{A3} = 0,45 * T_{A\Delta}$,

Введем величину $T_{A\Delta}^*$, предназначенную для разбиения допуска замыкающего звена на принятые выше доли. Заменим в уравнениях долей $T_{A\Delta}$ на $T_{A\Delta}^*$, тогда

$$\begin{aligned}\sum T_{Ai}^2 &= T_{A1}^2 + T_{A2}^2 + T_{A3}^2 = (0,45 * T_{A\Delta}^*)^2 + (0,1 * T_{A\Delta}^*)^2 + (0,45 * T_{A\Delta}^*)^2 \\ &= 0,00522\end{aligned}$$

Упростив выражение, получим

$$0,415 * (T_{A\Delta}^*)^2 = 0,00522$$

$$\text{Тогда, } T_{A\Delta}^* = \sqrt{\frac{0,00522}{0,415}} = 0,112$$

Следовательно,

$$T_{A1} = 0,45 * T_{A\Delta}^* = 0,45 * 0,112 = 0,0504 \text{ мм},$$

$$T_{A2} = 0,1 * T_{A\Delta}^* = 0,1 * 0,112 = 0,0112 \text{ мм},$$

$$T_{A3} = 0,45 * T_{A\Delta}^* = 0,45 * 0,112 = 0,0504 \text{ мм}.$$

Окончательно принимаем следующие значения $T_{A1} = 0,05 \text{ мм}$, $T_{A2} = 0,012 \text{ мм}$, $T_{A3} = 0,05 \text{ мм}$.

Определим также величину среднего допуска

$$T_{cp} = \frac{T_{A\Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi^2 \lambda_{Ai}^2}} = \frac{0,04}{1,66 * \sqrt{\frac{1}{9} * 3}} = 0,042 \text{ мм}$$

Выполним проверку правильности назначения величин допусков:

$$T_{A\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2} = 1,66 \sqrt{\frac{1}{9} (0,05^2 + 0,012^2 + 0,05^2)} = 0,0397.$$

С учетом округлений результат верен. Принимаем координаты середин полей допусков $\Delta_{0A1} = 0 \text{ мм}$, $\Delta_{0A3} = 0 \text{ мм}$.

Координату середины поля допуска второго звена находим из уравнения:

$$\Delta_{0A\Delta} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{\Delta_{0Ai}} - \sum_{n+1}^{m-1} \overleftarrow{\Delta_{0Ai}} = -\Delta_{0A1} + \Delta_{0A2} + \Delta_{0A3},$$

$$0,02 = 0 + \Delta_{0A2} + 0.$$

Следовательно, $\Delta_{0A2} = 0,02 - 0 - 0 = 0,02$ мм.

$$\begin{aligned} \Delta_{нA\Delta} &= \Delta_{0A\Delta} - \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 (T_{Ai}^2)} \\ &= 0 + 0,02 + 0 - \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,05^2 + 0,012^2 + 0,05^2)} = 0 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{вA\Delta} &= \Delta_{0A\Delta} + \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 (T_{Ai}^2)} \\ &= 0 + 0,02 + 0 + \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,05^2 + 0,012^2 + 0,05^2)} = 0,04 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что допуски установлены верно.

Покажем отношения допусков, рассчитанных методом неполной взаимозаменяемости к допускам, рассчитанным методом полной взаимозаменяемости:

$$\frac{T_{A1}(\text{неполн})}{T_{A1}(\text{полн})} = \frac{0,05}{0,018} = 2,77 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{A2}(\text{неполн})}{T_{A2}(\text{полн})} = \frac{0,012}{0,004} = 3 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{A3}(\text{неполн})}{T_{A3}(\text{полн})} = \frac{0,05}{0,018} = 2,77 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{A3}(\text{неполн})}{T_{A3}(\text{полн})} = \frac{0,025}{0,008} = 3,13 \text{ раза}$$

Вывод: расчет полной и неполной взаимозаменяемости показали, что при вероятности брака 10% для станка класса точности Н необходимые допуски увеличились в 3 раза.

5.2 Расчет для повышенного класса точности станка.

Замыкающим звеном является размер A_{Δ} , связывающий оси вращения шпинделя и отверстия пиноли задней бабки. Из нормативно-технической документации (ГОСТ 18097-93, п.4.7) известно, что разность их высот от основных направляющих станины не должна превышать 0,04 мм, при этом ось отверстия пиноли задней бабки должна находиться выше.

Следовательно допуск на замыкающее звено будет равен:

$$T_{A\Delta} = 0,02 \text{ мм},$$

а координата середины поля допуска:

$$\Delta_{0A\Delta} = \frac{0,02}{2} = +0,01 \text{ мм}.$$

На рис.8 показана схема размерной цепи, определяющей величину разновысотности осей.

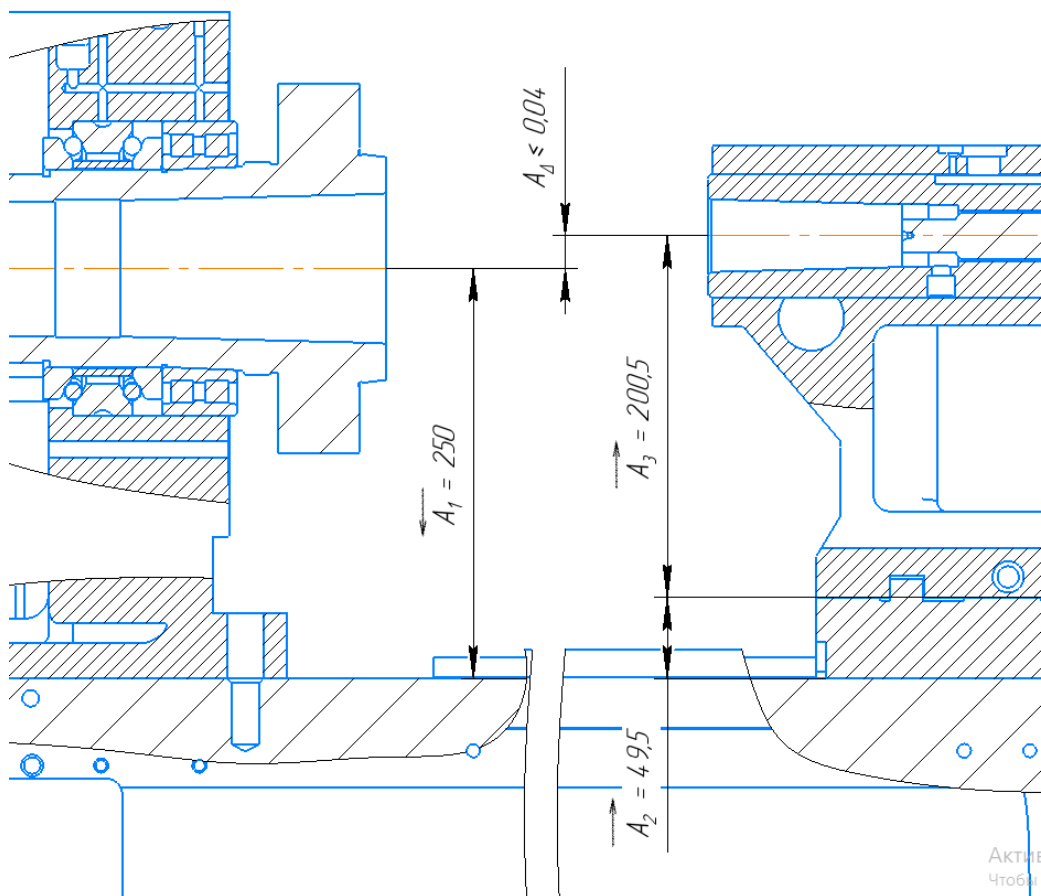


Рисунок 8 – Схема размерной цепи

Уравнение размерной цепи согласно рисунку 1

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 + A_3.$$

1) Выполним расчет методом полной взаимозаменяемости. При этом методе должно быть соблюдено условие $\sum_{i=1}^{m-1} |\xi_{A_i}| T_{A_i} = T_{A\Delta}$. В линейной размерной цепи $|\xi_{A_i}| = 1$.

Рассчитаем среднюю величину допуска $T_{\text{ср}} = \frac{T_{A\Delta}}{m-1} = \frac{0.02}{3} = 0,0065 \text{ мм}$

Учитывая степень сложности достижения требуемой точности

составляющих звеньев, устанавливаем подбором: $T_{A1} = 0,008 \text{ мм}$, $T_{A2} = 0,004 \text{ мм}$, $T_{A3} = 0,008 \text{ мм}$.

Принимаем координаты середин полей допусков $\Delta_{0A1} = -0,004 \text{ мм}$, $\Delta_{0A3} = +0,004 \text{ мм}$.

Координату середины поля допуска второго звена находим из уравнения:

$$\Delta_{0A\Delta} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{\Delta_{0Ai}} - \sum_{n+1}^{m-1} \overleftarrow{\Delta_{0Ai}} = -\Delta_{0A1} + \Delta_{0A2} + \Delta_{0A3},$$

$$0,01 = -(-0,004) + \Delta_{0A2} + 0,004.$$

Следовательно, $\Delta_{0A2} = 0,01 - 0,004 - 0,004 = 0,002$ мм

Проверяем правильность назначения допусков:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{нАД}} &= \Delta_{0A\Delta} - \frac{T_{A\Delta}}{2} = -(-0,004) + 0,002 + 0,004 - \frac{0,008 + 0,004 + 0,008}{2} \\ &= 0 \text{ мм;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{вАД}} &= \Delta_{0A\Delta} + \frac{T_{A\Delta}}{2} = -(-0,004) + 0,002 + 0,004 + \frac{0,008 + 0,004 + 0,008}{2} \\ &= 0,02 \text{ мм;} \end{aligned}$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что допуски установлены верно.

Выполним расчет методом неполной взаимозаменяемости.

Известно, что при расчете по вероятностному способу $T_{A\Delta} =$

$$t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2}$$

Примем экономически оправданным риск $P = 10\%$, при котором коэффициент риска $t_{\Delta} = 1,66$.

Полагая, что условия изготовления деталей таковы, что распределение отклонений размеров будет близким к закону Гаусса, принимаем: $\lambda_{Ai}^2 = \frac{1}{9}$.

Определим величину

$$\sum T_{Ai}^2 = \frac{T_{A\Delta}^2}{t_{\Delta}^2 \xi^2 \lambda_{Ai}^2} = \frac{0,02^2}{1,66^2 * 1 * \frac{1}{9}} = \frac{0,0004}{2,756 * \frac{1}{9}} = 0,00131 \text{ мм}$$

Примем, что $T_{A1} = 0,45 * T_{A\Delta}$, $T_{A2} = 0,1 * T_{A\Delta}$, $T_{A3} = 0,45 * T_{A\Delta}$,

Введем величину $T_{A\Delta}^*$, предназначенную для разбиения допуска замыкающего звена на принятые выше доли. Заменим в уравнениях долей $T_{A\Delta}$ на $T_{A\Delta}^*$, тогда

$$\begin{aligned} \sum T_{Ai}^2 &= T_{A1}^2 + T_{A2}^2 + T_{A3}^2 = (0,45 * T_{A\Delta}^*)^2 + (0,1 * T_{A\Delta}^*)^2 + (0,45 * T_{A\Delta}^*)^2 \\ &= 0,00131 \text{ мм} \end{aligned}$$

Упростив выражение, получим

$$0,415 * (T_{A\Delta}^*)^2 = 0,00131$$

$$\text{Тогда, } T_{A\Delta}^* = \sqrt{\frac{0,00131}{0,415}} = 0,056 \text{ мм}$$

Следовательно,

$$T_{A1} = 0,45 * T_{A\Delta}^* = 0,45 * 0,056 = 0,025 \text{ мм},$$

$$T_{A2} = 0,1 * T_{A\Delta}^* = 0,1 * 0,056 = 0,0056 \text{ мм},$$

$$T_{A3} = 0,45 * T_{A\Delta}^* = 0,45 * 0,056 = 0,025 \text{ мм}.$$

Окончательно принимаем следующие значения $T_{A1} = 0,025 \text{ мм}$, $T_{A2} = 0,006 \text{ мм}$, $T_{A3} = 0,025 \text{ мм}$.

Определим также величину среднего допуска

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{A\Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi^2 \lambda_{Ai}^2}} = \frac{0,02}{1,66 * \sqrt{\frac{1}{9} * 3}} = 0,021 \text{ мм}$$

Выполним проверку правильности назначения величин допусков:

$$T_{\Delta\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2} = 1,66 \sqrt{\frac{1}{9} (0,025^2 + 0,006^2 + 0,025^2)} = 0,0198 \text{ мм.}$$

С учетом округлений результат верен.

Принимаем координаты средин полей допусков $\Delta_{0A1} = 0 \text{ мм}$, $\Delta_{0A3} = 0 \text{ мм}$.

Координату середины поля допуска второго звена находим из уравнения:

$$\Delta_{0A\Delta} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{\Delta_{0Ai}} - \sum_{n+1}^{m-1} \overleftarrow{\Delta_{0Ai}} = -\Delta_{0A1} + \Delta_{0A2} + \Delta_{0A3},$$

$$0,01 = 0 + \Delta_{0A2} + 0.$$

Следовательно, $\Delta_{0A2} = 0,01 - 0 - 0 = 0,01 \text{ мм}$.

$$\Delta_{\text{H}\Delta\Delta} = \Delta_{0A\Delta} - \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 (T_{Ai}^2)}$$

$$= 0 + 0,01 + 0 - \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,025^2 + 0,006^2 + 0,025^2)} = 0;$$

$$\Delta_{\text{B}\Delta\Delta} = \Delta_{0A\Delta} + \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 (T_{Ai}^2)}$$

$$= 0 + 0,01 + 0 + \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,025^2 + 0,006^2 + 0,025^2)} = 0,02 \text{ мм};$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что допуски установлены верно.

Покажем отношения допусков, рассчитанных методом неполной взаимозаменяемости к допускам, рассчитанным методом полной взаимозаменяемости:

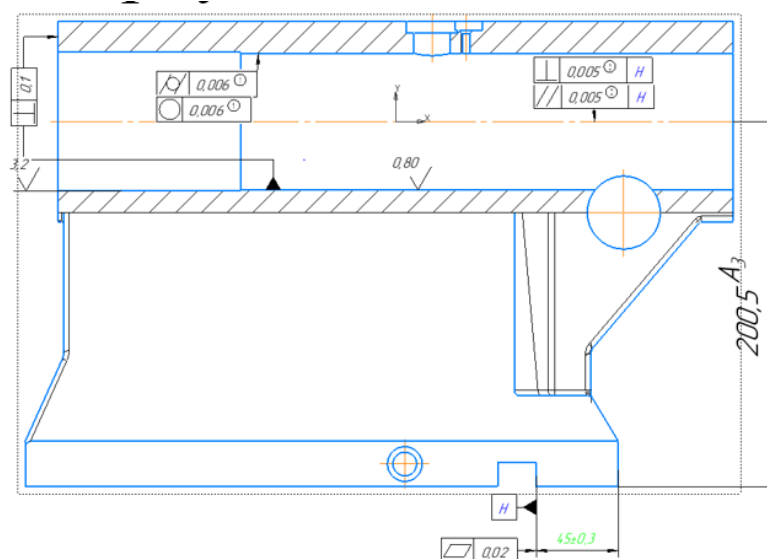
$$\frac{T_{A1}(\text{неполн})}{T_{A1}(\text{полн})} = \frac{0,025}{0,008} = 3,13 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{A2}(\text{неполн})}{T_{A2}(\text{полн})} = \frac{0,006}{0,004} = 1,5 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{A3}(\text{неполн})}{T_{A3}(\text{полн})} = \frac{0,025}{0,008} = 3,13 \text{ раза}$$

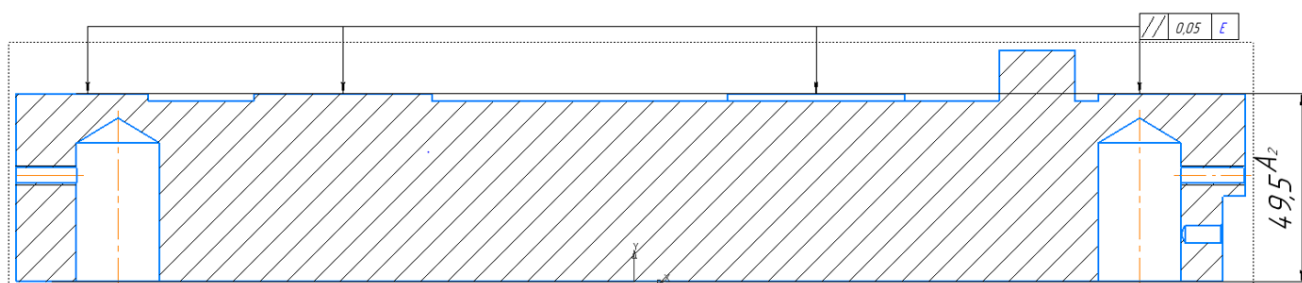
Вывод: расчет полной и неполной взаимозаменяемости показали, что при вероятности брака 10% для станка класса точности П увеличились в 3,13 раза.

Для расчета параметра «одновысотность оси вращения передний бабки и оси отверстия пиноли» для двух классов точности станка определены основные элементы несущей системы. А именно корпус задний бабки (рисунок 9), где допуск задавался на параллельность оси отверстия относительно поверхности основания задней бабки, размер на расчетной схеме A_3 . Следующая деталь несущей системы – это салазки задней бабки (рисунок 10), допуск назначался на параллельность двух плоскостей детали, размер A_2 . Замыкающим звеном для расчета размерной цепи является размер A_{Δ} .



Одновысотность оси вращения шпиндельной передней бабки и оси отверстия пиноли				
Нормальный класс точности			Повышенный класс точности	
	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости
A ₃	0,05 мм	0,018 мм	0,025 мм	0,008 мм

Рисунок 9 – Корпус задней бабки



Одновысотность оси вращения шпиндельной передней бабки и оси отверстия пиноли				
Нормальный класс точности			Повышенный класс точности	
	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости
A ₂	0,012 мм	0,004 мм	0,006 мм	0,004 мм

Рисунок 10 – Салазки задней бабки

6. Расчет параметра на параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости.

Обеспечить соответствие станка СТ16К20 требованиям п. 4.13 «Прямолинейность и параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости». На рисунке 11 показана выдержка из ГОСТа 18097-93.

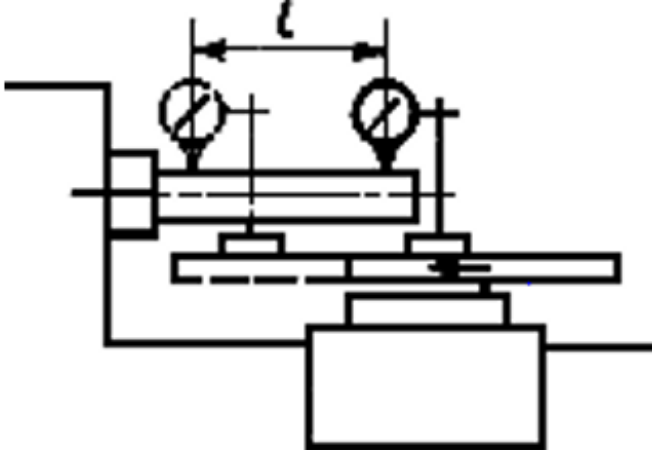
Тип измерения	Класс точности станка	
	Нормальный	Повышенный
<ul style="list-style-type: none"> Прямолинейность и параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости 	40мкм	25мкм

Рисунок 11 – Выдержка из ГОСТ 18097-93

6.1 Расчет станка для нормального класса точности.

Станок СТ16К25 имеет класс точности Н. По требованию заказчика возможно изготовление станка класса точности П. Станок имеет наибольший диаметр обработки над станиной $D_a = 500$ мм. Длину измерения l принимаем равной 300 мм. Тогда допуск для класса точности Н равен 40 мкм, для П – 25

мкм. Учитывая комплексный характер допуска, назначим на параллельность допуски в размере 70% от нормированных. Также следует учесть то, что отклонение может быть направлено как в одну сторону, так и в другую. Следовательно, нормативные значения следует увеличить в 2 раза, то есть для класса Н – $T_{\beta_{\Delta}} = 56$ мкм, для П – $T_{\beta_{\Delta}} = 36$ мкм. При этом для класса точности Н координата середины поля допуска $\Delta_{0\beta_{\Delta}} = 0$ мм, а верхнее предельное отклонение $\Delta_{в\beta_{\Delta}} = 0,028$ мм; нижнее предельное отклонение $\Delta_{н\beta_{\Delta}} = -0,028$ мм. Для класса точности П координата середины поля допуска $\Delta_{0\beta_{\Delta}} = 0$ мм, а верхнее предельное отклонение $\Delta_{в\beta_{\Delta}} = 0,018$ мм; нижнее предельное отклонение $\Delta_{н\beta_{\Delta}} = -0,018$ мм.

На рисунке 12 приведена схема размерной цепи для расчета.

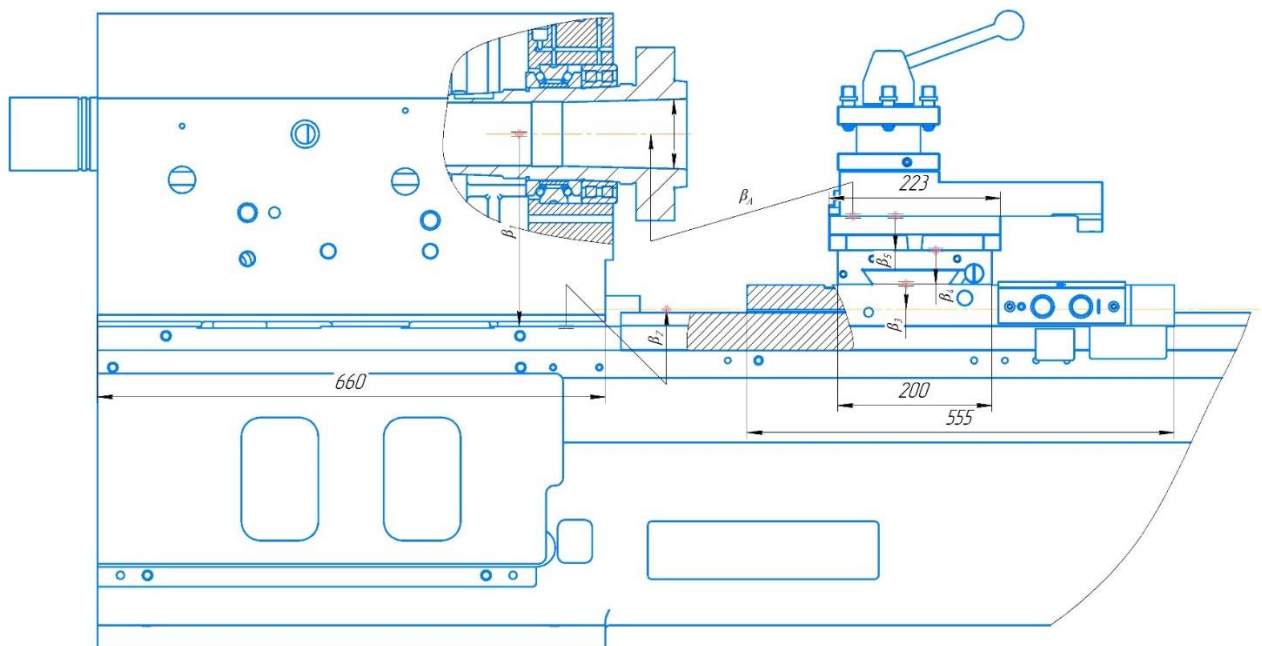


Рисунок 12 – Расчетная схема

Уравнение размерной цепи согласно рисунку 12.

$$\beta_{\Delta} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5.$$

1) Выполним расчет методом полной взаимозаменяемости. При этом методе должно быть соблюдено условие $\sum_{i=1}^{m-1} |\xi_{A_i}| T_{A_i} = T_{A\Delta}$. В линейной размерной цепи $|\xi_{A_i}| = 1$.

Рассчитаем среднюю величину допуска $T_{\text{ср}} = \frac{T_{\beta\Delta}}{m-1} = \frac{0,056}{5} = 0,0112 \text{ мм}$

Учитывая степень сложности достижения требуемой точности составляющих звеньев, устанавливаем подбором: $T_{\beta_1} = 0,020 \text{ мм}$, $T_{\beta_2} = 0,004 \text{ мм}$, $T_{\beta_3} = 0,016 \text{ мм}$, $T_{\beta_4} = 0,008 \text{ мм}$, $T_{\beta_5} = 0,008 \text{ мм}$. Данные величины приведены к длине измерения $l = 300 \text{ мм}$. В дальнейшем потребуются пересчет под действительные длины контактирующих поверхностей.

Принимаем координаты средин полей допусков $\Delta_{0\beta_1} = \Delta_{0\beta_2} = \Delta_{0\beta_3} = \Delta_{0\beta_4} = \Delta_{0\beta_5} = 0 \text{ мм}$.

Проверяем правильность назначения допусков:

$$\Delta_{\text{н}\beta\Delta} = \Delta_{0\beta\Delta} - \frac{T_{\beta\Delta}}{2} = 0 + 0 + 0 - \frac{0,020 + 0,004 + 0,016 + 0,008 + 0,008}{2} = -0,028;$$

$$\Delta_{\text{в}\beta\Delta} = \Delta_{0\beta\Delta} + \frac{T_{\beta\Delta}}{2} = 0 + 0 + 0 + \frac{0,020 + 0,004 + 0,016 + 0,008 + 0,008}{2} = 0,028;$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что допуски установлены верно.

Выполним приведение полученных значений допусков к необходимым длинам в соответствии со схемой:

$$T'_{\beta_1} = \frac{T_{\beta_1} * l_1}{300} = \frac{0,020 * 300}{300} = 0,020 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_2} = \frac{T_{\beta_2} * l_2}{300} = \frac{0,004 * 660}{300} = 0,0088 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_3} = \frac{T_{\beta_3} * l_3}{300} = \frac{0,016 * 200}{300} = 0,011 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_4} = \frac{T_{\beta_4} * l_4}{300} = \frac{0,008 * 200}{300} = 0,0055 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_5} = \frac{T_{\beta_5} * l_5}{300} = \frac{0,008 * 223}{300} = 0,006 \text{ мм};$$

Определим предельные отклонения для звеньев:

$$\Delta_{H\beta_1} = \Delta_{0\beta_1} - \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 - \frac{0,020}{2} = -0,010; \Delta_{B\beta_1} = \Delta_{0\beta_1} + \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 + \frac{0,020}{2} = 0,010 \text{ мм};$$

$$\Delta_{H\beta_2} = \Delta_{0\beta_2} - \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 - \frac{0,0088}{2} = -0,0044; \Delta_{B\beta_2} = \Delta_{0\beta_2} + \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 + \frac{0,0088}{2} = 0,0044 \text{ мм};$$

$$\Delta_{H\beta_3} = \Delta_{0\beta_3} - \frac{T'_{\beta_3}}{2} = 0 - \frac{0,011}{2} = -0,0055; \Delta_{B\beta_3} = \Delta_{0\beta_3} + \frac{T'_{\beta_3}}{2} = 0 + \frac{0,011}{2} = 0,0055 \text{ мм};$$

$$\Delta_{H\beta_4} = \Delta_{0\beta_4} - \frac{T'_{\beta_4}}{2} = 0 - \frac{0,0055}{2} = -0,00275; \Delta_{B\beta_4} = \Delta_{0\beta_4} + \frac{T'_{\beta_4}}{2} = 0 + \frac{0,0055}{2} = 0,00275 \text{ мм};$$

$$\Delta_{H\beta_5} = \Delta_{0\beta_5} - \frac{T'_{\beta_5}}{2} = 0 - \frac{0,006}{2} = -0,003; \Delta_{B\beta_5} = \Delta_{0\beta_5} + \frac{T'_{\beta_5}}{2} = 0 + \frac{0,006}{2} = 0,003 \text{ мм};$$

2) Выполним расчет методом неполной взаимозаменяемости

Известно, что при расчете по вероятностному способу $T_{\Delta\Delta} =$

$$t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2}$$

Примем экономически оправданным риск $P = 10\%$, при котором коэффициент риска $t_{\Delta} = 1,66$.

Полагая, что условия изготовления деталей таковы, что распределение отклонений размеров будет близким к закону Гаусса, принимаем: $\lambda_{Ai}^2 = \frac{1}{9}$.

Определим величину

$$\sum T_{\beta i}^2 = \frac{T_{\beta \Delta}^2}{t_{\Delta}^2 \xi^2 \lambda_{Ai}^2} = \frac{0,056^2}{1,66^2 * 1 * \frac{1}{9}} = \frac{0,003136}{2,756 * \frac{1}{9}} = 0,01024 \text{ мм}$$

Примем, что $T_{\beta 1} = 0,35 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 2} = 0,07 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 3} = 0,3 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 4} = 0,14 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 5} = 0,14 * T_{\beta \Delta}$.

Введем величину $T_{\beta \Delta}^*$, предназначенную для разбиения допуска замыкающего звена на принятые выше доли. Заменим в уравнениях долей $T_{\beta \Delta}$ на $T_{\beta \Delta}^*$, тогда

$$\sum T_{\beta i}^2 = T_{\beta 1}^2 + T_{\beta 2}^2 + T_{\beta 3}^2 + T_{\beta 4}^2 + T_{\beta 5}^2 = (0,35 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,07 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,3 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,14 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,14 * T_{\beta \Delta}^*)^2 = 0,01024 \text{ мм}$$

Упростив выражение, получим

$$0,2566 * (T_{\beta \Delta}^*)^2 = 0,01024$$

$$\text{Тогда, } T_{\beta \Delta}^* = \sqrt{\frac{0,01024}{0,2566}} = 0,19977 \text{ мм}$$

Следовательно,

$$T_{\beta 1} = 0,35 * T_{\beta \Delta}^* = 0,35 * 0,19977 = 0,0699 \text{ мм},$$

$$T_{\beta 2} = 0,07 * T_{\beta \Delta}^* = 0,07 * 0,19977 = 0,01398 \text{ мм},$$

$$T_{\beta 3} = 0,3 * T_{\beta \Delta}^* = 0,3 * 0,19977 = 0,0599 \text{ мм}.$$

$$T_{\beta 4} = 0,14 * T_{\beta \Delta}^* = 0,14 * 0,19977 = 0,02796 \text{ мм}.$$

$$T_{\beta 3} = 0,14 * T_{\beta \Delta}^* = 0,14 * 0,19977 = 0,02796 \text{ мм.}$$

Окончательно принимаем следующие значения $T_{\beta 1} = 0,07 \text{ мм}$, $T_{\beta 2} = 0,014 \text{ мм}$, $T_{\beta 3} = 0,06 \text{ мм}$, $T_{\beta 4} = 0,028 \text{ мм}$, $T_{\beta 5} = 0,028 \text{ мм}$.

Определим также величину среднего допуска

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\beta \Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi^2 \lambda_{\Delta i}^2}} = \frac{0,056}{1,66 * \sqrt{\frac{1}{9} * 5}} = 0,045 \text{ мм}$$

Выполним проверку правильности назначения величин допусков:

$$\begin{aligned} T_{\beta \Delta} &= t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 T_{\beta i}^2} \\ &= 1,66 \sqrt{\frac{1}{9} (0,07^2 + 0,014^2 + 0,06^2 + 0,028^2 + 0,028^2)} \\ &= 0,056058 \text{ мм.} \end{aligned}$$

С учетом округлений результат верен.

Принимаем координаты середин полей допусков $\Delta_{0\beta 1} = \Delta_{0\beta 2} = \Delta_{0\beta 3} = \Delta_{0\beta 4} = \Delta_{0\beta 5} = 0 \text{ мм}$.

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{н}\beta \Delta} &= \Delta_{0\beta \Delta} - \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 (T_{\beta i}^2)} \\ &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 \\ &\quad - \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,07^2 + 0,014^2 + 0,06^2 + 0,028^2 + 0,028^2)} \\ &= -0,028029 \text{ мм;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{в\beta\Delta} &= \Delta_{0\beta\Delta} + \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 (T_{\beta i}^2)} \\
&= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 \\
&+ \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,07^2 + 0,014^2 + 0,06^2 + 0,028^2 + 0,028^2)} \\
&= +0,028029 \text{ мм};
\end{aligned}$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что, с учетом округления, допуски установлены верно.

Выполним приведение полученных значений допусков к необходимым длинам в соответствии со схемой:

$$T'_{\beta_1} = \frac{T_{\beta_1} * l_1}{300} = \frac{0,070 * 300}{300} = 0,070 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_2} = \frac{T_{\beta_2} * l_2}{300} = \frac{0,014 * 660}{300} = 0,0308 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_3} = \frac{T_{\beta_3} * l_3}{300} = \frac{0,06 * 200}{300} = 0,04 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_4} = \frac{T_{\beta_4} * l_4}{300} = \frac{0,028 * 200}{300} = 0,0186 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_5} = \frac{T_{\beta_5} * l_5}{300} = \frac{0,028 * 223}{300} = 0,0208 \text{ мм};$$

Определим предельные отклонения для звеньев:

$$\begin{aligned}
\Delta_{н\beta 1} &= \Delta_{0\beta 1} - \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 - \frac{0,070}{2} = -0,035; \Delta_{в\beta 1} = \Delta_{0\beta 1} + \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 + \frac{0,070}{2} \\
&= 0,035 \text{ мм};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{н\beta 2} &= \Delta_{0\beta 2} - \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 - \frac{0,0308}{2} = -0,0154; \Delta_{в\beta 2} = \Delta_{0\beta 2} + \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 + \frac{0,0308}{2} \\
&= 0,0154 \text{ мм};
\end{aligned}$$

$$\Delta_{н\beta 3} = \Delta_{0\beta 3} - \frac{T'_{\beta 3}}{2} = 0 - \frac{0,04}{2} = -0,02; \Delta_{в\beta 3} = \Delta_{0\beta 3} + \frac{T'_{\beta 3}}{2} = 0 + \frac{0,04}{2} = 0,02 \text{ мм};$$

$$\Delta_{н\beta 4} = \Delta_{0\beta 4} - \frac{T'_{\beta 4}}{2} = 0 - \frac{0,0186}{2} = -0,0093; \Delta_{в\beta 4} = \Delta_{0\beta 4} + \frac{T'_{\beta 4}}{2} = 0 + \frac{0,0186}{2} = 0,0093 \text{ мм};$$

$$\Delta_{н\beta 5} = \Delta_{0\beta 5} - \frac{T'_{\beta 5}}{2} = 0 - \frac{0,0208}{2} = -0,0104; \Delta_{в\beta 5} = \Delta_{0\beta 5} + \frac{T'_{\beta 5}}{2} = 0 + \frac{0,0208}{2} = 0,0104 \text{ мм};$$

Покажем отношения допусков, рассчитанных методом неполной взаимозаменяемости к допускам, рассчитанным методом полной взаимозаменяемости:

$$\frac{T_{\beta 1}(\text{неполн})}{T_{\beta 1}(\text{полн})} = \frac{0,07}{0,02} = 3,5 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta 2}(\text{неполн})}{T_{\beta 2}(\text{полн})} = \frac{0,014}{0,004} = 3,5 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta 3}(\text{неполн})}{T_{\beta 3}(\text{полн})} = \frac{0,06}{0,016} = 3,75 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta 4}(\text{неполн})}{T_{\beta 4}(\text{полн})} = \frac{0,028}{0,008} = 3,5 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta 5}(\text{неполн})}{T_{\beta 5}(\text{полн})} = \frac{0,028}{0,008} = 3,5 \text{ раза}$$

(В данном случае используются допуски на 300 мм измеряемой длины).

Вывод: расчет полной и неполной взаимозаменяемости показали, что при вероятности брака 10% для станка класса точности Н необходимые допуски увеличились в 3,5 раза.

6.2 Расчет станка для повышенного класса точности.

Станок СТ16К25 имеет класс точности Н. По требованию заказчика возможно изготовление станка класса точности П. Станок имеет наибольший диаметр обработки над станиной $D_a = 500$ мм. Длину измерения l принимаем равной 300 мм. Тогда допуск для класса точности П равен 25 мкм. Учитывая комплексный характер допуска, назначим на параллельность допуски в размере 70% от нормированных.

На рисунке 13 приведена схема для расчета.

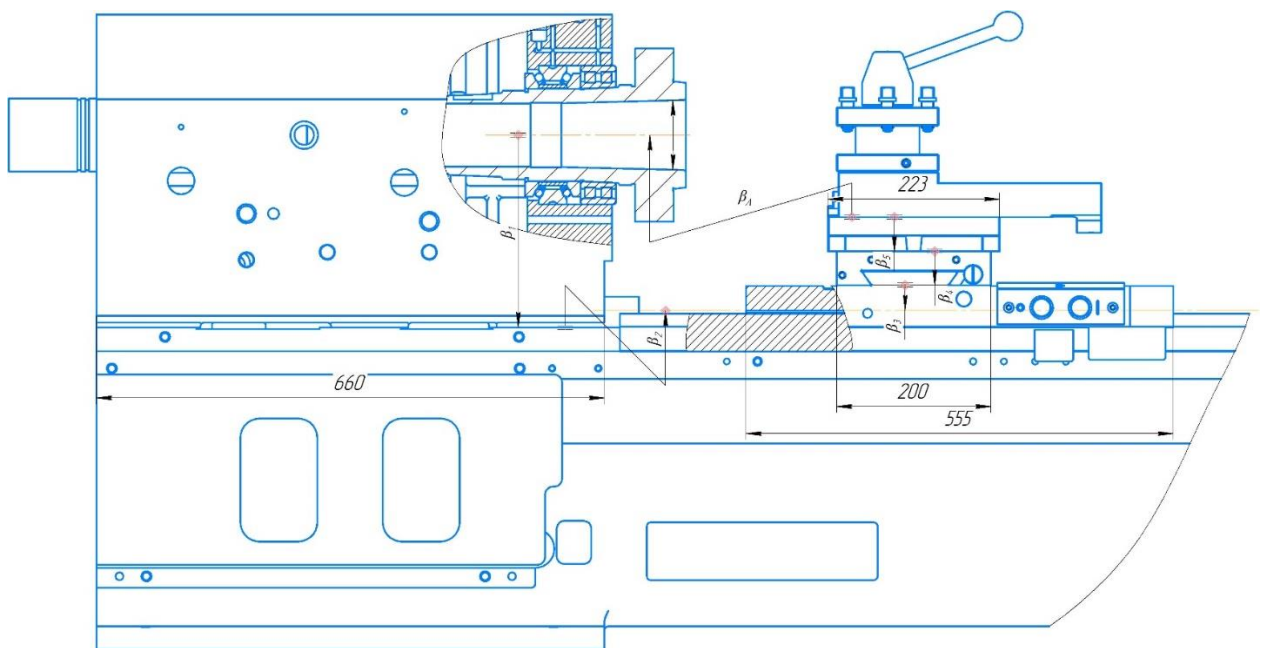


Рисунок 13 – Расчетная схема

1) Выполним расчет методом полной взаимозаменяемости. При этом методе должно быть соблюдено условие $\sum_{i=1}^{m-1} |\xi_{A_i}| T_{A_i} = T_{A\Delta}$. В линейной размерной цепи $|\xi_{A_i}| = 1$.

Рассчитаем среднюю величину допуска $T_{cp} = \frac{T_{\beta\Delta}}{m-1} = \frac{0.036}{5} = 0,0072$ мм

Учитывая степень сложности достижения требуемой точности составляющих звеньев, устанавливаем подбором: $T_{\beta_1} = 0,012$ мм, $T_{\beta_2} =$

0,004 мм, $T_{\beta_3} = 0,01$ мм $T_{\beta_4} = 0,005$ мм $T_{\beta_5} = 0,005$ мм. Данные величины приведены к длине измерения $l = 300$ мм. В дальнейшем потребуется пересчет под действительные длины контактирующих поверхностей.

Принимаем координаты средин полей допусков $\Delta_{0\beta_1} = \Delta_{0\beta_2} = \Delta_{0\beta_3} = \Delta_{0\beta_4} = \Delta_{0\beta_5} = 0$ мм.

Проверяем правильность назначения допусков:

$$\Delta_{н\beta\Delta} = \Delta_{0\beta\Delta} - \frac{T_{\beta\Delta}}{2} = 0 + 0 + 0 - \frac{0,012 + 0,004 + 0,01 + 0,005 + 0,005}{2} \\ = -0,018 \text{ мм};$$

$$\Delta_{в\beta\Delta} = \Delta_{0\beta\Delta} + \frac{T_{\beta\Delta}}{2} = 0 + 0 + 0 + \frac{0,012 + 0,004 + 0,01 + 0,005 + 0,005}{2} \\ = 0,018 \text{ мм};$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что допуски установлены верно.

Выполним приведение полученных значений допусков к необходимым длинам в соответствии со схемой:

$$T'_{\beta_1} = \frac{T_{\beta_1} * l_1}{300} = \frac{0,012 * 300}{300} = 0,012 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_2} = \frac{T_{\beta_2} * l_2}{300} = \frac{0,004 * 660}{300} = 0,0088 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_3} = \frac{T_{\beta_3} * l_3}{300} = \frac{0,01 * 200}{300} = 0,0066 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_4} = \frac{T_{\beta_4} * l_4}{300} = \frac{0,005 * 200}{300} = 0,0033 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_5} = \frac{T_{\beta_5} * l_5}{300} = \frac{0,005 * 223}{300} = 0,0037 \text{ мм};$$

Определим предельные отклонения для звеньев:

$$\Delta_{\text{H}\beta 1} = \Delta_{0\beta 1} - \frac{T'_{\beta 1}}{2} = 0 - \frac{0,012}{2} = -0,006; \Delta_{\text{B}\beta 1} = \Delta_{0\beta 1} + \frac{T'_{\beta 1}}{2} = 0 + \frac{0,012}{2} = 0,006 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{H}\beta 2} = \Delta_{0\beta 2} - \frac{T'_{\beta 2}}{2} = 0 - \frac{0,0088}{2} = -0,0044; \Delta_{\text{B}\beta 2} = \Delta_{0\beta 2} + \frac{T'_{\beta 2}}{2} = 0 + \frac{0,0088}{2} = 0,0044 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{H}\beta 3} = \Delta_{0\beta 3} - \frac{T'_{\beta 3}}{2} = 0 - \frac{0,0066}{2} = -0,0033; \Delta_{\text{B}\beta 3} = \Delta_{0\beta 3} + \frac{T'_{\beta 3}}{2} = 0 + \frac{0,0066}{2} = 0,0033 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{H}\beta 4} = \Delta_{0\beta 4} - \frac{T'_{\beta 4}}{2} = 0 - \frac{0,0033}{2} = -0,00165; \Delta_{\text{B}\beta 4} = \Delta_{0\beta 4} + \frac{T'_{\beta 4}}{2} = 0 + \frac{0,0033}{2} = 0,00165 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{H}\beta 5} = \Delta_{0\beta 5} - \frac{T'_{\beta 5}}{2} = 0 - \frac{0,0037}{2} = -0,00185; \Delta_{\text{B}\beta 5} = \Delta_{0\beta 5} + \frac{T'_{\beta 5}}{2} = 0 + \frac{0,0037}{2} = 0,00185 \text{ мм};$$

2) Выполним расчет методом неполной взаимозаменяемости

Известно, что при расчете по вероятностному способу $T_{\Delta\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2}$

Примем экономически оправданным риск $P = 10\%$, при котором коэффициент риска $t_{\Delta} = 1,66$.

Полагая, что условия изготовления деталей таковы, что распределение отклонений размеров будет близким к закону Гаусса, принимаем: $\lambda_{Ai}^2 = \frac{1}{9}$.

Определим величину

$$\sum T_{\beta i}^2 = \frac{T_{\beta \Delta}^2}{t_{\Delta}^2 \xi^2 \lambda_{Ai}^2} = \frac{0,036^2}{1,66^2 * 1 * \frac{1}{9}} = \frac{0,001296}{2,756 * \frac{1}{9}} = 0,00423 \text{ мм}$$

Примем, что $T_{\beta 1} = 0,35 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 2} = 0,07 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 3} = 0,3 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 4} = 0,14 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 5} = 0,14 * T_{\beta \Delta}$.

Введем величину $T_{\beta \Delta}^*$, предназначенную для разбиения допуска замыкающего звена на принятые выше доли. Заменим в уравнениях долей $T_{\beta \Delta}$ на $T_{\beta \Delta}^*$, тогда

$$\begin{aligned} \sum T_{\beta i}^2 &= T_{\beta 1}^2 + T_{\beta 2}^2 + T_{\beta 3}^2 + T_{\beta 4}^2 + T_{\beta 5}^2 \\ &= (0,35 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,07 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,3 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,14 * T_{\beta \Delta}^*)^2 \\ &\quad + (0,14 * T_{\beta \Delta}^*)^2 = 0,00423 \text{ мм} \end{aligned}$$

Упростив выражение, получим

$$0,2566 * (T_{\beta \Delta}^*)^2 = 0,00423$$

$$\text{Тогда, } T_{\beta \Delta}^* = \sqrt{\frac{0,00423}{0,2566}} = 0,1284 \text{ мм}$$

Следовательно,

$$T_{\beta 1} = 0,35 * T_{\beta \Delta}^* = 0,35 * 0,1284 = 0,0449 \text{ мм},$$

$$T_{\beta 2} = 0,07 * T_{\beta \Delta}^* = 0,07 * 0,1284 = 0,008989 \text{ мм},$$

$$T_{\beta 3} = 0,3 * T_{\beta \Delta}^* = 0,3 * 0,1284 = 0,0385 \text{ мм}.$$

$$T_{\beta 4} = 0,14 * T_{\beta \Delta}^* = 0,14 * 0,1284 = 0,0179 \text{ мм}.$$

$$T_{\beta 5} = 0,14 * T_{\beta \Delta}^* = 0,14 * 0,1284 = 0,0179 \text{ мм}.$$

Окончательно принимаем следующие значения $T_{\beta 1} = 0,05 \text{ мм}$, $T_{\beta 2} = 0,009 \text{ мм}$, $T_{\beta 3} = 0,04 \text{ мм}$, $T_{\beta 4} = 0,018 \text{ мм}$, $T_{\beta 5} = 0,018 \text{ мм}$.

Определим также величину среднего допуска

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\beta \Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi^2 \lambda_{Ai}^2}} = \frac{0,036}{1,66 * \sqrt{\frac{1}{9} * 5}} = 0,029 \text{ мм}$$

Выполним проверку правильности назначения величин допусков:

$$\begin{aligned}
T_{\beta\Delta} &= t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 T_{\beta i}^2} \\
&= 1,66 \sqrt{\frac{1}{9} (0,05^2 + 0,009^2 + 0,04^2 + 0,018^2 + 0,018^2)} \\
&= 0,03645 \text{ мм.}
\end{aligned}$$

С учетом округлений результат верен.

Принимаем координаты середин полей допусков $\Delta_{0\beta 1} = \Delta_{0\beta 2} = \Delta_{0\beta 3} = \Delta_{0\beta 4} = \Delta_{0\beta 5} = 0$ мм.

$$\begin{aligned}
\Delta_{н\beta\Delta} &= \Delta_{0\beta\Delta} - \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 (T_{\beta i}^2)} \\
&= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 \\
&\quad - \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,05^2 + 0,009^2 + 0,04^2 + 0,018^2 + 0,018^2)} \\
&= -0,01822 \text{ мм;}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{в\beta\Delta} &= \Delta_{0\beta\Delta} + \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 (T_{\beta i}^2)} \\
&= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 \\
&\quad + \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,05^2 + 0,009^2 + 0,04^2 + 0,018^2 + 0,018^2)} \\
&= +0,01822 \text{ мм;}
\end{aligned}$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что, с учетом округления, допуски установлены верно.

Выполним приведение полученных значений допусков к необходимым длинам в соответствии со схемой:

$$T'_{\beta_1} = \frac{T_{\beta_1} * l_1}{300} = \frac{0,050 * 300}{300} = 0,050 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_2} = \frac{T_{\beta_2} * l_2}{300} = \frac{0,009 * 660}{300} = 0,0198 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_3} = \frac{T_{\beta_3} * l_3}{300} = \frac{0,04 * 200}{300} = 0,0266 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_4} = \frac{T_{\beta_4} * l_4}{300} = \frac{0,018 * 200}{300} = 0,012 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_5} = \frac{T_{\beta_5} * l_5}{300} = \frac{0,018 * 223}{300} = 0,01338 \text{ мм};$$

Определим предельные отклонения для звеньев:

$$\Delta_{\text{н}\beta_1} = \Delta_{0\beta_1} - \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 - \frac{0,050}{2} = -0,025; \Delta_{\text{в}\beta_1} = \Delta_{0\beta_1} + \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 + \frac{0,050}{2} = 0,025 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{н}\beta_2} = \Delta_{0\beta_2} - \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 - \frac{0,0198}{2} = -0,0099; \Delta_{\text{в}\beta_2} = \Delta_{0\beta_2} + \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 + \frac{0,0198}{2} = 0,0099 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{н}\beta_3} = \Delta_{0\beta_3} - \frac{T'_{\beta_3}}{2} = 0 - \frac{0,0266}{2} = -0,0133; \Delta_{\text{в}\beta_3} = \Delta_{0\beta_3} + \frac{T'_{\beta_3}}{2} = 0 + \frac{0,0266}{2} = 0,0133 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{н}\beta_4} = \Delta_{0\beta_4} - \frac{T'_{\beta_4}}{2} = 0 - \frac{0,012}{2} = -0,006; \Delta_{\text{в}\beta_4} = \Delta_{0\beta_4} + \frac{T'_{\beta_4}}{2} = 0 + \frac{0,012}{2} = 0,006 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{н}\beta_5} = \Delta_{0\beta_5} - \frac{T'_{\beta_5}}{2} = 0 - \frac{0,01338}{2} = -0,00669; \Delta_{\text{в}\beta_5} = \Delta_{0\beta_5} + \frac{T'_{\beta_5}}{2} = 0 + \frac{0,01338}{2} = 0,00669 \text{ мм};$$

Покажем отношения допусков, рассчитанных методом неполной взаимозаменяемости к допускам, рассчитанным методом полной взаимозаменяемости:

$$\frac{T_{\beta 1}(\text{неполн})}{T_{\beta 1}(\text{полн})} = \frac{0,05}{0,012} = 4,16 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta 2}(\text{неполн})}{T_{\beta 2}(\text{полн})} = \frac{0,009}{0,004} = 2,25 \text{ раза}$$

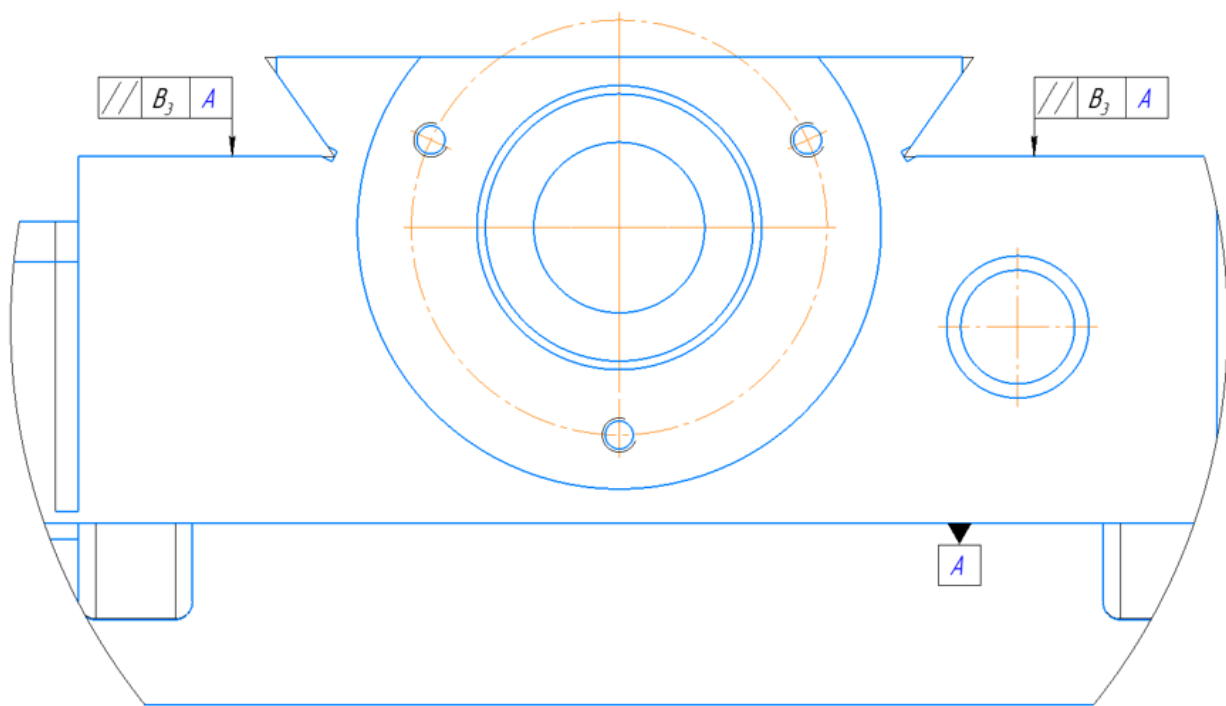
$$\frac{T_{\beta 3}(\text{неполн})}{T_{\beta 3}(\text{полн})} = \frac{0,040}{0,010} = 4 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta 4}(\text{неполн})}{T_{\beta 4}(\text{полн})} = \frac{0,018}{0,005} = 3,6 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta 5}(\text{неполн})}{T_{\beta 5}(\text{полн})} = \frac{0,018}{0,005} = 3,6 \text{ раза}$$

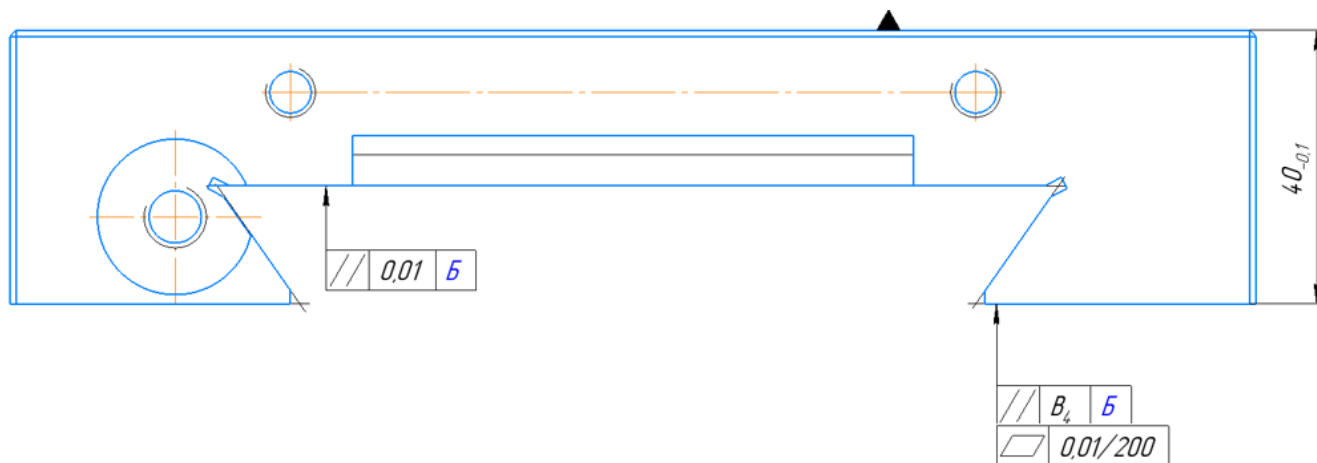
Вывод: расчет полной и неполной взаимозаменяемости показали, что при вероятности брака 10% для станка класса точности П необходимые допуски увеличились в 4 раза.

Для этого параметра основными элементами несущий системы – это суппорт продольный (рисунок 14), допуск назначен на параллельность двух поверхностей, размер между ними показан на расчетной схеме как V_3 . След элемент, несущий системы, является суппорт поперечный (рисунок 15), где допуск назначался на параллельность двух поверхностей. На расчётной схеме – это размер V_4 . И ещё одна деталь этой системы – салазки резцовые (рисунок 16). Допуск назначался на параллельность двух поверхностей. На схемы этот размер обозначили как V_5 . Замыкающим звеном является размер V_{Δ} .



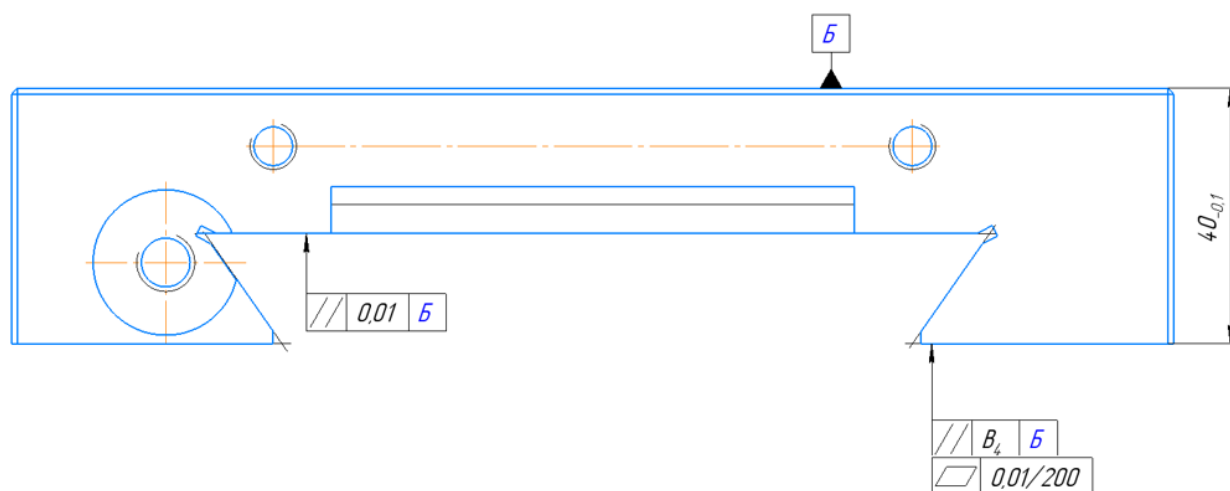
	Прямолинейность и параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости			
	Нормальный класс точности		Повышенный класс точности	
	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости
B ₃	0,06/300мм	0,0016/300мм	0,040/300мм	0,010/300мм

Рисунок 14 – Суппорт продольный



	Прямолинейность и параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости			
	Нормальный класс точности		Повышенный класс точности	
	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости
B ₄	0,08/300мм	0,008/300мм	0,018/300мм	0,005/300мм

Рисунок 15 – Суппорт поперечный



	Прямолинейность и параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости			
	Нормальный класс точности		Повышенный класс точности	
	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости
B ₄	0,08/300мм	0,008/300мм	0,018/300мм	0,005/300мм

Рисунок 16 – Салазки резцовые

7. Расчет параметра на прямолинейность траектории перемещения суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости.

Задача: обеспечить соответствие станка СТ16К20 требованиям п. 4.12 «Прямолинейность и параллельность траектории продольного перемещения суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в горизонтальной и вертикальной плоскостях». На рисунке 17 показана выдержка из ГОСТа

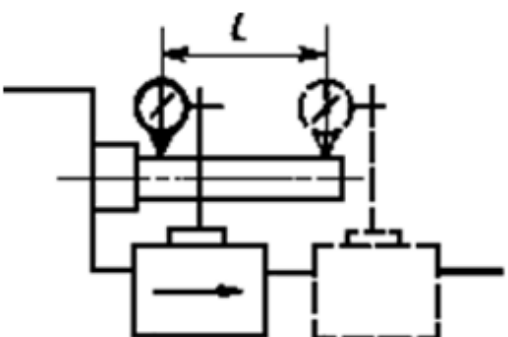
Тип измерения	Класс точности станка	
	Нормальный	Повышенный
Прямолинейность и параллельность траектории продольного перемещения суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в вертикальной плоскости на длину $L=300$ мм 	20мкм	30мкм

Рисунок 17. Выдержка из ГОСТ 18097-93

Станок СТ16К25 имеет класс точности Н. По требованию заказчика возможно изготовление станка класса точности П. Станок имеет наибольший диаметр обработки над станиной $D_a = 500$ мм. Длину измерения l принимаем равной 300 мм. Тогда допуск по пункту (б) для класса точности Н равен 15 мкм, для П – 10 мкм. Учитывая комплексный характер допуска, назначим на

параллельность допуски в размере 70% от нормированных. Также следует учесть то, что отклонение может быть направлено как в одну сторону, так и в другую. Следовательно, нормативные значения следует увеличить в 2 раза, то есть для класса Н – $T_{\beta_{\Delta}} = 20$ мкм, для П – $T_{\beta_{\Delta}} = 14$ мкм. При этом для класса точности Н координата середины поля допуска $\Delta_{0\beta_{\Delta}} = 0$ мм, а верхнее предельное отклонение $\Delta_{в\beta_{\Delta}} = 0,010$ мм; нижнее предельное отклонение $\Delta_{н\beta_{\Delta}} = -0,010$ мм. Для класса точности П координата середины поля допуска $\Delta_{0\beta_{\Delta}} = 0$ мм, а верхнее предельное отклонение $\Delta_{в\beta_{\Delta}} = 0,007$ мм; нижнее предельное отклонение $\Delta_{н\beta_{\Delta}} = -0,007$ мм.

Выполнение расчета по пункту (а) не имеет смысла, так как обеспечение данного требования выполняется конструктивно предусмотренной регулировкой положения передней бабки относительно направляющих станины.

На рис. 18 приведена схема размерной цепи.

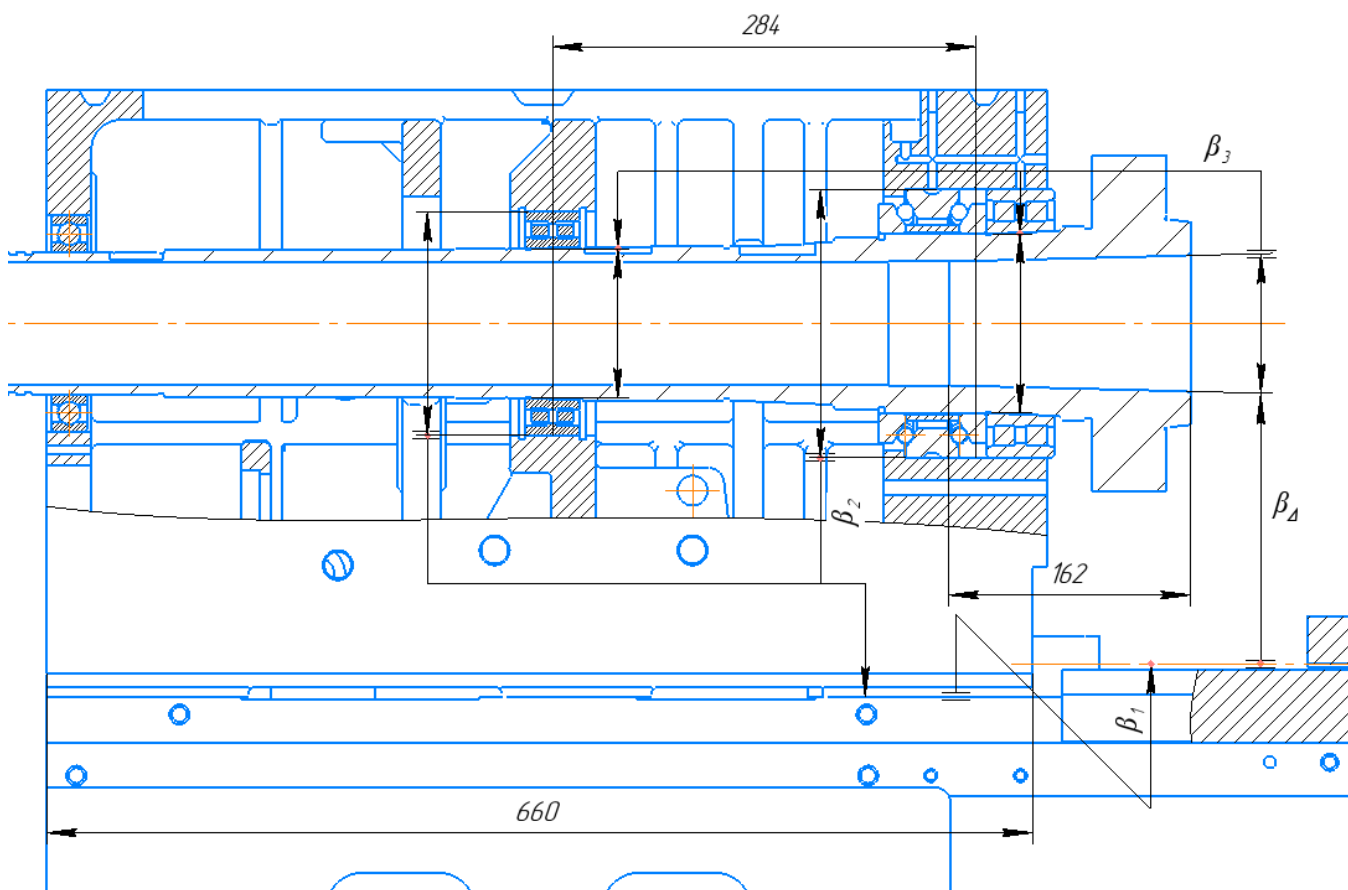


Рисунок 18. Размерная цепь

Уравнение размерной цепи согласно рисунку 2.

$$\beta_{\Delta} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$$

7.1 Расчет для нормального класса точности.

1) Выполним расчет методом полной взаимозаменяемости. При этом методе должно быть соблюдено условие $\sum_{i=1}^{m-1} |\xi_{A_i}| T_{A_i} = T_{A\Delta}$. В линейной размерной цепи $|\xi_{A_i}| = 1$.

Рассчитаем среднюю величину допуска $T_{\text{ср}} = \frac{T_{\beta_{\Delta}}}{m-1} = \frac{0.020}{3} = 0,0066 \text{ мм}$

Учитывая степень сложности достижения требуемой точности составляющих звеньев, устанавливаем подбором: $T_{\beta_1} = 0,005 \text{ мм}$, $T_{\beta_2} = 0,010 \text{ мм}$, $T_{\beta_3} = 0,005 \text{ мм}$. Данные величины приведены к длине измерения $l = 300 \text{ мм}$. В дальнейшем потребуется пересчет под действительные длины контактирующих поверхностей.

Принимаем координаты середин полей допусков $\Delta_{0\beta_1} = \Delta_{0\beta_2} = \Delta_{0\beta_3} = \Delta_{0\beta_4} = \Delta_{0\beta_5} = 0 \text{ мм}$.

Проверяем правильность назначения допусков:

$$\Delta_{\text{н}\beta_{\Delta}} = \Delta_{0\beta_{\Delta}} - \frac{T_{\beta_{\Delta}}}{2} = 0 + 0 + 0 - \frac{0,005 + 0,010 + 0,005}{2} = -0,010;$$

$$\Delta_{\text{в}\beta_{\Delta}} = \Delta_{0\beta_{\Delta}} + \frac{T_{\beta_{\Delta}}}{2} = 0 + 0 + 0 + \frac{0,005 + 0,010 + 0,005}{2} = 0,010;$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что допуски установлены верно.

Выполним приведение полученных значений допусков к необходимым длинам в соответствии со схемой:

$$T'_{\beta_1} = \frac{T_{\beta_1} * l_1}{300} = \frac{0.005 * 660}{300} = 0,011 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_2} = \frac{T_{\beta_2} * l_2}{300} = \frac{0.010 * 284}{300} = 0,0095 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_3} = \frac{T_{\beta_3} * l_3}{300} = \frac{0.005 * 162}{300} = 0,0027 \text{ мм};$$

Определим предельные отклонения для звеньев:

$$\Delta_{H\beta_1} = \Delta_{0\beta_1} - \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 - \frac{0,011}{2} = -0,0055; \Delta_{B\beta_1} = \Delta_{0\beta_1} + \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 + \frac{0,011}{2} = 0,0055;$$

$$\Delta_{H\beta_2} = \Delta_{0\beta_2} - \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 - \frac{0,0095}{2} = -0,0048; \Delta_{B\beta_2} = \Delta_{0\beta_2} + \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 + \frac{0,0095}{2} = 0,0048;$$

$$\Delta_{H\beta_3} = \Delta_{0\beta_3} - \frac{T'_{\beta_3}}{2} = 0 - \frac{0,0027}{2} = -0,0014; \Delta_{B\beta_3} = \Delta_{0\beta_3} + \frac{T'_{\beta_3}}{2} = 0 + \frac{0,0027}{2} = 0,0014;$$

2) Выполним расчет методом неполной взаимозаменяемости

Известно, что при расчете по вероятностному способу $T_{A\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2}$

Примем экономически оправданным риск $P = 10\%$, при котором коэффициент риска $t_{\Delta} = 1,66$.

Полагая, что условия изготовления деталей таковы, что распределение отклонений размеров будет близким к закону Гаусса, принимаем: $\lambda_{Ai}^2 = \frac{1}{9}$.

Определим величину

$$\sum T_{\beta i}^2 = \frac{T_{\beta \Delta}^2}{t_{\Delta}^2 \xi^2 \lambda_{Ai}^2} = \frac{0,020^2}{1,66^2 * 1 * \frac{1}{9}} = \frac{0,003136}{2,756 * \frac{1}{9}} = 0,001306$$

Примем, что $T_{\beta 1} = 0,25 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 2} = 0,5 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 3} = 0,25 * T_{\beta \Delta}$.

Введем величину $T_{\beta \Delta}^*$, предназначенную для разбиения допуска замыкающего звена на принятые выше доли. Заменим в уравнениях долей $T_{\beta \Delta}$ на $T_{\beta \Delta}^*$, тогда

$$\begin{aligned} \sum T_{\beta i}^2 &= T_{\beta 1}^2 + T_{\beta 2}^2 + T_{\beta 3}^2 = (0,25 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,5 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,25 * T_{\beta \Delta}^*)^2 \\ &= 0,001306 \end{aligned}$$

Упростив выражение, получим

$$0,375 * (T_{\beta \Delta}^*)^2 = 0,001306$$

$$\text{Тогда, } T_{\beta \Delta}^* = \sqrt{\frac{0,001306}{0,375}} = 0,059$$

Следовательно,

$$T_{\beta 1} = T_{\beta 3} = 0,25 * T_{\beta \Delta}^* = 0,25 * 0,059 = 0,015 ,$$

$$T_{\beta 2} = 0,5 * T_{\beta \Delta}^* = 0,5 * 0,059 = 0,03 ,$$

Окончательно принимаем следующие значения $T_{\beta 1} = T_{\beta 3} = 0,015$ мм, $T_{\beta 2} = 0,030$ мм,

Определим также величину среднего допуска

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\beta \Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi^2 \lambda_{Ai}^2}} = \frac{0,020}{1,66 * \sqrt{\frac{1}{9} * 3}} = 0,021 \text{ мм}$$

Выполним проверку правильности назначения величин допусков:

$$T_{\beta \Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 T_{\beta i}^2} = 1,66 \sqrt{\frac{1}{9} (0,015^2 + 0,03^2 + 0,015^2)} = 0,020.$$

С учетом округлений результат верен.

Принимаем координаты средин полей допусков $\Delta_{0\beta 1} = \Delta_{0\beta 2} = \Delta_{0\beta 3} = \Delta_{0\beta 4} = \Delta_{0\beta 5} = 0$ мм.

$$\begin{aligned}\Delta_{н\beta\Delta} &= \Delta_{0\beta\Delta} - \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 (T_{\beta i}^2)} \\ &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 - \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,015^2 + 0,03^2 + 0,015^2)} \\ &= -0,010;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{в\beta\Delta} &= \Delta_{0\beta\Delta} + \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 (T_{\beta i}^2)} \\ &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,015^2 + 0,03^2 + 0,015^2)} \\ &= +0,010;\end{aligned}$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что, с учетом округления, допуски установлены верно.

Выполним приведение полученных значений допусков к необходимым длинам в соответствии со схемой:

$$\begin{aligned}T'_{\beta_1} &= \frac{T_{\beta_1} * l_1}{300} = \frac{0.015 * 660}{300} = 0,033 \text{ мм}; \\ T'_{\beta_2} &= \frac{T_{\beta_2} * l_2}{300} = \frac{0.030 * 284}{300} = 0.028 \text{ мм}; \\ T'_{\beta_3} &= \frac{T_{\beta_3} * l_3}{300} = \frac{0.015 * 162}{300} = 0,008 \text{ мм};\end{aligned}$$

Определим предельные отклонения для звеньев:

$$\Delta_{н\beta 1} = \Delta_{0\beta 1} - \frac{T'_{\beta 1}}{2} = 0 - \frac{0,033}{2} = -0,017; \Delta_{в\beta 1} = \Delta_{0\beta 1} + \frac{T'_{\beta 1}}{2} = 0 + \frac{0,070}{2} = 0,017;$$

$$\Delta_{н\beta 2} = \Delta_{0\beta 2} - \frac{T'_{\beta 2}}{2} = 0 - \frac{0,028}{2} = -0,014; \Delta_{в\beta 2} = \Delta_{0\beta 2} + \frac{T'_{\beta 2}}{2} = 0 + \frac{0,028}{2} = 0,014;$$

$$\Delta_{н\beta 3} = \Delta_{0\beta 3} - \frac{T'_{\beta 3}}{2} = 0 - \frac{0,008}{2} = -0,004; \Delta_{в\beta 3} = \Delta_{0\beta 3} + \frac{T'_{\beta 3}}{2} = 0 + \frac{0,008}{2} = 0,004;$$

Покажем отношения допусков, рассчитанных методом неполной взаимозаменяемости к допускам, рассчитанным методом полной взаимозаменяемости:

$$\frac{T_{\beta 1}(\text{неполн})}{T_{\beta 1}(\text{полн})} = \frac{0,033}{0,011} = 3 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta 2}(\text{неполн})}{T_{\beta 2}(\text{полн})} = \frac{0,028}{0,0095} = 2,95 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta 3}(\text{неполн})}{T_{\beta 3}(\text{полн})} = \frac{0,008}{0,0027} = 2,96 \text{ раза}$$

(В данном случае используются допуски на 300 мм измеряемой длины).

7.2 Расчет для повышенного класса точности

1) Выполним расчет методом полной взаимозаменяемости. При этом методе должно быть соблюдено условие $\sum_{i=1}^{m-1} |\xi_{A_i}| T_{A_i} = T_{A\Delta}$. В линейной размерной цепи $|\xi_{A_i}| = 1$.

$$\text{Рассчитаем среднюю величину допуска } T_{\text{ср}} = \frac{T_{\beta\Delta}}{m-1} = \frac{0,014}{3} = 0,0046 \text{ мм}$$

Учитывая степень сложности достижения требуемой точности составляющих звеньев, устанавливаем подбором: $T_{\beta_1} = 0,003$ мм, $T_{\beta_2} = 0,008$ мм, $T_{\beta_3} = 0,003$ мм. Данные величины приведены к длине измерения $l = 300$ мм. В дальнейшем потребуется пересчет под действительные длины контактирующих поверхностей.

Принимаем координаты средин полей допусков $\Delta_{0\beta_1} = \Delta_{0\beta_2} = \Delta_{0\beta_3} = \Delta_{0\beta_4} = \Delta_{0\beta_5} = 0$ мм.

Проверяем правильность назначения допусков:

$$\Delta_{н\beta\Delta} = \Delta_{0\beta\Delta} - \frac{T_{\beta\Delta}}{2} = 0 + 0 + 0 - \frac{0,003 + 0,008 + 0,003}{2} = -0,007;$$

$$\Delta_{в\beta\Delta} = \Delta_{0\beta\Delta} + \frac{T_{\beta\Delta}}{2} = 0 + 0 + 0 + \frac{0,003 + 0,008 + 0,003}{2} = 0,007;$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что допуски установлены верно.

Выполним приведение полученных значений допусков к необходимым длинам в соответствии со схемой:

$$T'_{\beta_1} = \frac{T_{\beta_1} * l_1}{300} = \frac{0,003 * 660}{300} = 0,0066 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_2} = \frac{T_{\beta_2} * l_2}{300} = \frac{0,008 * 284}{300} = 0,0076 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_3} = \frac{T_{\beta_3} * l_3}{300} = \frac{0,003 * 162}{300} = 0,0016 \text{ мм};$$

Определим предельные отклонения для звеньев:

$$\begin{aligned} \Delta_{н\beta_1} &= \Delta_{0\beta_1} - \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 - \frac{0,0066}{2} = -0,0033; \Delta_{в\beta_1} = \Delta_{0\beta_1} + \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 + \frac{0,0066}{2} \\ &= 0,0033; \end{aligned}$$

$$\Delta_{\text{н}\beta 2} = \Delta_{0\beta 2} - \frac{T'_{\beta 2}}{2} = 0 - \frac{0,0076}{2} = -0,0038; \Delta_{\text{в}\beta 2} = \Delta_{0\beta 2} + \frac{T'_{\beta 2}}{2} = 0 + \frac{0,0076}{2} = 0,0038;$$

$$\Delta_{\text{н}\beta 3} = \Delta_{0\beta 3} - \frac{T'_{\beta 3}}{2} = 0 - \frac{0,0016}{2} = -0,0008; \Delta_{\text{в}\beta 3} = \Delta_{0\beta 3} + \frac{T'_{\beta 3}}{2} = 0 + \frac{0,0016}{2} = 0,0008;$$

2) Выполним расчет методом неполной взаимозаменяемости

Известно, что при расчете по вероятностному способу $T_{\Delta\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2}$

Примем экономически оправданным риск $P = 10\%$, при котором коэффициент риска $t_{\Delta} = 1,66$.

Полагая, что условия изготовления деталей таковы, что распределение отклонений размеров будет близким к закону Гаусса, принимаем: $\lambda_{Ai}^2 = \frac{1}{9}$.

Определим величину

$$\sum T_{\beta i}^2 = \frac{T_{\beta \Delta}^2}{t_{\Delta}^2 \xi^2 \lambda_{Ai}^2} = \frac{0,014^2}{1,66^2 * 1 * \frac{1}{9}} = \frac{0,001296}{2,756 * \frac{1}{9}} = 0,00064$$

Примем, что $T_{\beta 1} = 0,21 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 2} = 0,58 * T_{\beta \Delta}$, $T_{\beta 3} = 0,21 * T_{\beta \Delta}$.

Введем величину $T_{\beta \Delta}^*$, предназначенную для разбиения допуска замыкающего звена на принятые выше доли. Заменим в уравнениях долей $T_{\beta \Delta}$ на $T_{\beta \Delta}^*$, тогда

$$\sum T_{\beta i}^2 = T_{\beta 1}^2 + T_{\beta 2}^2 + T_{\beta 3}^2 = (0,21 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,58 * T_{\beta \Delta}^*)^2 + (0,21 * T_{\beta \Delta}^*)^2 = 0,00064$$

Упростив выражение, получим

$$0,4246 * (T_{\beta \Delta}^*)^2 = 0,00064$$

$$\text{Тогда, } T_{\beta\Delta}^* = \sqrt{\frac{0,00064}{0,4246}} = 0,0388$$

Следовательно,

$$T_{\beta 1} = T_{\beta 3} = 0,21 * T_{\beta\Delta}^* = 0,21 * 0,0388 = 0,0082 ,$$

$$T_{\beta 2} = 0,58 * T_{\beta\Delta}^* = 0,58 * 0,0388 = 0,023 ,$$

Окончательно принимаем следующие значения $T_{\beta 1} = T_{\beta 3} = 0,008$ мм, $T_{\beta 2} = 0,023$ мм.

Определим также величину среднего допуска

$$T_{cp} = \frac{T_{\beta\Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi^2 \lambda_{Ai}^2}} = \frac{0,014}{1,66 * \sqrt{\frac{1}{9} * 3}} = 0,0146 \text{ мм}$$

Выполним проверку правильности назначения величин допусков:

$$T_{\beta\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 T_{\beta i}^2} = 1,66 \sqrt{\frac{1}{9} (0,008^2 + 0,023^2 + 0,008^2)} = 0,0142.$$

С учетом округлений результат верен.

Принимаем координаты середин полей допусков $\Delta_{0\beta 1} = \Delta_{0\beta 2} = \Delta_{0\beta 3} = \Delta_{0\beta 4} = \Delta_{0\beta 5} = 0$ мм.

$$\begin{aligned} \Delta_{н\beta\Delta} &= \Delta_{0\beta\Delta} - \frac{t_{\Delta}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{\beta i}^2 \lambda_{\beta i}^2 (T_{\beta i}^2)} \\ &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 - \frac{1,66}{2} \sqrt{\frac{1}{9} (0,008^2 + 0,023^2 + 0,008^2)} \\ &= -0,007; \end{aligned}$$

Сопоставление с условиями задачи показывает, что, с учетом округления, допуски установлены верно.

Выполним приведение полученных значений допусков к необходимым длинам в соответствии со схемой:

$$T'_{\beta_1} = \frac{T_{\beta_1} * l_1}{300} = \frac{0,008 * 660}{300} = 0,0176 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_2} = \frac{T_{\beta_2} * l_2}{300} = \frac{0,023 * 284}{300} = 0,022 \text{ мм};$$

$$T'_{\beta_3} = \frac{T_{\beta_3} * l_3}{300} = \frac{0,008 * 162}{300} = 0,0042 \text{ мм};$$

Определим предельные отклонения для звеньев:

$$\Delta_{н\beta_1} = \Delta_{0\beta_1} - \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 - \frac{0,0176}{2} = -0,0088; \Delta_{в\beta_1} = \Delta_{0\beta_1} + \frac{T'_{\beta_1}}{2} = 0 + \frac{0,0176}{2} = 0,0088;$$

$$\Delta_{н\beta_2} = \Delta_{0\beta_2} - \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 - \frac{0,022}{2} = -0,011; \Delta_{в\beta_2} = \Delta_{0\beta_2} + \frac{T'_{\beta_2}}{2} = 0 + \frac{0,022}{2} = 0,011;$$

$$\Delta_{н\beta_3} = \Delta_{0\beta_3} - \frac{T'_{\beta_3}}{2} = 0 - \frac{0,0042}{2} = -0,0021; \Delta_{в\beta_3} = \Delta_{0\beta_3} + \frac{T'_{\beta_3}}{2} = 0 + \frac{0,0042}{2} = 0,0021;$$

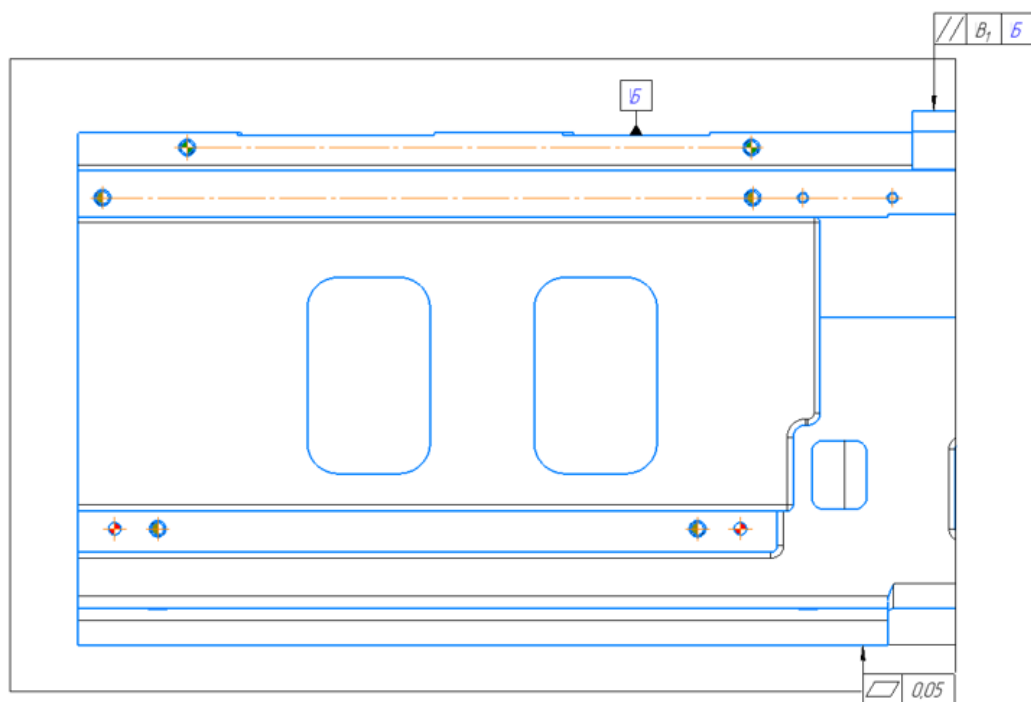
Покажем отношения допусков, рассчитанных методом неполной взаимозаменяемости к допускам, рассчитанным методом полной взаимозаменяемости:

$$\frac{T_{\beta_1}(\text{неполн})}{T_{\beta_1}(\text{полн})} = \frac{0,0176}{0,0066} = 2,66 \text{ раза}$$

$$\frac{T_{\beta_2}(\text{неполн})}{T_{\beta_2}(\text{полн})} = \frac{0,022}{0,0076} = 2,9 \text{ раза}$$

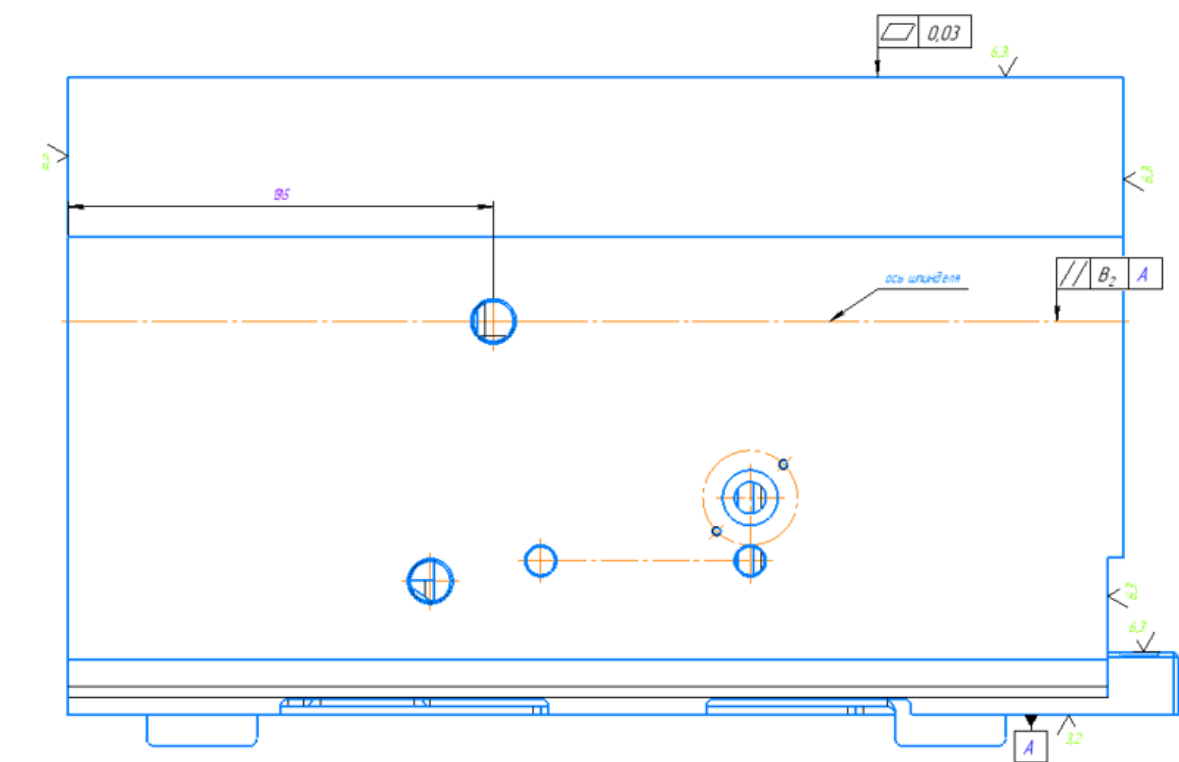
$$\frac{T_{\beta 3}(\text{неполн})}{T_{\beta 3}(\text{полн})} = \frac{0,0042}{0,0016} = 2,63 \text{ раза}$$

В ходе выполнения расчетов параметров станка для перехода с нормального класса точности на повышенный класс точности, были выполнены расчеты точности исполнительных размеров для основных элементов несущей системы станка. Так же при расчете были показаны два метода расчета размерных цепей. Установлено что требования к точности размеров деталей несущей системы для повышенного класса точности приблизительно от 1,5..2 раза жестче. При этом метод неполной взаимозаменяемости позволяет уменьшить требования к точности изготовления деталей несущей системы в 2...3 раза и соответственно уменьшить себестоимость изготовления.



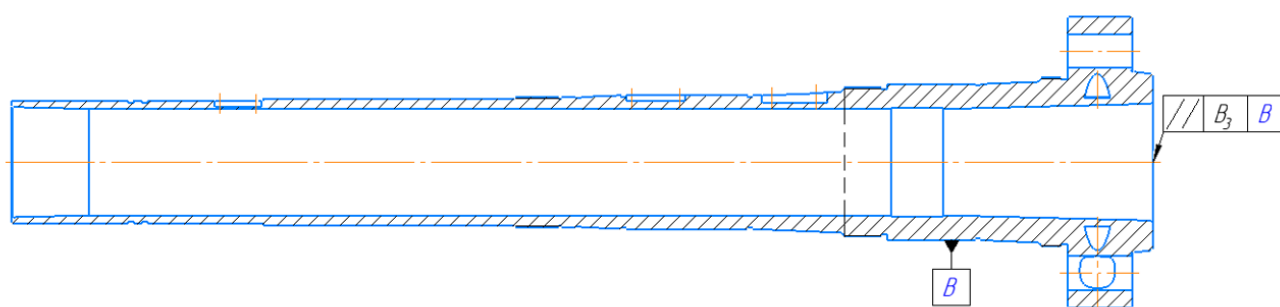
Прямолинейность и параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в горизонтальной плоскости				
Нормальный класс точности		Повышенный класс точности		
	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости
B ₁	0,033 мм	0,011 мм	0,017мм	0,006мм

Рисунок 19 – Станина



Прямолинейность и параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в горизонтальной плоскости			
Нормальный класс точности		Повышенный класс точности	
Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости
B ₂	0,028 мм	0,009 мм	0,022мм
			0,007мм

Рисунок 20 – Корпус передней бабки



Прямолинейность и параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передней бабки в горизонтальной плоскости			
Нормальный класс точности		Повышенный класс точности	
Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости	Метод неполной взаимозаменяемости	Метод полной взаимозаменяемости
B ₃	0,008 мм	0,0027 мм	0,046мм
			0,0016мм

Рисунок 21 – Шпиндель

8. Методика измерения параметров точности несущей системы

8.1 Методика измерения параметра «Одновысотность оси вращения шпиндельной передней бабки и оси отверстия пиноли».

Существуют два метода измерения:

Метод 1 — с помощью прибора для измерения длин и контрольной оправки, установленной в центрах.

Метод 2— с помощью прибора для измерения длин и двух контрольных оправок, установленных на концах рабочих органов (шпинделей).

Условия проведения.

Исходное положение и фиксацию, проверяемых и других рабочих органов в соответствии с их функциональным назначением устанавливают в стандартах на нормы точности и технических условиях на конкретные типы станков.

Расстояние между сечениями, в которых проводят измерение, должно быть указано в стандартах на нормы точности и технических условиях на конкретные типы станков.

Оси (ось) материализуются образующими цилиндрических поверхностей контрольных оправок, устанавливаемых концентрично этим осям в центрах станка или на центрирующих поверхностях рабочих органов.

Измерительный наконечник измерительного прибора должен касаться образующей цилиндрической поверхности контрольной оправки так, чтобы направление измерения было перпендикулярно общей базовой плоскости.

Описание методов измерения:

Метод 1

Средства измерения: контрольная (центровая) оправка, индикатор часового типа, магнитная стойка для индикатора.

Схема измерения показана на рисунке 23

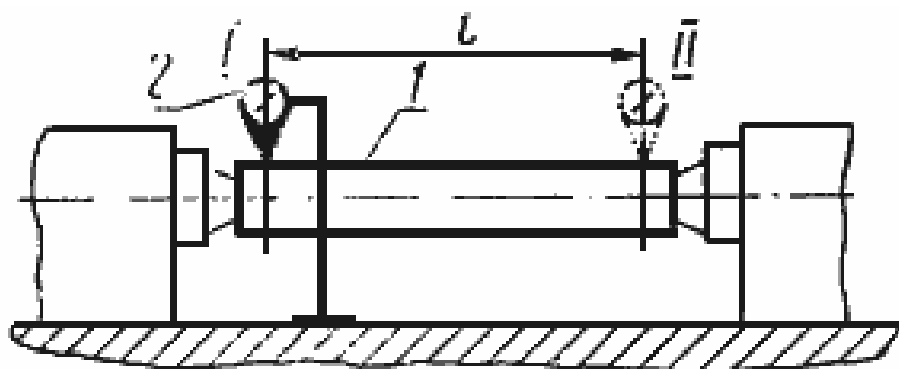


Рисунок 22 – Схема измерения

Проведение измерения.

Контрольную оправку 1 устанавливают в центрах проверяемых рабочих органов. Стойку с закрепленным измерительным прибором 2 устанавливают на базовую плоскость так, чтобы измерительный наконечник измерительного прибора касался верхней или нижней образующей контрольной оправки поочередно в сечениях I и II, расположенных на заданном расстоянии l .

Для исключения из результатов измерения отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности контрольной оправки допускается менять положение концов оправки. Для этого оправку отсоединяют от рабочих органов и поворачивают в плоскости, параллельной базовой плоскости, на 180° .

Для исключения из результатов измерения неточности изготовления профильного сечения контрольной оправки допускается производить поворот оправки на 180° вокруг своей оси.

Отклонение от одновысотности осей рабочих органов относительно общей базовой плоскости при измерении без перемены положения концов оправки и без поворота оправки равно разности показаний измерительного прибора в сечениях I и II.

Отклонение от одновысотности осей рабочих органов относительно общей базовой плоскости при измерении с поворотом оправки на 180° вокруг ее оси равно разности двух средних арифметических значений показаний измерительного прибора, полученных при измерении до и после поворота контрольной оправки. При этом для каждого положения оправки (до поворота

и после него) определяют среднее арифметическое показаний измерительного прибора в сечениях I и II.

Отклонение от одновысотности осей рабочих органов относительно общей базовой плоскости при измерении с переменой положения концов оправки и поворотом оправки равно полуразности разностей средних арифметических значений показаний измерительного прибора, полученных при измерении до и после перемены положения концов оправки. При этом в каждом из сечений оправки - I и II определяют среднее арифметическое показаний измерительного прибора при измерении до и после поворота оправки, далее для каждого положения концов оправки определяют разность средних арифметических показаний измерительного прибора.

Метод 2

Средства измерения: две контрольные оправки с цилиндрическими измерительными поверхностями предпочтительно одинакового диаметра, прибор для измерения длин, стойка с плоским основанием для крепления измерительного прибора.

Схема измерения указана на рисунок 24.

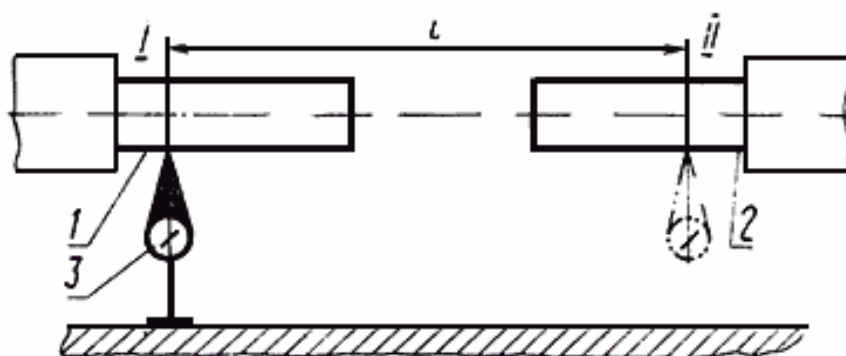


Рисунок 23 – Схема измерения

Проведение измерения

Контрольные оправки 1 и 2 устанавливают на концах рабочих органов. Стойку с закрепленным измерительным прибором 3 устанавливают на общую базовую плоскость так, чтобы измерительный наконечник измерительного

прибора касался верхней или нижней образующей контрольных оправок поочередно в сечениях I и II, расположенных на расстоянии l .

Если один из рабочих органов имеет возможность поворота в плоскости, параллельной общей базовой плоскости, то перед проведением измерения этот рабочий орган должен быть установлен так, чтобы образующие контрольных оправок были параллельны друг другу.

Для исключения из результатов измерения неточности установки контрольных оправок измерение проводят дважды. Перед вторым измерением рабочие органы с оправками поворачивают на 180° . Если рабочий орган не вращается, то оправку отсоединяют и поворачивают на 180° вокруг ее оси.

Если диаметры цилиндрических частей контрольных оправок разные, то при измерении учитывают разность диаметров.

8.2 Методика измерения параметра «параллельность траектории перемещения верхних салазок суппорта относительно оси вращения шпинделя передний бабки в вертикальной плоскости».

Средства измерения: контрольная (центровая) оправка, индикатор часового типа, магнитная стойка для индикатора.

Схема измерения указана на рисунке 24 и 24 А.

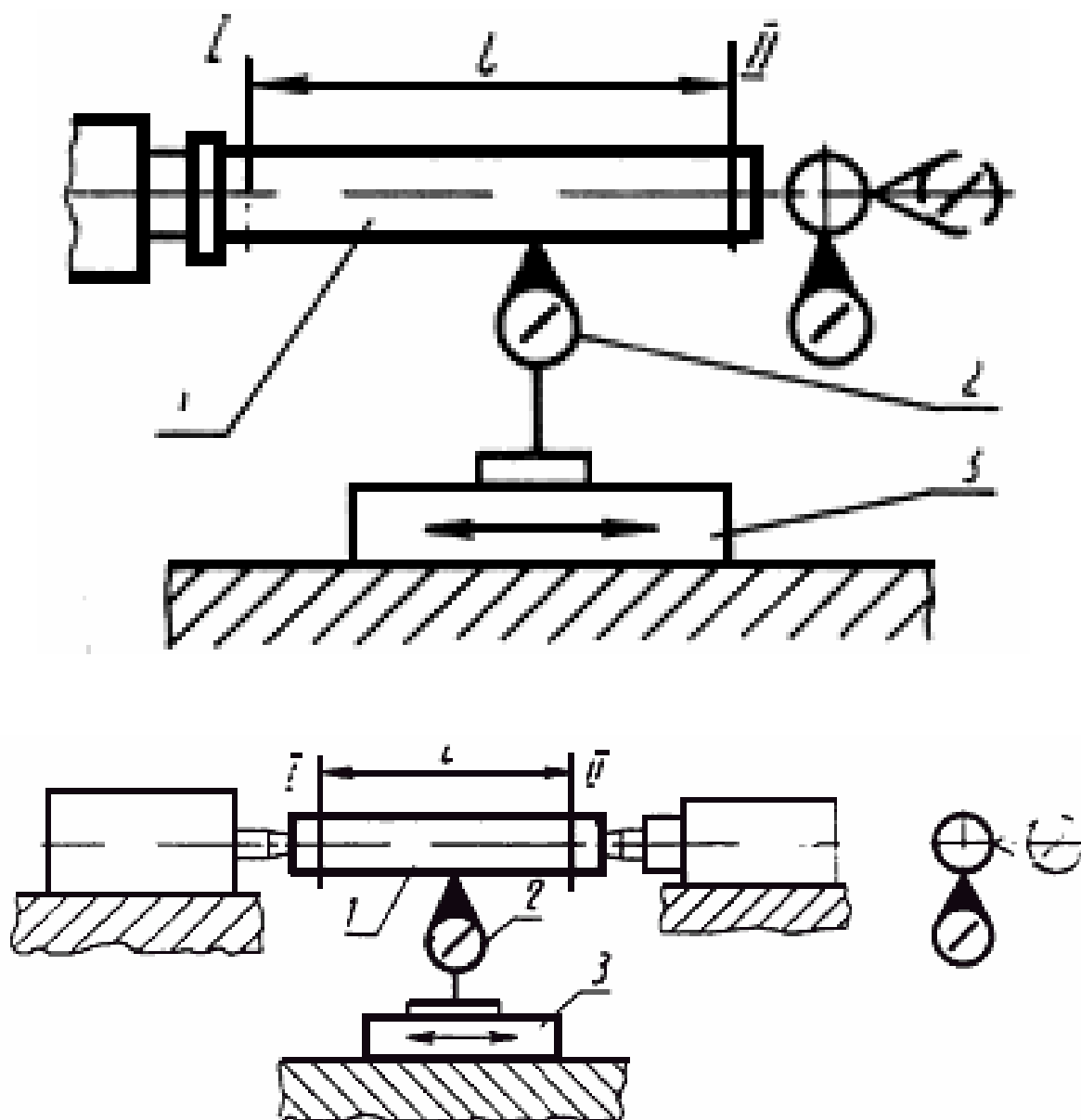


Рисунок 24 и 24 А – Схемы измерения

Проведение измерения.

Контрольную оправку 1 устанавливают вдоль оси, относительно которой проводят измерение, в центрах или на центрирующей (торцевой) поверхности неподвижной части станка. Индикатор 2 устанавливают на подвижном рабочем органе 3 так, чтобы его измерительный наконечник касался образующей оправки и был перпендикулярен ей в плоскости измерения. Салазки перемещают на заданную длину l .

Для исключения из результатов измерения неточности установки контрольной оправки допускается проводить измерение два раза с поворотом

шпинделя вместе с оправкой на 180° . Если шпиндель не вращается, то оправку вынимают и поворачивают на 180° вокруг ее оси.

Отклонение от параллельности направления перемещения рабочего органа относительно оси при измерении без поворота контрольной оправки равно алгебраической разности показаний измерительного прибора в начале (сечение I) и конце (сечение II) перемещения рабочего органа.

Отклонение от параллельности направления перемещения рабочего органа относительно оси при измерении с поворотом оправки равно среднему арифметическому двух значений алгебраической разности показаний измерительного прибора, полученных при измерении до и после поворота оправки. При этом для каждого положения оправки (до поворота и после его) определяют алгебраическую разность показаний измерительного прибора в начале (сечение I) и конце (сечение II) перемещения рабочего органа.

Суммарное отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения рабочего органа относительно оси при измерении без поворота контрольной оправки равно наибольшей алгебраической разности показаний измерительного прибора на всей длине перемещения рабочего органа.

Суммарное отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения рабочего органа относительно оси при измерении с поворотом контрольной оправки равно среднему арифметическому двух значений наибольшей алгебраической разности показаний измерительного прибора, полученных при измерении до и после поворота контрольной оправки. При этом для каждого положения оправки (до поворота и после его) определяют наибольшую алгебраическую разность показаний измерительного прибора в пределах длины перемещения рабочего органа.

8.3 Методика измерения параметра «параллельность траектории перемещения суппорта относительно оси вращения шпинделя передний бабки в горизонтальной плоскости».

Средства измерения: контрольная (центровая) оправка, индикатор часового типа, магнитная стойка для индикатора.

Схема измерения указана на рисунке 25 и 25 А.

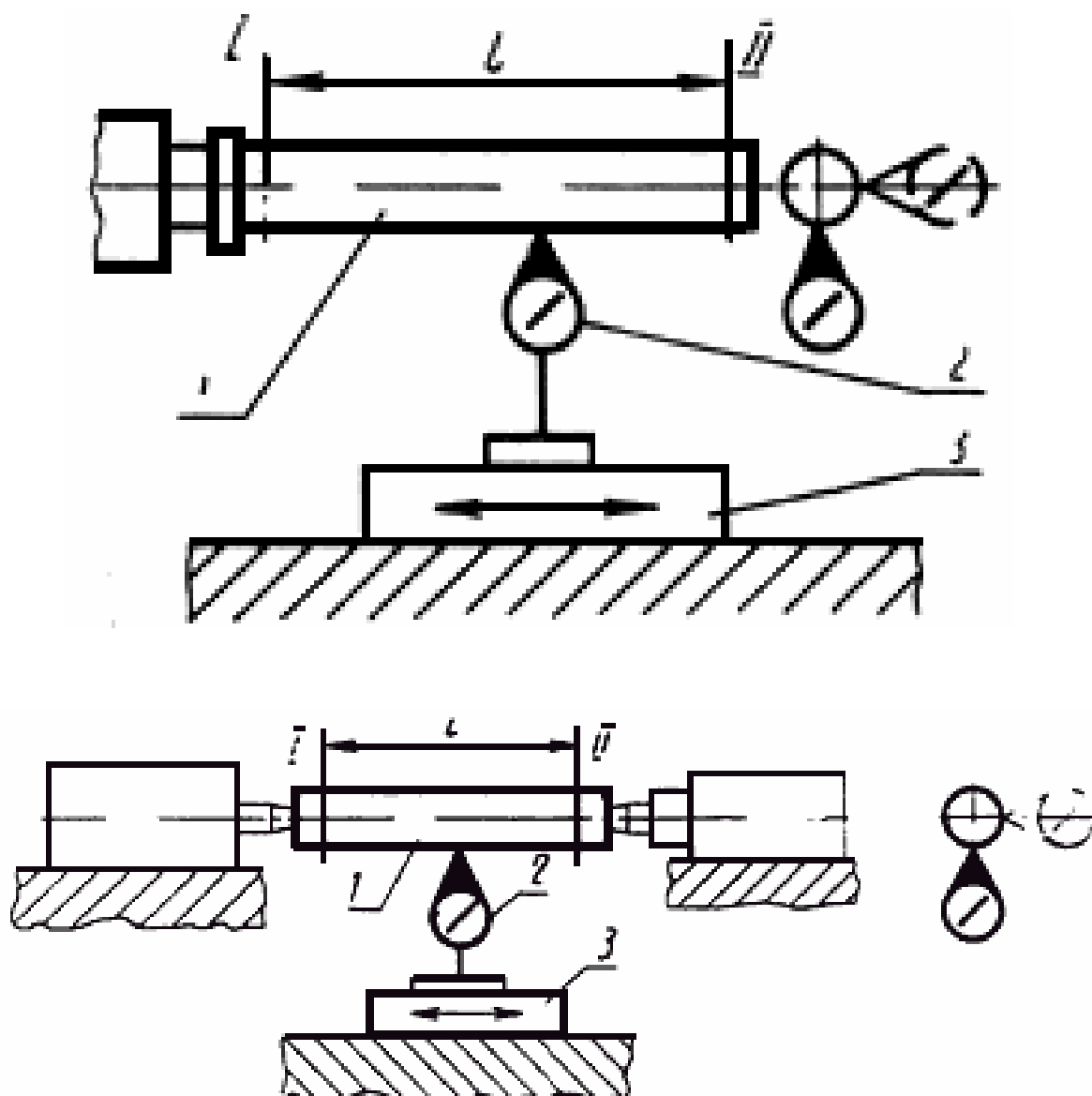


Рисунок 26 и 26 А – Схемы измерения

Проведение измерения

Контрольную оправку 1 устанавливают вдоль оси, относительно которой проводят измерение, в центрах или на центрирующей (торцевой) поверхности неподвижной части станка. Индикатор 2 устанавливают на

подвижном рабочем органе 3 так, чтобы его измерительный наконечник касался образующей оправки и был перпендикулярен ей в плоскости измерения. Суппорт перемещают на заданную длину l .

Для исключения из результатов измерения неточности установки контрольной оправки допускается проводить измерение два раза с поворотом шпинделя вместе с оправкой на 180° . Если шпиндель не вращается, то оправку вынимают и поворачивают на 180° вокруг ее оси.

Отклонение от параллельности направления перемещения рабочего органа относительно оси при измерении без поворота контрольной оправки равно алгебраической разности показаний измерительного прибора в начале (сечение I) и конце (сечение II) перемещения рабочего органа.

Отклонение от параллельности направления перемещения рабочего органа относительно оси при измерении с поворотом оправки равно среднему арифметическому двух значений алгебраической разности показаний измерительного прибора, полученных при измерении до и после поворота оправки. При этом для каждого положения оправки (до поворота и после его) определяют алгебраическую разность показаний измерительного прибора в начале (сечение I) и конце (сечение II) перемещения рабочего органа.

Суммарное отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения рабочего органа относительно оси при измерении без поворота контрольной оправки равно наибольшей алгебраической разности показаний измерительного прибора на всей длине перемещения рабочего органа.

Суммарное отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения рабочего органа относительно оси при измерении с поворотом контрольной оправки равно среднему арифметическому двух значений наибольшей алгебраической разности показаний измерительного прибора, полученных при измерении до и после поворота контрольной оправки. При этом для каждого положения оправки (до поворота и после его) определяют наибольшую алгебраическую разность показаний измерительного

прибора в пределах длины перемещения рабочего органа.

Заключение

В ходе выполнения расчетов параметров станка для перехода с нормального класса точности на повышенный класс точности, были выполнены расчеты точности исполнительных размеров для основных элементов несущей системы станка. Так же при расчете были показаны два метода расчета размерных цепей. Установлено что требования к точности размеров деталей несущей системы для повышенного класса точности приблизительно от 1,5..2 раза жестче. При этом метод неполной взаимозаменяемости позволяет уменьшить требования к точности изготовления деталей несущей системы в 2...3 раза и соответственно уменьшить себестоимость изготовления.

Так же были определены основные базовые детали и допуски на эти детали. По первому расчету – это корпус задней бабки, салазки задней бабки, где допуск задаётся на высоту детали. По второму расчету – это суппорт продольный, суппорт поперечный, салазки резцовые. Где допуск задаётся на параллельность двух плоскостей. По третьему расчету – это станина, корпус передней бабки, шпиндель. Где допуск задаётся на высоту детали.

Список литературы

1. Методически указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчёта линейных и угловых цепей. / Т.А. Киселева – ГК СССР ПО Стандарта – 44 с.
2. ГОСТ 18097 – 93. Станки токарно – винторезные и токарные.
3. ГОСТ 22267 – 76. Станки металлорежущие. Схемы и способы измерения геометрических параметров.
4. ГОСТ 8 – 82. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность.

Приложения