

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

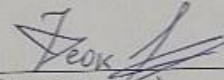
на тему

Оборудование и технология сверления наклонных отверстий

ПГУ 15.04.05.11.00.00 ПЗ

(обозначение ВКР)

Студент гр. 20ММм1

 21.06.2022 Феокистов Н.С.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Научный руководитель

 Липов А.В.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

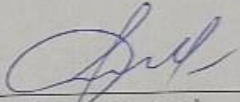
Нормоконтролер

 Липов А.В.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Рецензент

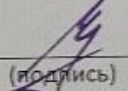
к.т.н., вед. конструктор ООО КБ
«ПУЛЬСАР - ТЕЛЕКОМ»

(должность, место работы)

 Белашов М.В.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от _____ № _____)

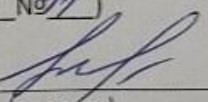
Заведующий кафедрой

 Зверовщиков А.Е.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Работа защищена с оценкой отлично

(протокол заседания ГЭК от 24.06.2022 № 11)

Секретарь ГЭК

 Истомина Ю.В.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Пенза 2022

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой ТОМ А.Е. Зверовщиков

« » 20 г.

ЗАДАНИЕ на магистерскую диссертацию

1. Студент группы 20ММ1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Феоктистов Николай Сергеевич

2. Научный руководитель магистерской диссертации

Липов Александр Викторович

3. Время проектирования с 10 июня 2022 г. по 07 июля 2022 г.

4. Место преддипломной практики ФГБОУ ВО «ПГУ»

5. Тема магистерской диссертации

Оборудование и технология сверления наклонных отверстий

Тема утверждена приказом ПГУ № 817/о от 16.11.2022 г.

6. Техническое задание (цель проектирования, объект проектирования, его технические характеристики и т.п.)

Разработать конструкцию устройства с аэростатическими направляющими и технологию сверления наклонных отверстий диаметром от 0,5 до 3,2 мм.

7. Объем и содержание основной части работы

7.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчеты, обоснования, описания)

Провести анализ видов наклонных отверстий, действующих усилий при их обработке, конструкций существующей технологической оснастки. Разработать конструкцию устройства для сверления наклонных отверстий с аэростатическими направляющими подвижного узла и провести расчет параметров основных его элементов. Оценить работоспособность устройства для сверления наклонных отверстий с использованием программного обеспечения Solid Works/

7.2. Графическая часть (перечень и содержание чертежей, плакатов)

1. Цель работы, объект исследования, научная новизна и практическая ценность.

2. Виды наклонных отверстий.

3. Анализ схем сверления наклонных отверстий.
4. Конструкции оснастки для сверления наклонных отверстий
5. Предлагаемая конструкция устройства для сверления наклонных отверстий.
6. Расчетные схемы элементов устройства
7. Результаты исследований работоспособности устройства с использованием программного обеспечения Solid Works.

8. Особые требования по выполнению разделов:
Исследовать работоспособность аэростатических направляющих подвижного узла с использованием программного обеспечения Solid Works

9. Календарный график выполнения магистерской диссертации

Наименование этапов работы	Объем работы, %	Срок выполнения	Подпись руководителя
1. Оформление расчетно-пояснительной записки	85	до 16.06.2022 г.	<i>AS</i>
2. Оформление презентации	15	до 16.06.2022 г.	<i>AS</i>

Дата выдачи задания « 10 » 06 20 22 г. Задание к исполнению принял

Федок

Руководитель работы

AS

« 10 » 06 20 22 г.

Магистерскую диссертацию к защите допустить

Декан Факультет промышленных технологий,
 электроэнергетики и транспорта

С.Ю. Киреев

С.Ю. Киреев

ОПОП освоена в полном объеме.
 К государственной итоговой
 аттестации допустить

20 ____ г.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 64 листа формата А4 текстовой части, 32 рисунка, 7 таблиц, использовано 15 источников используемой литературы.

СВЕРЛЕНИЕ, НАКЛОННЫЕ ОТВЕРСТИЯ, РАВНОМЕРНОСТЬ ПОДАЧИ, АЭРОСТАТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ, КОНДУКТОРНЫЕ ВТУЛКИ, ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ, ЖЕСТКОСТЬ, SOLIDWORKS

В данной магистерской диссертации объектом проектирования является устройство для сверления наклонных отверстий.

В пояснительной записке представлен анализ исходных данных для проектирования, а именно, приведены виды наклонных отверстий, выполнен расчет усилий, действующих на сверло при сверлении наклонных отверстий, был произведен патентный поиск по имеющейся технологической оснастке для сверления наклонных отверстий, определены цели и задачи проектирования; разработана конструкция устройства для сверления наклонных отверстий, определены основные параметры устройства, далее была произведена оценка работоспособности предлагаемого устройства, с помощью программного обеспечения SolidWorks Simulation.

					ПГУ 15.04.05.11.00.00 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Оборудование и технология сверления наклонных отверстий Пояснительная записка	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Феокистов Н.С.		21.06.22			3	95	
Провер.		Липов А.В.							
Н. контр.		Липов А.В.							
Утв.									
						Каф. «ТОМ», гр. 20ММ1			

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	7
1.1 ВИДЫ НАКЛОННЫХ ОТВЕРСТИЙ.....	7
1.2 УСИЛИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА СВЕРЛО ПРИ СВЕРЛЕНИИ НАКЛОННЫХ ОТВЕРСТИЙ.....	10
1.3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ НАКЛОННЫХ ОТВЕРСТИЙ.....	12
1.4 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	16
2 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ НАКЛОННЫХ ОТВЕРСТИЙ.....	18
2.1 СХЕМА УСТРОЙСТВА С АЭРОСТАТИЧЕСКИМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ.....	18
2.2 СХЕМА ПРЕДЛАГАЕМОГО УСТРОЙСТВА.....	19
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА.....	21
3.1 ВЫБОР ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СВЕРЛИЛЬНОЙ ГОЛОВКИ.....	21
3.2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА НАКЛОНА ПЛАТФОРМЫ.....	23
3.3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГРУЗОВ ПОДВИЖНОЙ ЧАСТИ УСТРОЙСТВА.....	26
3.4 ВЫБОР КОНДУКТОРНОЙ ВТУЛКИ.....	28
3.5 ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЖИМНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ.....	34
4 ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЛАГАЕМОГО УСТРОЙСТВА.....	37
4.1 КОНСТРУКЦИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО УСТРОЙСТВА.....	37
4.2 РАСЧЕТ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ АЭРОСТАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЯЮЩИХ.....	40

5	ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА.....	44
5.1	РАСЧЕТ ИЗГИБАЮЩИХ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СВЕРЛО.....	44
5.2	ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ НАГРУЗОК.....	53
	ВЫВОДЫ.....	60
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	61
	ПРИЛОЖЕНИЕ А – НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ.....	63
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б – ПРЕЗЕНТАЦИЯ.....	64

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Получение отверстий в деталях различных конструкций может обеспечиваться оборудованием, использующим различные физические принципы. Их можно получать механической обработкой, путем снятия стружки на вертикально-сверлильных, радиально-сверлильных, расточных и других станках. Отверстия различной формы можно выполнять на более современном оборудовании, например, для плазменной и лазерной резки, на станках для гидроабразивной обработки и т.д. По форме отверстия могут быть глухими, сквозным, ступенчатыми и др. Механическая обработка осуществляется различными сверлами (пушечными, ружейными, кольцевыми, центровочными и др.).

Для окончательной механической обработки применяются зенкеры, развертки различных конструкций, расточные резцы и т.д.

При этом для решения конкретной производственной задачи может применяться различное оборудование, режущий инструмент и технологическая оснастка, например, расточные борштанги, приспособления с кондукторными втулками и др. Так во внимание принимается качество и точность получаемых отверстий, а также затраты на их получение. Одним из важных моментов является назначение технологических параметров обработки отверстий, к которым относятся режимы работы оборудования и условия обработки. К режимам работы оборудования относятся: частота вращения сверла определенного диаметра и величина ее осевой подачи. К условиям обработки относятся: обрабатываемый и инструментальный материал, применяемые СОТС и т.д.

Особый интерес вызывает технология и оснастка для сверления различных наклонных отверстий. При этом необходимо учитывать заданное качество и точность обработки с обеспечением работоспособности инструмента и даже возможного его отказа в виде повреждения или поломки.

1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1 ВИДЫ НАКЛОННЫХ ОТВЕРСТИЙ

К наклонным следует относить отверстия, ось которых не перпендикулярна к обрабатываемой поверхности. На рисунке 1 приведен пример таких отверстий.

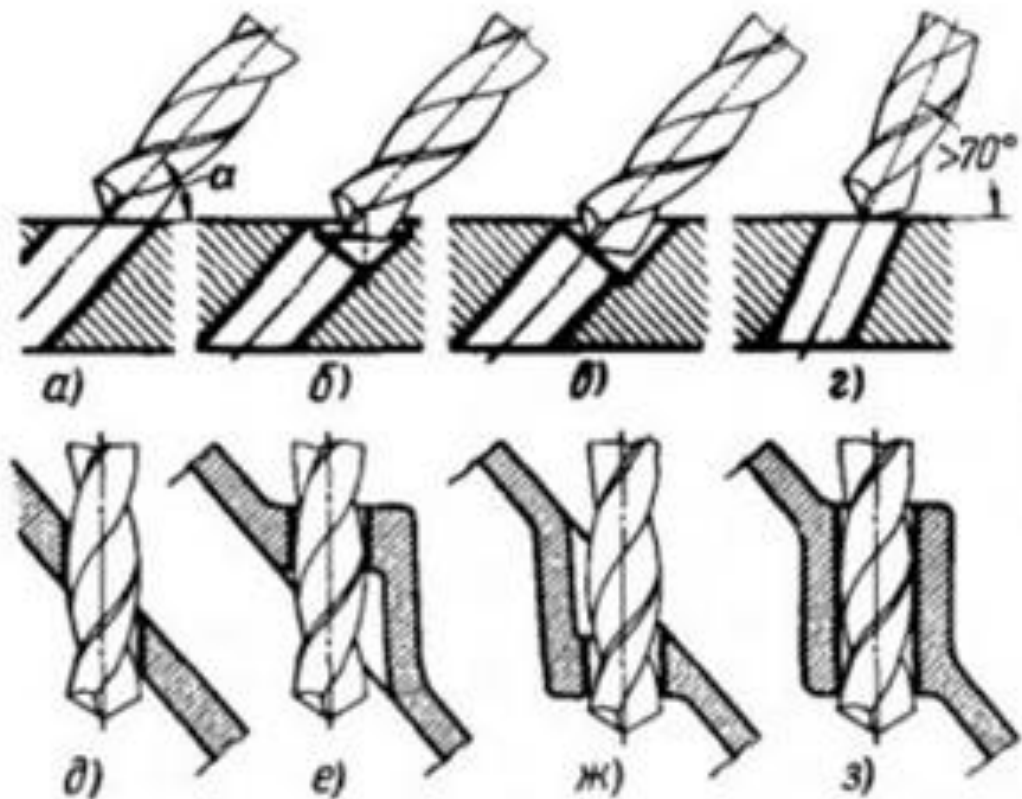


Рисунок 1 – Примеры наклонных отверстий

При изготовлении деталей различных конструкций следует избегать сверления отверстий, углы которых меньше 70° к поверхности (рисунок 1, а). В таких отверстиях необходимо произвести, предварительно, засверловку (рисунок 1, б) или подфрезеровку (рисунок 1, в) входного участка отверстия, что усложняет изготовление. Во избежание негативных последствий, следует располагать отверстие под углом более 70° к поверхности (рисунок 1, г). Лучше всего сверлить отверстия перпендикулярно к поверхности заготовки.

Способы спрямления участков под наклонные отверстия в литых деталях (рисунок 1, *д*) показаны на видах *е–з*, рисунок 1.

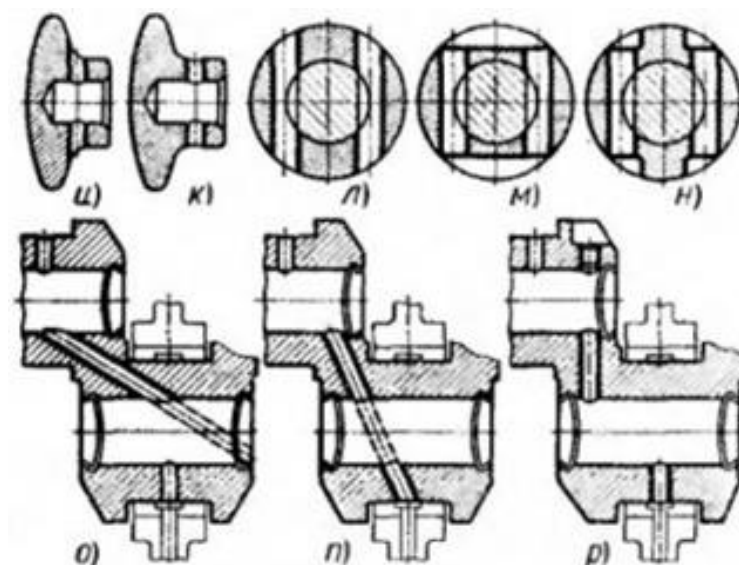


Рисунок 2 – Примеры ошибочного и правильного расположения отверстий

Примеры ошибочного расположения отверстий: заштифтовка маховичка (рисунок 2, *и*; рисунок 2, *к*); заштифтовка цилиндрической детали на валу (рисунок 2, *л–н*). Конструкции (рисунок 2, *к, м, н*) – правильные.

Во избежание смещения отверстия и поломки сверл, глубину отверстий, которые получают с помощью обычных спиральных сверл, рекомендуется делать не более 6–8 диаметров ($6D - 8D$).

При этом в зависимости от угла наклона отверстия и величины угла при вершине сверла 2ϕ обработка может начинаться с одной вспомогательной режущей кромки (рисунок 3, *а*), с одной вспомогательной и главной режущими кромками (рисунок 3, *б*), с двух вспомогательных и главной режущими кромками (рисунок 3, *в*).

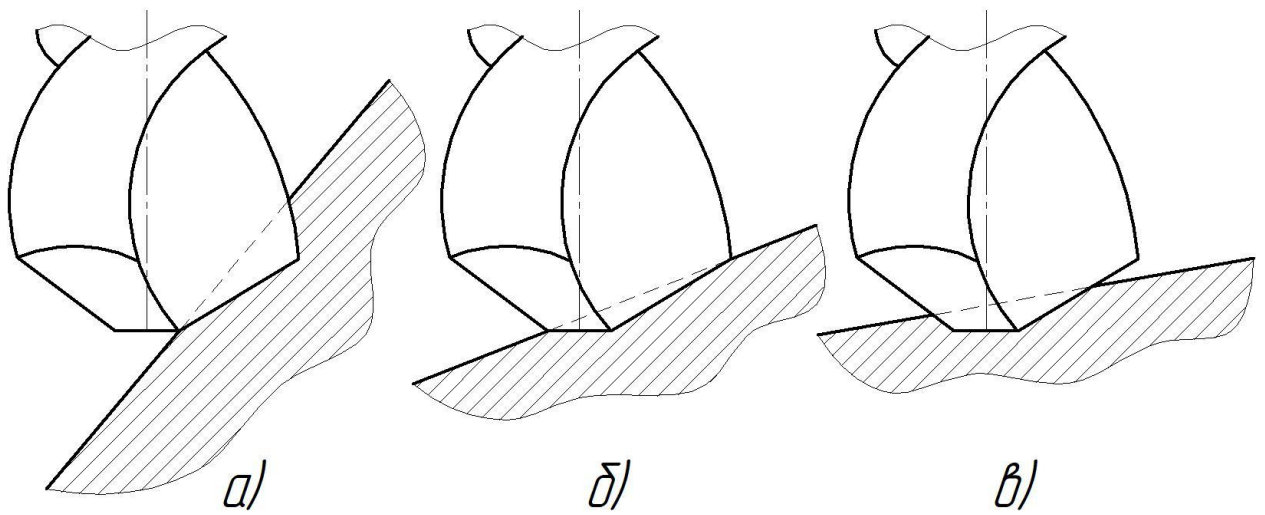


Рисунок 3 – Сверление отверстия в зависимости от угла наклона детали

На рисунке 4 приведен эскиз втулки с наклонным отверстием для подачи смазки.

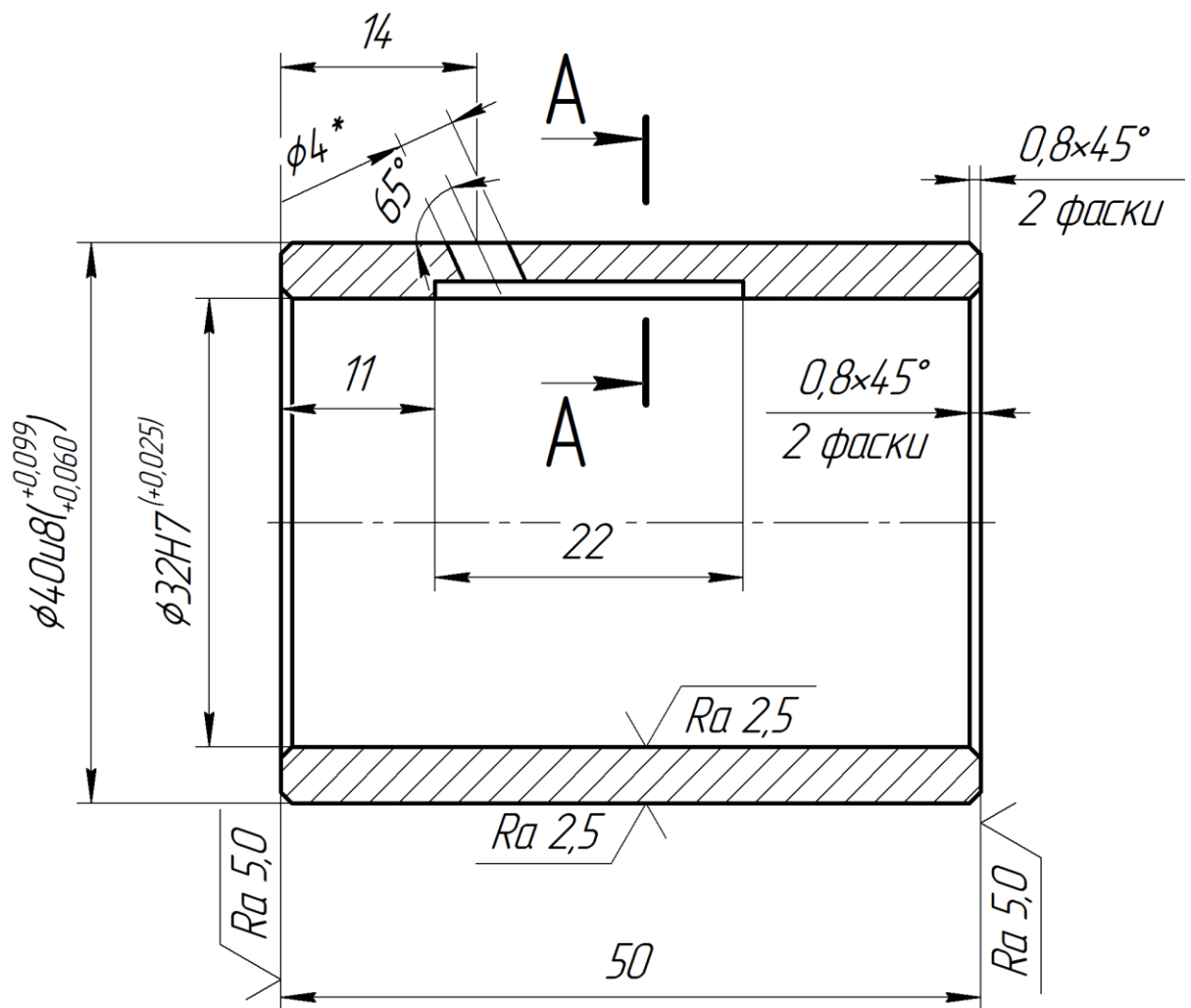


Рисунок 4 – Эскиз втулки с наклонным отверстием для подачи смазки

На рисунке 5 приведен опорный подшипник в сборе. Наклонное отверстие служит для подачи смазки во внутреннюю полость втулки (позиция 1) через корпус (позиция 2). Втулка устанавливается в корпус запрессовкой.

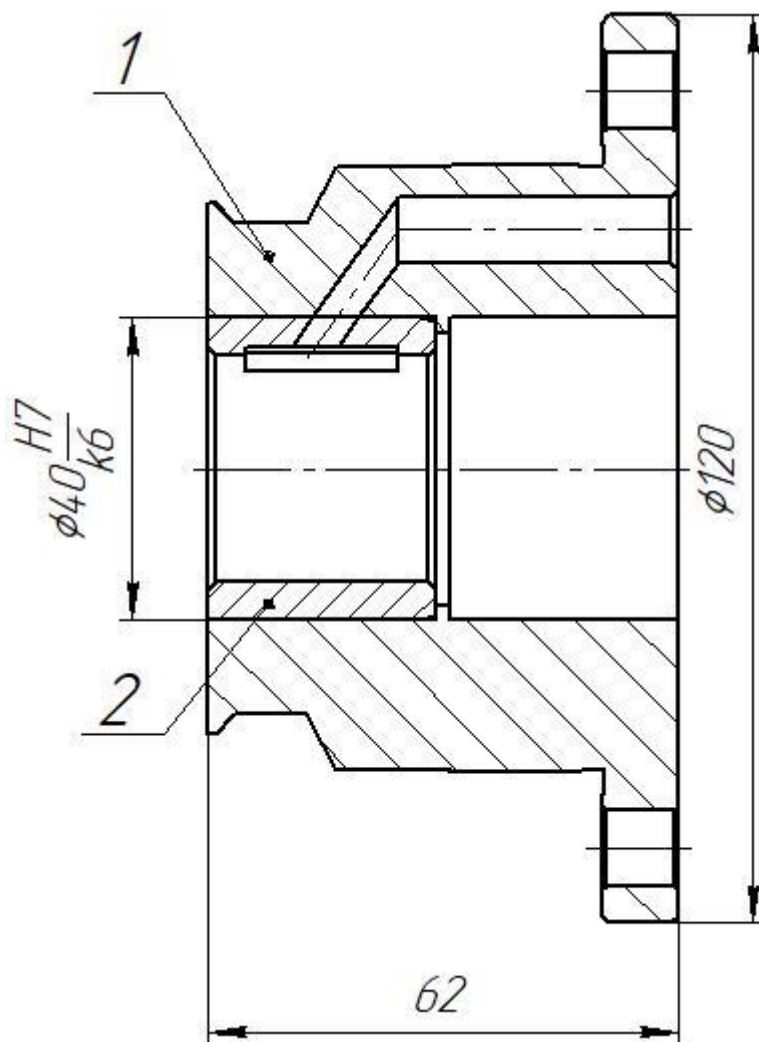


Рисунок 5 – Опорный подшипник в сборе

1.2 УСИЛИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА СВЕРЛО ПРИ СВЕРЛЕНИИ НАКЛОННЫХ ОТВЕРСТИЙ

При сверлении обычных отверстий, на сверло действуют в осевом направлении следующие усилия: P_x – на двух вспомогательных режущих кромках; $P_{\text{хп}}$ – на основной грани; P_o – осевое усилие резания; перпендикулярно оси сверла усилие P_y , действующее на двух основных

гранях, которые уравнивают друг друга. Кроме того, в перпендикулярном направлении на сверло действуют усилия P_z [1].

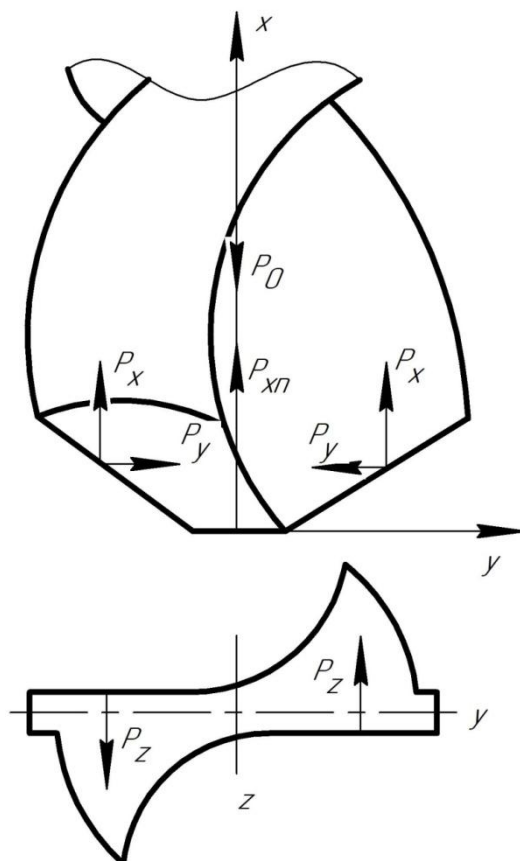


Рисунок 6 – Схема сил, действующих на сверло при обработке отверстия

На рисунке 7 приведена схема сил, действующих на сверло в осевом направлении при сверлении наклонных отверстий для случая, приведенного на рисунке 2, а.

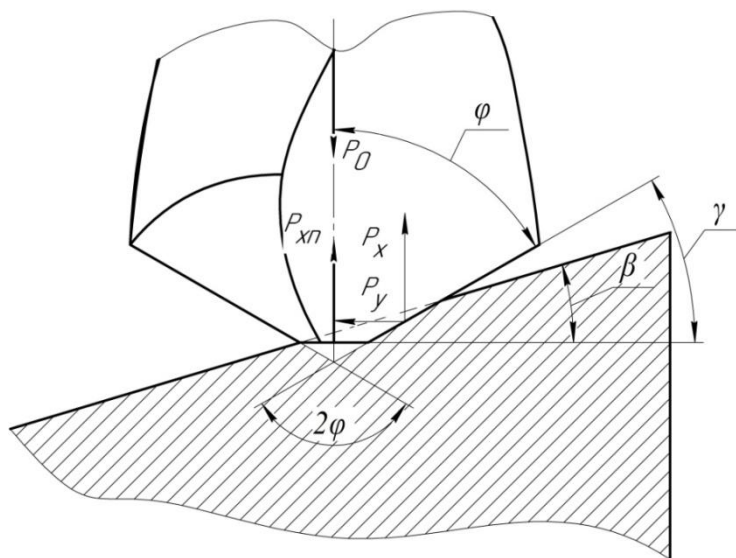


Рисунок 7– Схема сил, действующих при сверлении наклонных отверстий

На рисунке 7: β – угол наклона поверхности детали; 2φ – угол при вершине сверла; $\gamma = (90 - \varphi)$ – угол соответствия между углами β и φ . В том случае, когда $\beta > \gamma$ врезание осевого инструмента в обрабатываемую поверхность производится вначале только одной главной режущей кромкой. При угле $\beta = \gamma$ и менее сверление начинается с врезания одной главной и вспомогательной режущими кромками [2].

Как видно из рисунков при сверлении наклонных отверстий возникает поперечная нагрузка, действующая на сверло, которая может приводить к его уводу и даже поломке.

В связи с этим, по рекомендации производителей режущего инструмента (Kennametal, Sandvik, Husqvarna и др.), предложено уменьшать величину подачи сверла или обрабатываемой детали на 15...30% [3].

Уменьшение величины подачи при обработке на традиционном оборудовании с использованием обычного инструмента (различных сверл, расточных резцов и т.д.), технологической оснастки (приспособлений с кондукторными плитами, борштанги и др.) может вызывать скачкообразность перемещения узлов несущих инструмент или заготовку.

1.3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ НАКЛОННЫХ ОТВЕРСТИЙ

К технологической оснастке для сверления наклонных отверстий относятся: ручные и механизированные приспособления с пневмо-гидроприводом, которые обычно включают в себя кондукторные втулки. На рисунке 8 приведена конструкция приспособления для сверления наклонных отверстий во втулке с наклонным отверстием для подачи смазки с пневмоприводом.

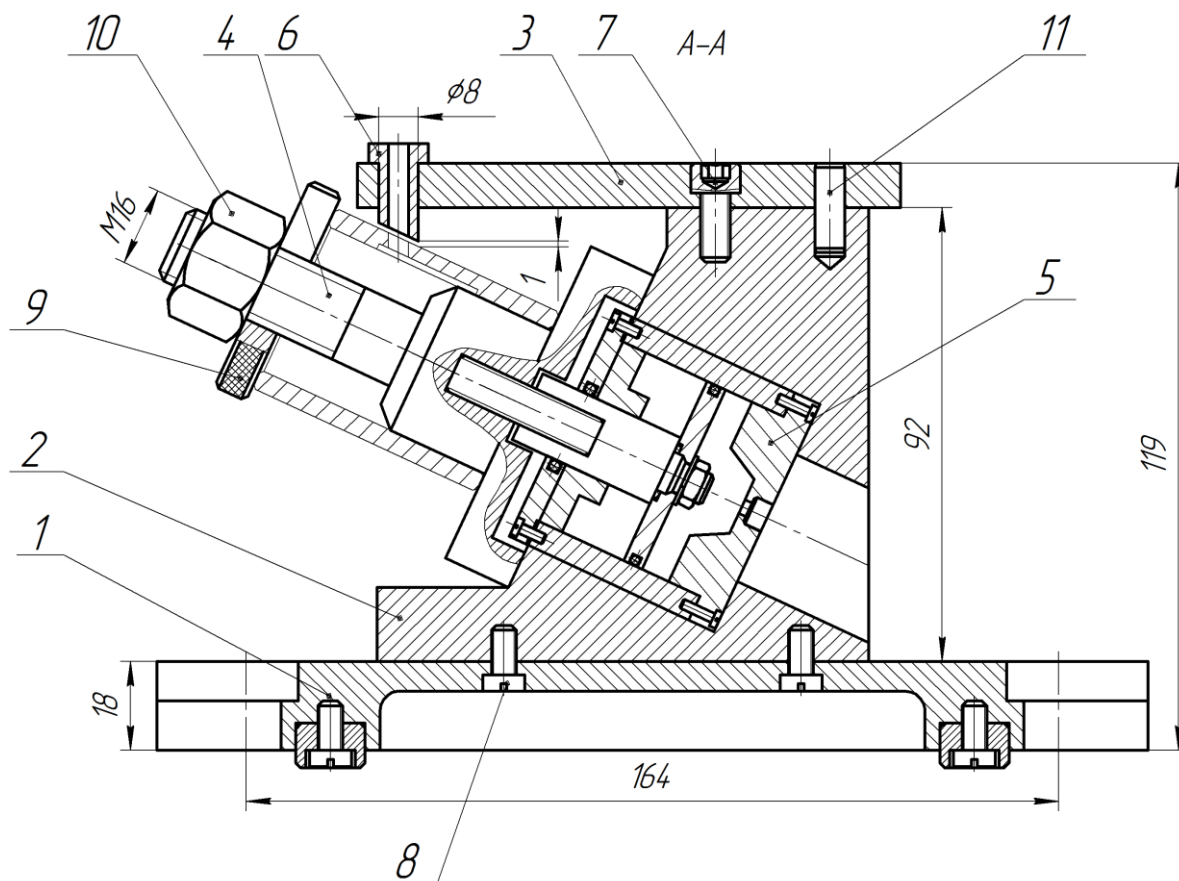


Рисунок 8 – Приспособление для сверления наклонного отверстия

К плите 1 винтами 8 закрепляется корпус 2, на который в свою очередь устанавливается кондукторная плита 3 с помощью винта 7 и штифта 11. В кондукторной плите установлена кондукторная втулка 6. Также в этот корпус закрепляется оправка 4, на которую устанавливается деталь. Закрепление детали на оправке 4, производится гайкой 9, которая после установки детали стопорится гайкой 10. Зажим и разжим детали осуществляется пневмоцилиндром 5.

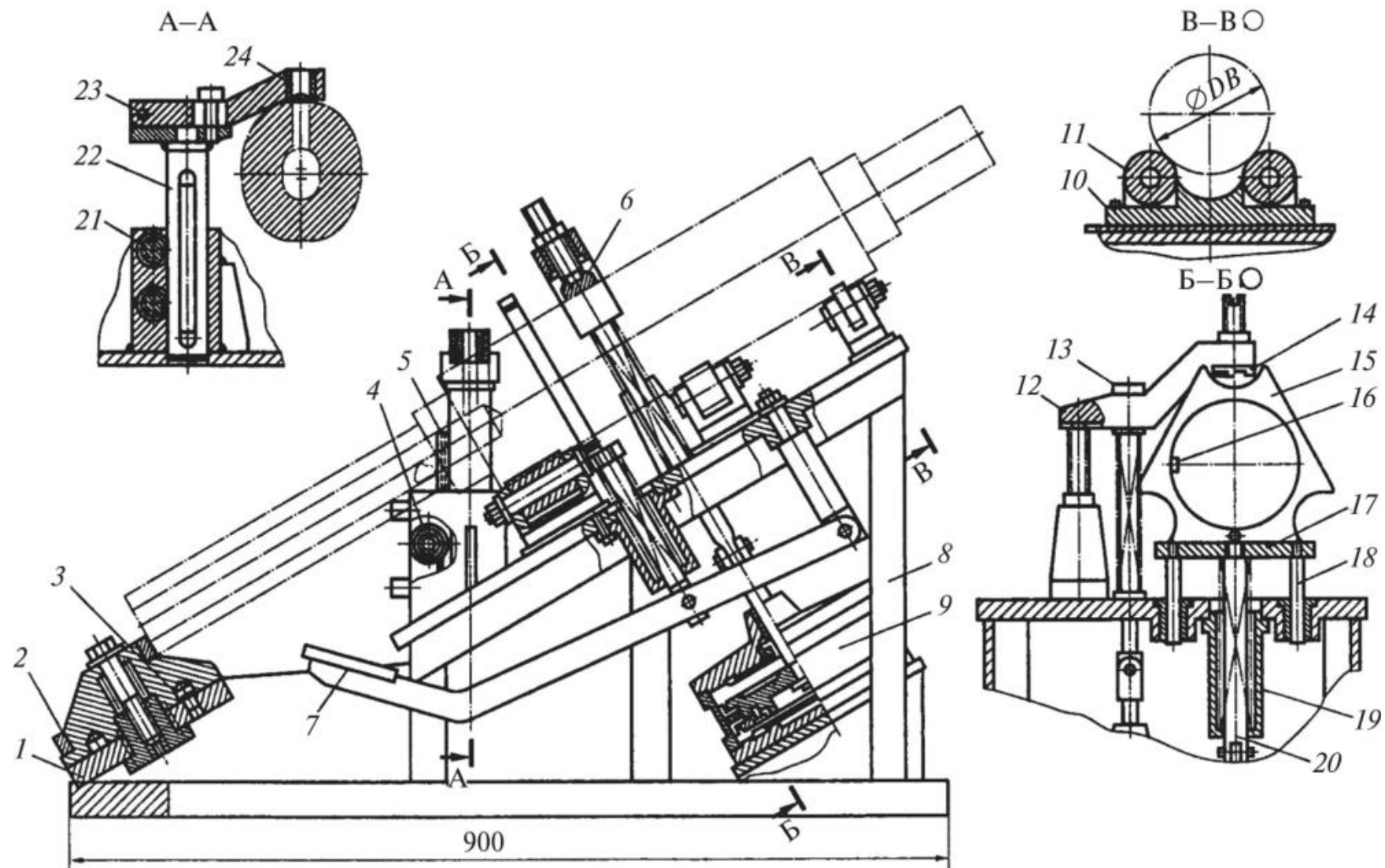


Рисунок 9 – Кондуктор универсальный для сверления наклонных отверстий в валах

На рисунке 9 показан универсальный кондуктор для сверления в валах асинхронных двигателей трех наклонных отверстий. Все узлы кондуктора установлены на сварной станине 8, за которую он закрепляется при установке на радиально-сверлильном станке болтами 4 и 5. Для обработки вал устанавливают на ролики 11 трех опор 10, закрепленных на наклонном столе станины. Закаленные пластины 2, расположенные на поворотном барабане, служат упором для вала. Барабан фиксируют пальцем 3, после его поворота в положение, соответствующее определенному типоразмеру вала. С помощью пневмоцилиндра 9, вал закрепляют в кондукторе, шток которого передает усилие на планку 12 через тяги 6 и 13.

Обрабатывают отверстия через втулку 24, запрессованную в откидной планке 23, закрепленную шарнирно на стойке 22. Планка, в зависимости от диаметра вала, перемещается вверх или вниз с помощью зажимов 21.

Для сверления каждого из отверстий, расположенных под углом 120° , положение вала в кондукторе фиксируется трехгранным разрезным кольцом 15. Обработка отверстий на валу осуществляют в такой последовательности:

- 1) С помощью регулировки по высоте стойки с кондукторной планкой и поворотной прижимной планкой, а также установкой упорного барабана 1, предварительно налаживают кондуктор на заданный типоразмер вала. На вал устанавливают разрезное кольцо 15, шпонка 16 которого заходит в шпоночный паз вала. Защелками 4 закрепляют кольцо на валу. На планку 17, находящуюся под постоянным нажимом пружины 19, при установке вала на ролики 11, необходимо положить грань кольца 15. После этого включают пневмоцилиндр 9, крепят вал и сверлят отверстие.

Чтобы повернуть вал на 120° необходимо, открепить его переключением цилиндра 9 и отведя планку 17 нажимом на ножную педаль 7. Усилие планке 7, при нажиме на педаль, передается через тягу 20, и она опускается вниз, скользя по двум колонкам 18 с направляющими втулками. Освободив вал, его можно легко поворачивать на роликах от руки, примерно, на угол 120° .

Грань кольца 15 входит в прямой контакт с планкой 7, после того как была отпущена ножная педель. Это дает возможность поворачивать вал на угол равный 120° . Сверление очередного отверстия производят после закрепления вала пневмоцилиндром.

1.4 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Как видно в литературных источниках приведено значительное количество различных приспособлений для сверления наклонных отверстий. Однако, сведений о технологическом оборудовании, которое позволяет сверлить наклонные отверстия при малых подачах, без явления скачкообразности подач, нет.

Известно [4], что скачкообразность подач зависит от коэффициента трения направляющих. Чем выше величина коэффициента трения, тем больше величина скачка, при неизменной величине подач. Полностью избежать скачкообразности возможно только в том случае, если величина коэффициента трения будет равна 0, что позволяют обеспечить аэростатические направляющие.

Цель проектирования: разработка конструкции оборудования для сверления наклонных отверстий с аэростатическими направляющими подвижного узла и назначение технологических режимов обработки, исключающих скачкообразность движений при малых подачах и, как следствие, повреждение инструмента.

Задачи проектирования:

1. Провести анализ существующих конструкций оборудования с аэростатическими направляющими;
2. Разработать принципиальную схему оборудования для сверления наклонных отверстий;
3. Определить основные параметры проектируемого оборудования;

4. Разработка конструкции устройства для сверления наклонных отверстий;

5. Разработать методику проверки работоспособности предлагаемого оборудования.

Научная новизна работы: разработка принципиальной схемы оборудования, для сверления наклонных отверстий, с аэростатическими направляющими подвижного узла, позволяющее избегать скачкообразности движений при малых подачах и, как следствие, повреждение инструмента.

Практическая ценность диссертации: разработка конструкции оборудования для сверления наклонных отверстий, позволяющей устанавливать рациональные технологические режимы обработки.

Апробация работы.

Основные положения и результаты магистерской диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1) XXXII Научно-техническая конференция «Актуальные проблемы науки и образования» ПГУ секция «Металлообрабатывающие станки» (г. Пенза, 13 апреля 2022 год);

2) VIII Всероссийская научная конференция для молодых ученых и студентов с между народным участием «Инновации технических решений в машиностроении и транспорте» в секции «Технологии и оборудование машиностроения» (г. Пенза, 17–18 марта 2022 года).

Публикации. По теме магистерской диссертации опубликована 1 научная статья в сборнике, входящем в РИНЦ:

1. Феоктистов Н.С., Липов А.В. Устройство для обработки наклонных отверстий // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте: сборник статей VIII Всероссийской научной конференции для молодых ученых и студентов с между народным участием. – Пенза: Издательство Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С.242–244.

2 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ НАКЛОННЫХ ОТВЕРСТИЙ

2.1 СХЕМА УСТРОЙСТВА С АЭРОСТАТИЧЕСКИМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ

В статье [5] приведена схема устройства для сверления отверстий малого диаметра, в которой предложено, для избегания скачкообразности при малых подачах, использовать аэростатические направляющие (рисунок 10). Устройство состоит из высокоскоростной сверлильной головки 1 и бабки 2, в которой установлены на наклонной платформе 3. В бабке 2, на аэростатических направляющих, установлена пиноль 4, на которой крепится предметный столик 5, в котором устанавливается заготовка 6. Наклоняемую платформу 3 можно устанавливать под различным углом наклона α относительно горизонтальной станины 7. После этого платформа закрепляется винтами 8 и 9. Наклон платформы 3 относительно станины 7 производится вокруг шарнирной опоры 10. Поскольку считается, что в аэростатических опорах трение покоя равно 0, то это обеспечивает плавность перемещения подвижной части относительно неподвижной [4].

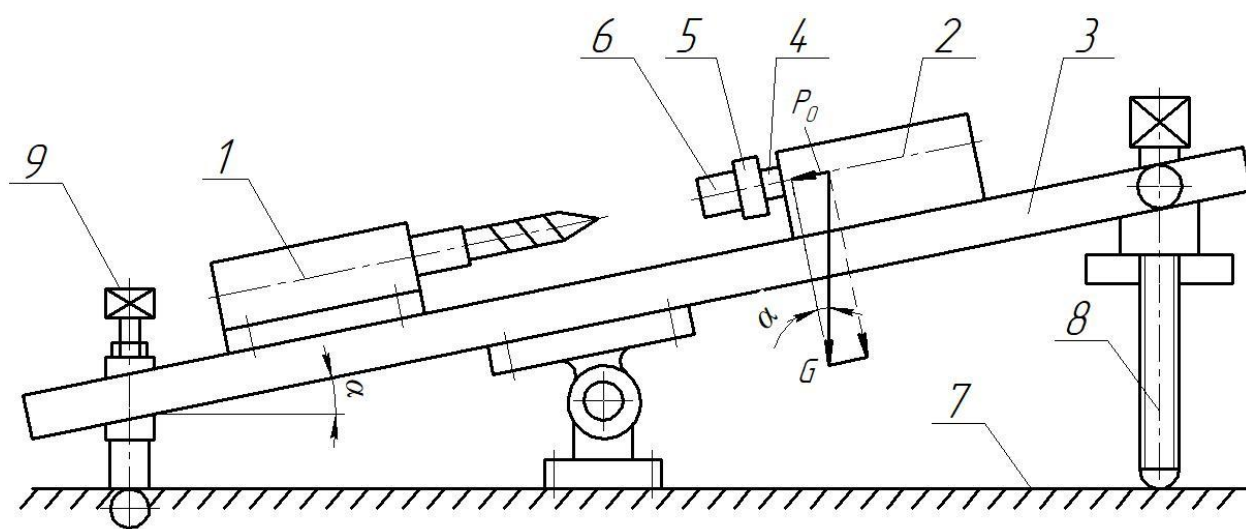


Рисунок 10 – Схема устройства с аэростатическими направляющими

Обработка отверстия по такой схеме осуществляется следующим образом. Сила, действующая на сверло в осевом направлении P_0 , которая возникает при наклоне платформы на угол α , определяется по формуле:

$$P_0 = \Sigma G_i \cdot \sin \alpha$$

где G – суммарный вес подвижной части опоры, предметного столика и детали.

К недостаткам данного устройства следует отнести:

- 1) невозможность точного регулирования угла установки платформы, предложенной конструкцией механизма ее подъема;
- 2) при сверлении отверстий возможен угловой проворот подвижной части узла от крутящего момента при сверлении;
- 3) при сверлении наклонных отверстий возможен увод сверла от поперечной нагрузки, что может привести к потере воздушного зазора между подвижной и неподвижной частями устройства;
- 4) на схеме устройства не приведена конструкция приспособления для базирования и закрепления заготовки;
- 5) не указана конкретная модель сверлильной головки, что не позволяет определить технологические параметры обработки;
- 6) в предлагаемой схеме не предусмотрено установочное перемещение сверлильной головки со сверлом в зону резания, что приводит к необходимости значительного перемещения детали с подвижной частью устройства.

2.2 СХЕМА ПРЕДЛАГАЕМОГО УСТРОЙСТВА

На основании рассмотренной схемы устройства с аэростатическими направляющими и с учетом вышеприведенных недостатков разработана схема устройства для сверления наклонных отверстий, рисунок 11.

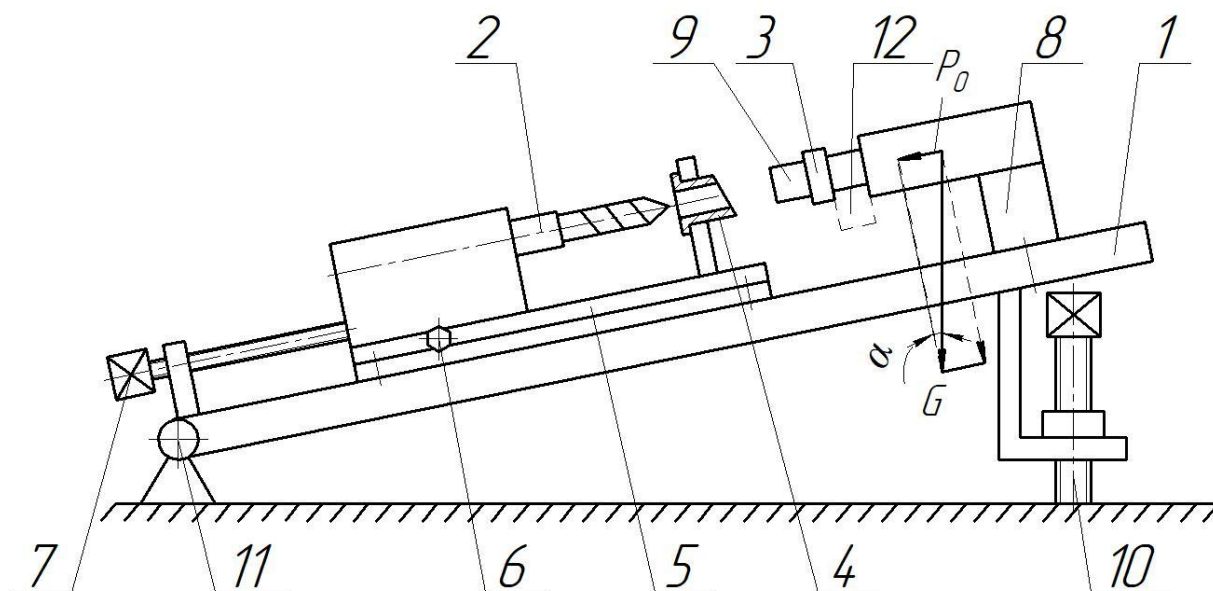


Рисунок 11 – Предлагаемая схема устройства для сверления наклонных отверстий

На наклонной платформе 1 установлены: высокоскоростная сверлильная головка 2, узел подачи заготовки 3 и кондукторная втулка 4. Сверлильная головка 2 и кондукторная втулка 4 закреплены, соответственно, в кронштейнах, которые закреплены на столе 5, имеющем возможность установочного перемещения относительно его основания вдоль оси сверла. Это перемещение осуществляется винтом 6, что сокращает величину подвода сверла в зону обработки. Стол 5 фиксируется в необходимом положении относительно неподвижного основания винтом 7.

Узел подачи заготовки 3 состоит из подвижной части, неподвижной части и кронштейна 8, неподвижно закрепляемого на наклонной платформе 1. На подвижной части установлена заготовка 9 с приспособлением для ее крепления.

Перемещение подвижной части относительно неподвижной осуществляется по аэростатическим направляющим.

Угловое положение платформы задается винтом 10 при ее повороте относительно шарнирной опоры 11. Для исключения возможного углового проворота подвижной части узла от крутящего момента при сверлении установлены грузы 12.

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА

3.1 ВЫБОР ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СВЕРЛИЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

Для обработки отверстий выбрана сверлильная головка модели Hammer MD135A, рисунок 12.



Рисунок 12 – Высокоскоростная сверлильная головка модели Hammer MD135A

Данный высокоскоростной ротационный инструмент предназначен для высокоточной шлифовки, зачистки, отрезания, гравировки, полировки и сверления разнообразных материалов. Он состоит из: 1 – гайка цанги; 2 – кнопка блокировки шпинделя; 3 – щеткодержатель для угольных щеток; 4 – регулятор скорости вращения; 5 – выключатель; 6 – держатель.

В таблице 1 представлены основные технические характеристики сверлильной головки.

Таблица 1 – Технические характеристики высокоскоростной сверлильной головки

Модель	Hammer MD135A
Напряжение сети, В	220 – 230
Частота сети, Гц	50~60
Потребляемая мощность, Вт	135
Размер цанги, мм	3,2
Скорость вращения холостого хода, об/мин	10000 – 32000
Масса, кг	1,8

Технологические возможности данной сверлильной головки позволяют использовать сверла различных длин диаметром от 0,5 до 3,2 мм, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Диаметры сверл средней серии по ГОСТ 4010 – 77

<i>d</i>	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>l</i>
0,50	22	6	1,60	43	20
0,52			1,65		
0,55	24	7	1,70	46	22
0,58			1,75		
0,60			1,80		
0,62	26	8	1,85	49	24
0,65			1,90		
0,68	28	9	1,95	53	27
0,70			2,00		
0,72			2,05		
0,75			2,10		
0,78	30	10	2,15		
0,80			2,20		
0,82			2,25		
0,85			2,30		
0,88	32	11	2,35		

0,90	32	11	2,40	57	30
0,92			2,45		
0,95			2,50		
0,98	34	12	2,55		
1,00			2,60		
1,05			2,65		
1,10	36	14	2,70	61	33
1,15			2,75		
1,20	38	16	2,80		
1,25			2,85		
1,30			2,90		
1,35	40	18	2,95		
1,40			3,00		
1,45			3,10	65	36
1,50			3,15		
1,55	43	20	3,20		

3.2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА НАКЛОНА ПЛАТФОРМЫ

Предложено, для более точного регулирования угла установки платформы, ее наклон осуществлять на оси, расположенной на ее конце, и, регулирование угла наклона осуществлять одним винтом.

На рисунке 13 приведена схема для расчета необходимого угла наклона платформы.

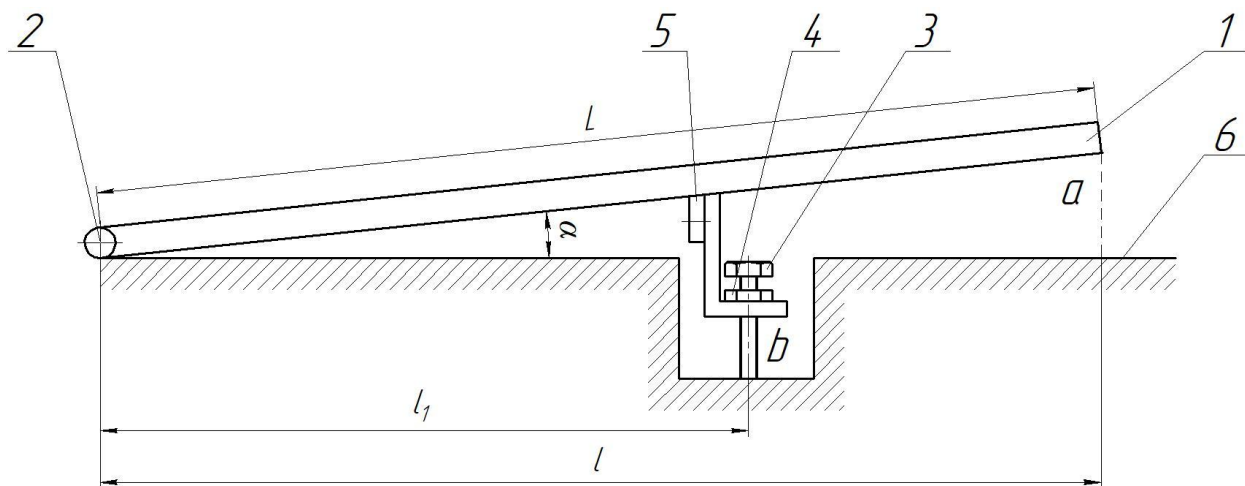


Рисунок 13 – Схема для расчёта необходимого угла наклона платформы

На этом рисунке наклонная платформа 1 поворачивается вокруг шарнирной опоры 2 до нужного угла наклона α винтом 3, после чего стопорится контргайкой 4. Для удобства создания натяга кронштейн с регулировочным винтом 3 крепится к планке 5 наклонной плиты. Для расширения технологических возможностей по созданию угла наклона в станине 6 выполнена выемка. При проектировании механизма подъема для более точного регулирования угла наклона необходимо стремиться к тому, чтобы:

- 1) расстояние между шарнирной опорой и регулировочным винтом было относительно небольшим, позволяющим перемещать регулировочный винт на небольшое расстояние для установки требуемого угла α ;
- 2) вращение винта при подъеме на 1° должно обеспечивать визуальное наблюдение угла поворота головки винта.

При наклоне платформы на 1° незакрепленная ее грань должна подняться на высоту a , определяемую из зависимости:

$$a = L \cdot \sin 1^\circ = 0,0175 \cdot L,$$

где L – длина платформы, которая определяется расположенным на ней оборудованием (длина высокоскоростной сверлильной головки, узла подачи заготовки и т.д.), мм.

Величина подъема платформы b по оси регулировочного винта, при наклоне на 1° , определяется из зависимости:

$$b = \frac{a \cdot l_1}{l},$$

где $l = L \cdot \cos 1^\circ = 0,9998 \cdot L$, мм.

Зададимся условием, что наклон платформы на 1° должен обеспечиваться поворотом головки на 1 полный оборот, т.е. количество оборотов головки винта n для наклона платформы на угол α определяется по зависимости:

$$n = \frac{b}{t},$$

где t – шаг резьбы, мм.

Контроль угла подъема платформы обеспечивается инклинометром с магнитным основанием модели ANENG 2, на экране которого отображается значение угла в градусах, рисунок 14.



Рисунок 14 – Инклинометр модели ANENG 2

Данный инклинометр обладает следующими характеристиками, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики инклинометра модели ANENG 2

Модель	ANENG 2
Точность	$\pm 0,2^\circ$
Повторяемость	$0,1^\circ$
Рабочая температура, $^\circ\text{C}$	0–40
Вес, кг	0,0455
Размеры, мм	60x30x50

3.3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГРУЗОВ ПОДВИЖНОЙ ЧАСТИ УСТРОЙСТВА

Для обеспечения стабильности углового положения подвижной части от действия крутящего момента при сверлении в нижней ее части расположены грузы серповидной формы. Положение этих грузов обеспечивает стабильность нагрузки на аэростатические направляющие.

Для фиксации от возможного проворота подвижной части узла от крутящего момента $M_{\text{кр}}$ предложено в нижней его части установить груз, момент M от которого определяется по формуле:

$$M_{\text{кр}} \leq M,$$

$$M = m \cdot g \cdot l,$$

где l – расстояние от центра масс груза до оси обрабатываемого отверстия, мм;

m – масса груза, кг;

g – ускорение свободного падения.

Для равномерного распределения нагрузки на аэростатические направляющие массу груза размещать равномерно по подвижной части.

Определяем максимальную и минимальную частоту вращения инструмента для сверл диаметров 0,5 и 3,2 мм, чтобы определить технические возможности сверлильной головки:

$$n = \frac{1000V}{\pi D};$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 0,5} \frac{\text{об}}{\text{мин}},$$

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 3,2} \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Скорость резания при сверлении детали из стали 45 сверлом из быстрорежущей стали $V = 35 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$, D – диаметр сверла, мм.

Подачу сверла выбираем по таблице [6, с 77]:

$$S_{\min} = 0,09 \dots 0,11 \frac{\text{мм}}{\text{об}},$$

$$S_{\max} = 0,12 \dots 0,18 \frac{\text{мм}}{\text{об}}.$$

Исходя из того, что следует уменьшать подачу на 30%, принимаем:

$$S_{\min} = 0,063 \dots 0,077 \frac{\text{мм}}{\text{об}},$$

$$S_{\max} = 0,084 \dots 0,13 \frac{\text{мм}}{\text{об}}.$$

Осевую силу определяем по известной зависимости:

$$P_{o(\min)} = 10 \cdot 68 \cdot 0,5^1 \cdot 0,07^{0,7} \cdot 1 = 52,85 \text{ Н},$$

$$P_{o(\max)} = 10 \cdot 68 \cdot 3,2^1 \cdot 0,1^{0,7} \cdot 1 = 436,17 \text{ Н}.$$

По зависимости из справочника технолога-машиностроителя определяем крутящий момент:

$$M_{\text{кр}(\min)} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 0,5^2 \cdot 0,04^{0,8} \cdot 1 = 0,0064 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\text{кр}(\max)} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 3,2^2 \cdot 0,07^{0,8} \cdot 1 = 0,41 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Расчет массо-центровочных характеристик груза проводился с использованием программного обеспечения Компас 3D.

На рисунке 15 приведены результаты расчетов массо-центровочных характеристик груза.

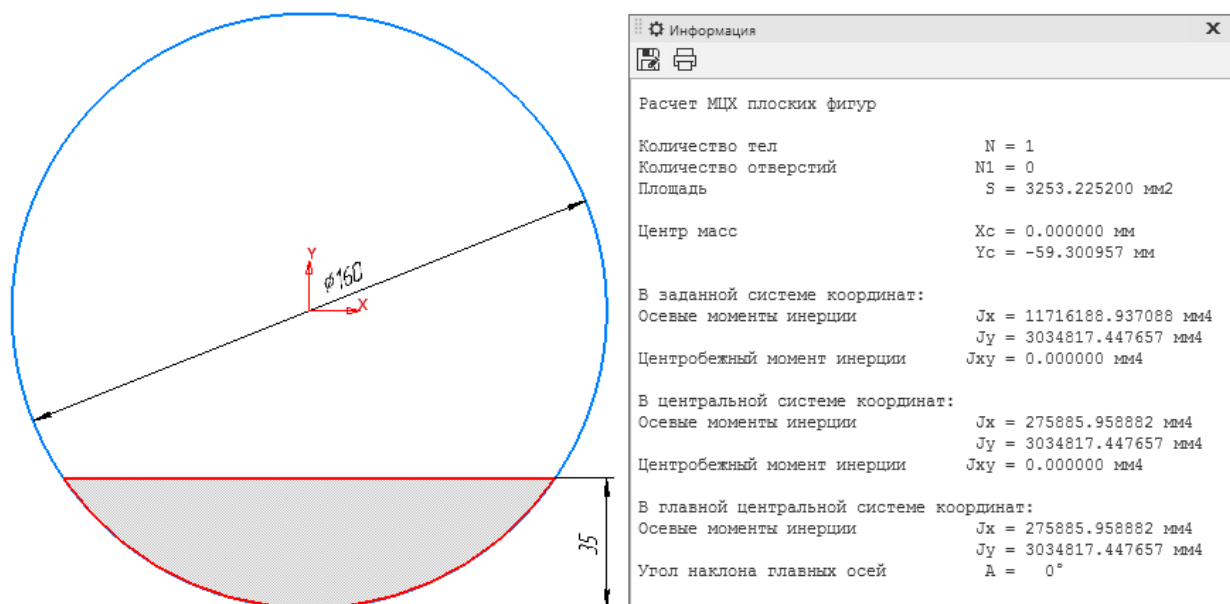


Рисунок 15 – Результаты расчетов массо-центровочных характеристик груза

Подбираем такой суммарный момент, равномерно распределенных четырех грузов, чтобы он был больше крутящего момента, который создается сверлом, чтобы исключить проворот подвижной части аэростатической направляющей при сверлении детали.

Масса одного груза равна:

$$m = \frac{M}{4 \cdot g \cdot l};$$

$$m = \frac{0,41}{4 \cdot 9,81 \cdot 0,6} = 0,167 \text{ кг.}$$

Суммарная масса четырех грузов равна $\Sigma m = 0,668 \text{ кг.}$

3.4 ВЫБОР КОНДУКТОРНОЙ ВТУЛКИ

Для того, чтобы исключить значительной величины увода сверла предложено, установить кондукторную втулку между сверлом и обрабатываемой деталью. При этом ее положение должно обеспечивать минимальное расстояние между сверлом и заготовкой.

Анализ кондукторных втулок показал, что они бывают: постоянные, сменные и быстросменные по ГОСТ 26238–93, рисунок 16.

Постоянные кондукторные втулки выполняются без бурта (рис. 16, а) по ГОСТ 18429–73 и с буртом (рис. 16, б) по ГОСТ 18430–73.

Они применяются при обработке отверстий только одним инструментом (сверлом или зенкером) и запрессовываются в кондукторную плиту по посадке $-\frac{H7}{h6}$, в некоторых технически обоснованных случаях $\frac{H7}{r6}$ или $\frac{H7}{r6}$.

Сменные втулки (рис. 16, в) устанавливают в промежуточных втулках по посадке $-\frac{H7}{q6}$. Втулки выполняются без бурта (ГОСТ 15362–73) и с буртом (ГОСТ 18431–73). Их часто используют при сверлении отверстий только одним инструментом в тех случаях, когда необходима сравнительно частая замена вследствие износа.

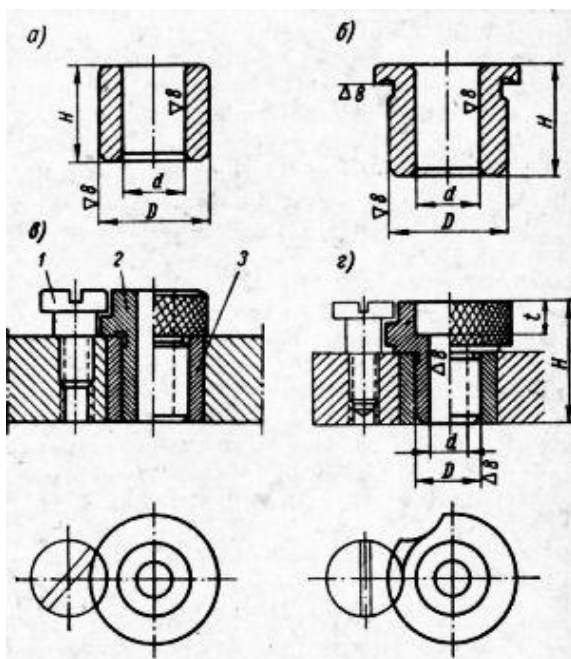


Рисунок 16 – Стандартные кондукторные втулки

Эти втулки используют в крупносерийном производстве. Кондукторные втулки могут выдерживать примерно 10000—20000 сверлений.

Сменные втулки устанавливают в основные по посадке и, от проворачивания и подъема при обработке, закрепляют винтами.

Быстросменные втулки (рис. 16, з) согласно ГОСТ 18432–73 применяются в тех случаях, когда отверстие сверлят последовательно несколькими инструментами: сверлом, зенкером и разверткой. Для направления каждого из них предусматривается своя быстросменная втулка. Для развертывания втулки используются редко.

Бурт у втулок делается высоким и с накаткой, для удобства удержания их при снятии и установке. На буртике имеется сквозной продольный паз, позволяющий легко вынимать и вставлять втулку при замене, а также боковой уступ для головки винта, удерживающего ее от выталкивания стружкой. При снятии втулку поворачивают против часовой стрелки до совпадения паза с головкой винта и поднимают вверх.

Режущий инструмент направляется в отверстия кондукторных втулок по подвижной посадке 2-го класса точности (системы вала). За номинальный диаметр отверстия принимается наибольший диаметр рабочей части режущего инструмента.

Размеры отверстий во втулках, с соответствующими посадке отклонениями, проставляются на чертеже общего вида приспособления.

Высота постоянных и сменных втулок выбирается равной $1,5 - 2$ от диаметра отверстия под инструмент. Высота быстросменных втулок несколько больше, но в них предусмотрена выточка глубиной t , благодаря которой длина контакта втулки со сверлом остается такой же, т. е. $(1,5 - 2)d$.

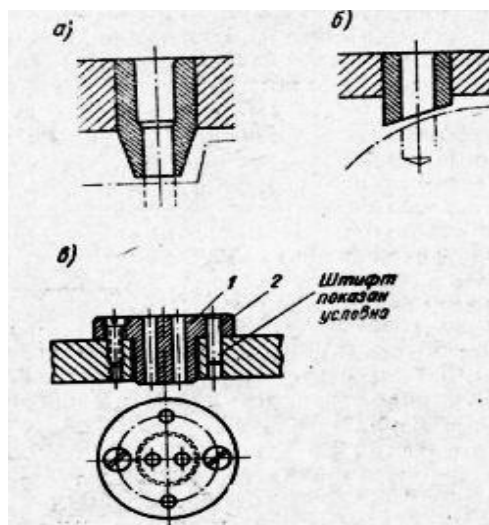


Рисунок 17 – Специальные кондукторные втулки

В тех случаях, когда требуется обеспечить точное расположение оси обрабатываемого отверстия, расстояние l следует принимать не более $0,5d$. Меньше, чем $0,5d$ расстояние брать нежелательно, так как при этом угол сверла будет активно истирать втулку в начале сверления, вызывая надиры на ее поверхности, и затупление сверла, в этом случае, будет более интенсивным.

Специальные втулки имеют конструкцию, соответствующую особенностям детали и операции. Однако общие соображения о выборе посадки инструмента во втулке, ее высоты, расстояния между втулкой и деталью остаются теми же, что и для стандартных втулок.

На рисунке 17, *а* показана специальная втулка удлиненной формы. Для приближения ее к детали, имеющей уступ, а на рисунке 17, *б* – специальная втулка для сверления отверстия на криволинейной поверхности детали. Для случая, когда производится сверление двух близко расположенных отверстий используется втулка, представленная на рисунке 17, *в*.

В нашем случае выбираем специальную кондукторную втулку с буртами для сверления наклонного отверстия диаметром 3,2 мм детали. Посадку сверла во втулке выбираем:

$$\frac{H8^{(+0,018)}}{h6^{(-0,008)}}.$$

При сверлении наклонных поверхностей на сверло действует изгибающее усилие P_y , которое его деформирует в кондукторной втулке. Смещение оси вращения сверла от оси втулки является главной причиной возникновения деформаций сверла износа его и кондукторной втулки. Их износ приобретает наиболее интенсивный характер, если сверло имеет во втулке двойной изгиб, рисунок 18 [7].

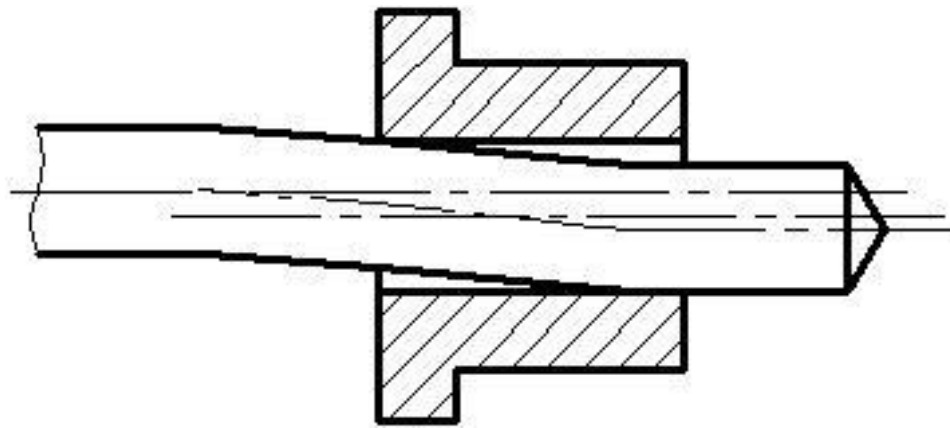


Рисунок 18 – Двойной изгиб сверла во втулке

В этом случае, на сверле, вместо обратного конуса, довольно быстро появляется прямой, который не удаляется полностью при переточке, и сверло быстро выходит из строя. Предельно допустимое смещение S оси вращения сверла относительно оси кондукторной втулки показано на рисунке 19.

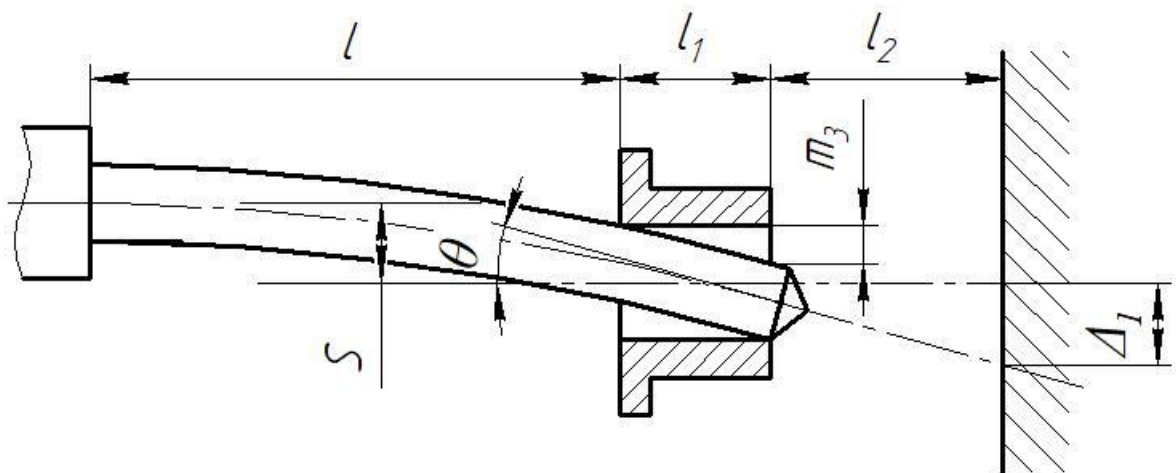


Рисунок 19 – Предельно допустимое смещение оси сверла относительно оси кондукторной втулки

Для практики вполне достаточно определить значение S приближенно, исходя из упрощенной модели процесса, при этом, однако, условии, чтобы ошибка была направлена в сторону повышения требований к точности взаимного расположения шпинделя втулки. Стрелой прогиба шпинделя и оправки можно пренебречь (поскольку их жесткость намного больше жесткости сверла), а сверло рассматривать как балку постоянного поперечного сечения, неподвижно заделанную одним концом в оправке.

Как известно, уравнение упругой линии такой балки (рисунок 20) имеет вид:

$$y = \frac{P \cdot l^3}{6 \cdot \varepsilon \cdot J} \left(2 - 3 \frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} \right)$$

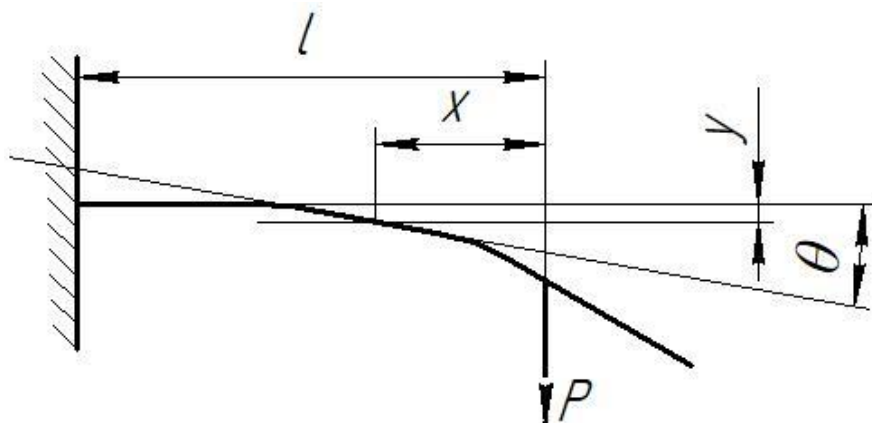


Рисунок 20 – Расчетная схема упругой линии балки

Тангенс угла θ наклона касательной к упругой линии в точке приложения изгибающей силы, т.е. в точке с координатой $x = 0$, равняется:

$$|\tan \theta| = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0} = \frac{P \cdot l^2}{2 \cdot \varepsilon \cdot J}.$$

Стрелка прогиба в этой точке:

$$y_0 = \frac{2l}{3} \cdot \tan \theta.$$

Двойной перегиб сверла во втулке должен отсутствовать даже в том случае, когда сверло полностью переточено и его подверженная изгибу на длине часть l , а также зазор m_3 между сверлом и втулкой является наименьшим. При этом следует учитывать, что вследствие малой вероятности наличия одновременно минимального диаметра втулки и максимального диаметра сверла диапазон рассеивания m_3 следует считать равным корню квадратному из суммы квадратов соответствующих допусков (а не их арифметической сумме). Кроме того, кондукторная втулка систематически изнашивается в процессе работы, в результате чего зазор между нею и сверлом увеличивается, в связи с этим должна быть внесена поправка. Из рисунка 20 видно, что:

$$\tan \theta = \frac{m_3 + \frac{\psi \cdot l_1}{2}}{l_1} = \frac{2 \cdot m_3 + \psi \cdot l_1}{2 \cdot l_1};$$

$$y_0 = S - \frac{m_3 + \psi \cdot l_1}{2}.$$

Подставляя эти значения в формулу (1), находим предельное смещение S оси вращения шпинделя относительно оси кондукторной втулки:

$$S = m_3 \frac{3 \cdot l_1 + 4 \cdot l}{6 \cdot l_1} + \psi \frac{3 \cdot l_1 + 2 \cdot l}{6}, \quad (1)$$

где Ψ – уменьшение диаметра сверла на 1 мм его длины, равное $\frac{0,05}{2}$.

$$S = 0,026 \cdot \frac{3 \cdot 10 + 4 \cdot 3}{6 \cdot 10} + \frac{0,05}{100} \cdot \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 3}{6} = 0,046 \text{ мм},$$

$$y_0 = 0,046 - \frac{0,026 + 0,05/100 \cdot 10}{2} = 0,031 \text{ мм}.$$

Проведенные расчеты показали, что, в рассматриваемом нами случае, двойного перегиба сверла в кондукторной втулке, при обработке, не происходит. Следовательно, сверло не будет интенсивно изнашиваться.

3.5 ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЖИМНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Для базирования и закрепления заготовки предусмотрены различные угловые элементы, размещенные между двумя пластинами, которые скрепляются болтами с гаками.

При выполнении сверлильной операции, включающей сверление и развертывание отверстия, на заготовку действует момент резания M , определяемый по формуле при расчете режимов резания.

Так как глубина резания при сверлении значительно больше, чем при развертывании, вероятность смещения заготовки при сверлении так же больше, чем при развертывании. Поэтому в расчете усилия зажима исходной информацией будет являться момент резания при сверлении отверстия. По результатам расчетов режимов резания при сверлении он составил:

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 3,2^2 \cdot 0,07^{0,8} \cdot 1 = 0,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При этом диаметр сверла составляет $D = 3,2$ мм.

Для того, чтобы предотвратить поворот заготовки, к ней необходимо приложить силу закрепления Q_3 , определяется сила закрепления заготовки по формуле:

$$Q_3 = \frac{K \cdot M_{\text{кр}}}{f \cdot D},$$

где $f = 0,34$ – коэффициент трения в контакте поверхности заготовки и зажимного элемента;

$K = 1,5$ – коэффициент запаса;

D – диаметр сверла;

$M_{\text{кр}}$ – крутящий момент на сверле, Н · м.

Принимаем $D = 0,5$ и $3,2$ мм.

$$Q_3 = \frac{1,5 \cdot 0,4}{0,34 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3}} = 1088 \text{ Н}.$$

Чтобы обеспечить неподвижность заготовки на операции, ее нужно зажать двумя зажимами с усилиями 1088 Н на каждом зажиме.

Винт изготавливается из стали 45 с применением отжига. Следовательно, $\sigma_{\text{в}} = 100 \text{ МПа} = 10^8 \text{ Н/м}^2$. На винте используется стандартная резьба.

Зная усилие зажима, определим диаметр резьбы d_p по формуле:

$$d_p = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{Q_3}{\sigma_{\text{в}}}},$$

Подставив значения в формулу, получим:

$$d_p = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{1088}{10^8}} = 0,0046 \text{ м}.$$

Ориентировочно принимаем диаметр винта $d_p = 5$ мм.

Определяем момент кручения, приложенный к винту, для обеспечения усилия зажима Q_3 . Так как резьба является стандартной, то момент кручения, приложенный к винту, будет определяться по формуле:

$$M_{кр} = 0,1 \cdot d_p \cdot Q_3.$$

Подставив значения в формулу, получим:

$$M_{кр} = 0,1 \cdot 0,005 \cdot 1088 = 0,544 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Примем длину рукоятки $L = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$. Определим нужную силу прикладываемую рукой оператора, для обеспечения требуемого усилия зажима Q_3 , по формуле:

$$P_{рук} = \frac{M_{кр}}{L}.$$

Подставив значения в формулу, получим:

$$P_{рук} = \frac{0,544}{0,1} = 5,44 \text{ Н}.$$

Таким образом, для закрепления обрабатываемой детали достаточно применить 4 винта диаметром $d_p = 5 \text{ мм}$ и затянуть их ключом с рукояткой длиной $L = 100 \text{ мм}$ с усилием $P_{рук} = 5,44 \text{ Н}$.

4 ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЛАГАЕМОГО УСТРОЙСТВА

Для оценки работоспособности конструкции предлагаемого устройства следует провести расчеты грузоподъемности и жесткости аэростатических направляющих, поведение подвижного узла с заготовкой при сверлении. Грузоподъемность аэростатических направляющих позволяет, при известной массе подвижного узла, определить возможность его «всплытия» для образования воздушного зазора. Жесткость аэростатических направляющих должна обеспечивать не нарушение воздушного зазора при сверлении. Сверло при обработке наклонных поверхностей должно испытывать нужную деформацию в кондукторной втулке, что соответствует наибольшему периоду его работы без переточки. Поведение подвижного узла при сверлении должно обеспечивать нулевое трение в аэростатических опорах.

4.1 КОНСТРУКЦИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО УСТРОЙСТВА

На рисунке 21 изображено предлагаемое устройство для сверления наклонного отверстия.

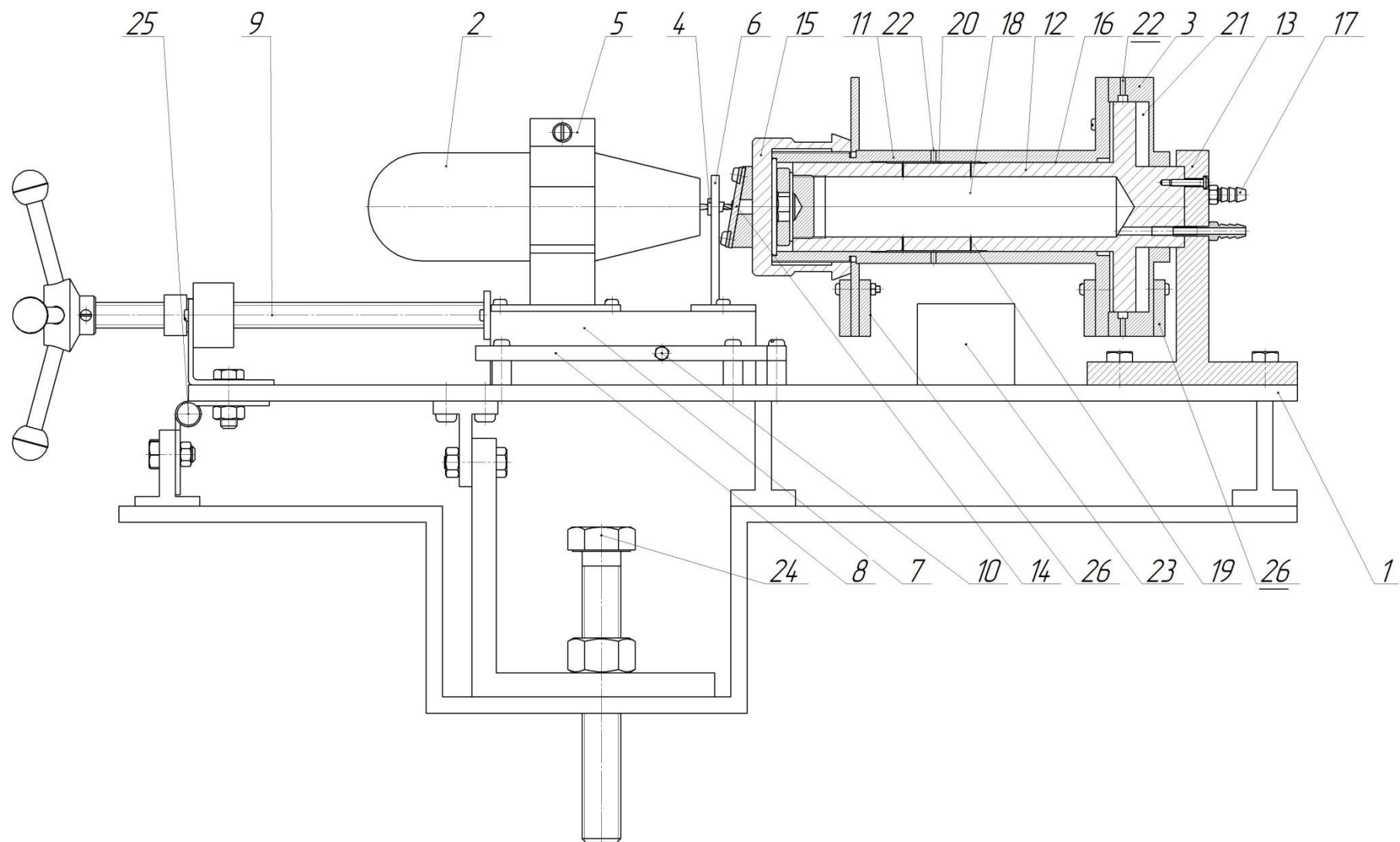


Рисунок 21 – Предлагаемое устройство для сверления наклонного отверстия

На наклонной платформе 1 установлены: высокоскоростная сверлильная головка 2, узел подачи заготовки 3 и кондукторная втулка 4. Сверлильная головка 2 и кондукторная втулка 4 закреплены, соответственно, в кронштейнах 5 и 6, которые закреплены на столе 7, имеющем возможность установочного перемещения относительно его основания 8 вдоль оси сверла. Это перемещение осуществляется винтом 9, что сокращает величину подвода сверла в зону обработки. Стол 7 фиксируется в необходимом положении относительно неподвижного основания 8 винтом 10.

Узел подачи заготовки 3 состоит из подвижной части 11, неподвижной части 12 и кронштейна 13, неподвижно закрепляемого на наклонной платформе 1. На подвижной части 11 установлена заготовка 14 с приспособлением для ее крепления 15.

Перемещение подвижной части 11 относительно неподвижной 12 осуществляется по аэростатическим направляющим 16.

Воздух из пневмосети через штуцер 17, полость 18, через жиклеры 19 поступает в кольцевой карман 20. За счет избыточного давления в кармане 20 происходит «всплытие» подвижной части 11 узла подачи заготовки 3 относительно неподвижной части 12.

Одновременно воздух из кольцевого кармана 20 поступает через образовавшийся зазор, между подвижной частью 11 и неподвижной частью 12, в левую часть аэростатического подпятника 21. Сброс воздуха производится через отверстия 22.

Максимальная подача заготовки обеспечивается расстоянием l между подвижной частью 11 и неподвижной частью 12 в осевом направлении.

Угол подъема наклонной платформы 1 контролируется инклинометром 23. Ее угловое положение задается винтом 24 при ее повороте относительно шарнирной опоры 25. Для исключения возможного углового проворота подвижной части узла 11 от крутящего момента при сверлении установлены грузы 26.

На рисунке 22 представлена 3D модель устройства для сверления наклонного отверстия.

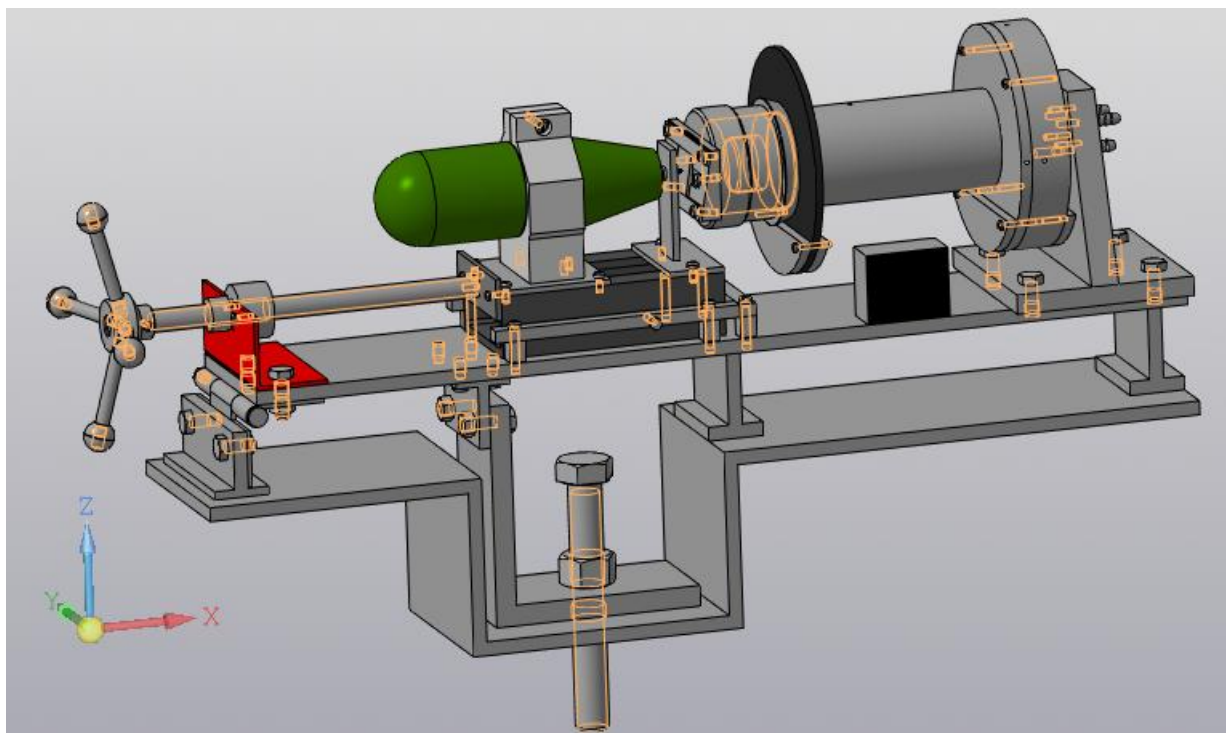


Рисунок 22– 3D модель устройства для сверления наклонного отверстия

4.2 РАСЧЕТ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ АЭРОСТАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЯЮЩИХ

Разделение трущихся поверхностей в аэростатических направляющих добиваются подачей в карманы воздуха под давлением. В результате между сопряженными поверхностями направляющих образуется воздушная подушка. По конструкции, аэростатические направляющие напоминают гидростатические. Рабочую поверхность делят на несколько секций, в которых располагаются карманы. Подвод и распределение в каждой секции независимые.

Недостатки аэростатических направляющих, по сравнению с гидростатическими, заключается в малой нагрузочной способности, невысоком демпфировании колебаний, так как вязкость воздуха на четыре порядка меньше вязкости масла, низкими динамическими характеристиками, склонностью к отказам из-за засорений магистралей и рабочего зазора.

Динамические характеристики можно улучшить, применяя аэростатические направляющие закрытого типа, а поднять нагрузочную способность за счет автономной системы питания от отдельного компрессора.

Преимущества аэростатических направляющих состоит в том, что они при движении обеспечивают низкий коэффициент трения, а при отключении подачи воздуха очень быстро создается контакт поверхностей с большим трением, обеспечивающим достаточную жесткость фиксации узла станка в заданной позиции. Отпадает необходимость в фиксирующих устройствах, в которых нуждаются гидростатические направляющие.

В практике используются круглые направляющие, что позволяет рассчитывать их как подшипники.

Грузоподъемность аэростатических направляющих может быть определена приближенным способом на основе допущений о линейном распределении давления вдоль подшипника и одностороннем потоке воздуха вдоль образующего цилиндра. При этих допущениях эпюра давлений по длине подшипника соответствует трапеции, и, грузоподъемность подшипника представляется в виде [8]:

$$P = 0,12 \cdot p_n \cdot D \cdot (L - l) \cdot f_p(\varepsilon),$$

где p_n – избыточное давление поддува воздуха, МПа;

D – диаметр шейки шпинделя, мм;

L – длина подшипника, мм;

l – расстояние от края направляющей до отверстия поддува, мм.

Коэффициент $f_p(\varepsilon)$ зависит от величины эксцентрического смещения:

$$\varepsilon = \frac{2l}{\Delta}$$

Приближенно можно принять:

$$f_p(\varepsilon) = \frac{\pi}{\varepsilon} \left[(1 - \varepsilon^2)^{-\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

Если ограничить предельное значение эксцентриситета $\varepsilon_{\max} \leq 0,5$, то можно получить величину грузоподъемности направляющих:

$$P_{\max} = 0,12 \cdot p_{\text{н}} \cdot D \cdot (L - l)$$

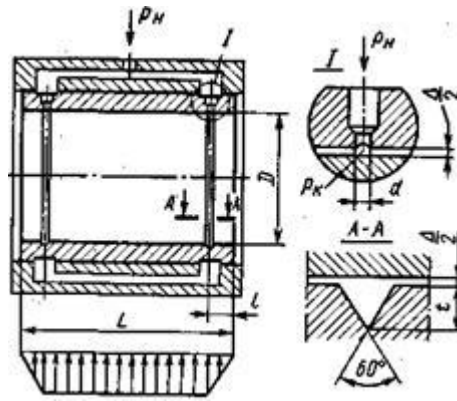


Рисунок 22 – Аэроостатическая направляющая

Конструктивное оформление аэроостатических направляющих предусматривает использование жесткого цельного вкладыша с системой ввода воздуха под давление по концам, а при коротких вкладышах иногда и среднюю часть втулки. Часто руководствуются соотношением $l = 0,1L$, а длину подшипника выбирают в пределах:

$$L = (1 \dots 1,5) \cdot D$$

В нашем случае размеры подшипника в исследуемой конструкции:

$$L = 180 \text{ мм}; l = 40 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия поддува принимают $0,2 - 0,3 \text{ мм}$, а величину диаметрального зазора $\Delta = 10 \text{ мкм}$.

Число z отверстий поддува, по экспериментальным данным, полученным в ЭНИМС, целесообразно выбирать, учитывая зависимость:

$$z = \frac{\pi \cdot D}{50}$$

$$z = \frac{\pi \cdot 55}{50} = 3,45$$

Округляем до ближайшего целого числа и принимаем $z = 4$.

$$P_{\max} = 0,12 \cdot 0,03 \cdot 10^7 \cdot 55 \cdot 10^{-3} \cdot (200 \cdot 10^{-3} - 70 \cdot 10^{-3}) = 257,4 \text{ Н}$$

Жесткость аэроостатического подшипника соответствует выражению:

$$j = \frac{dP}{dl} = 0,4p_{\text{н}} \cdot \frac{D(L - l)}{\Delta},$$

где Δ – диаметральный зазор в подшипнике, мкм.

$$j = 0,4 \cdot 0,03 \cdot 10^7 \cdot \frac{55 \cdot 10^{-3} \cdot ((200 - 70) \cdot 10^{-3})}{10 \cdot 10^{-6}} = 8,58 \cdot 10^7 \text{ Н/м}$$

Для того, чтобы изменять грузоподъемность и жесткость аэростатических направляющих, наиболее простым решением является изменение давления поддува p_n . На рисунке 22 приведены зависимости грузоподъемности и жесткости данной конструкции аэростатических направляющих в зависимости от давления поддува.

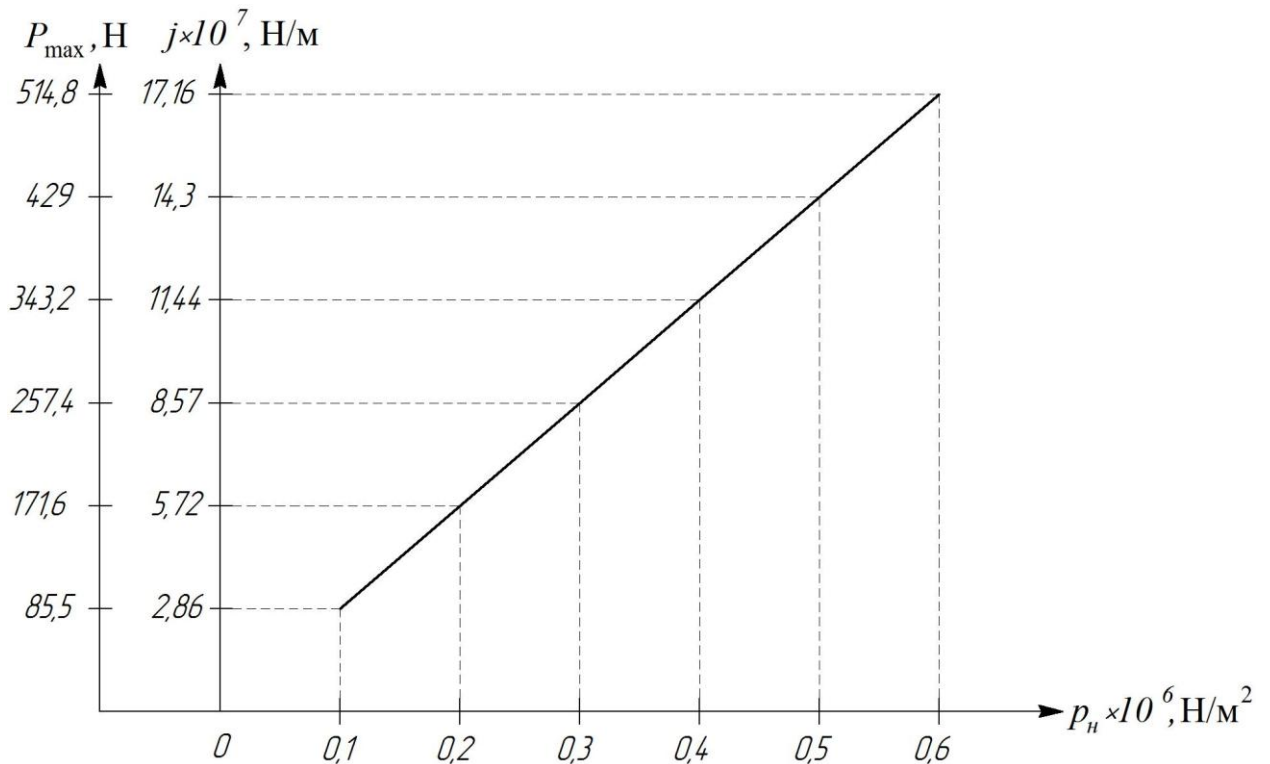


Рисунок 22 – График зависимости грузоподъемности и жесткости от давления поддува

Из рисунка видно, что за счет давления поддува для данной конструкции аэростатических направляющих, жесткость можно увеличить с $2,86 \cdot 10^7$ до $17,16 \cdot 10^7$ Н/м, а грузоподъемность с 85,5 до 514,8 Н.

5 ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА

Для оценки работоспособности устройства необходимо знать величину изгибающей нагрузки, действующей на него со стороны сверла.

5.1 РАСЧЕТ ИЗГИБАЮЩИХ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СВЕРЛО

Расчет сверла на прочность при изгибе

В процессе резания на сверло действуют осевая сила резания P_0 и крутящий момент $M_{кр}$, который воспринимаются равными по величине и обратным по направлению осевым усилием и крутящим моментом хвостовика. Поэтому рабочая часть и шейка сверла испытывают одновременно касательные напряжения τ от крутящего момента и нормальные напряжения σ от осевого усилия. Чтобы сверло надежно противостояло силам резания, оно должно иметь запас прочности, в три раза превышающий действующие нагрузки.

Осевое усилие резания, возникающее, при сверлении P_0 определяется по следующей зависимости:

$$P_0 = 2P_x + P_{хп} \quad (2);$$

где P_x – сила подачи, действующая параллельно оси сверла на каждой главной режущей кромке;

$P_{хп}$ – сила, действующая на поперечной режущей кромке, величина которой зависит от заточки инструмента и принимается:

$$P_{хп} = (0,3 \dots 0,6)P_0.$$

Радиальная сила, действующая перпендикулярно оси сверла и его изгибающая определяется по формуле:

$$P_Y = P_X \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (3).$$

Осевое усилие резания P_0 определяется по известным зависимостям теории резания. Величина угла при вершине сверла 2φ выбирается исходя из следующих рекомендаций: для сталей, чугунов и твердой бронзы составляет $116...118^\circ$, для меди – $124...126^\circ$, для мягкой бронзы – 130° , для алюминия, баббита и силумина – $130...140^\circ$ [9].

При расчете напряжений от изгиба, сверла рассматриваются как консольные балки, нагруженные неуравновешенной радиальной силой P рисунок 23.

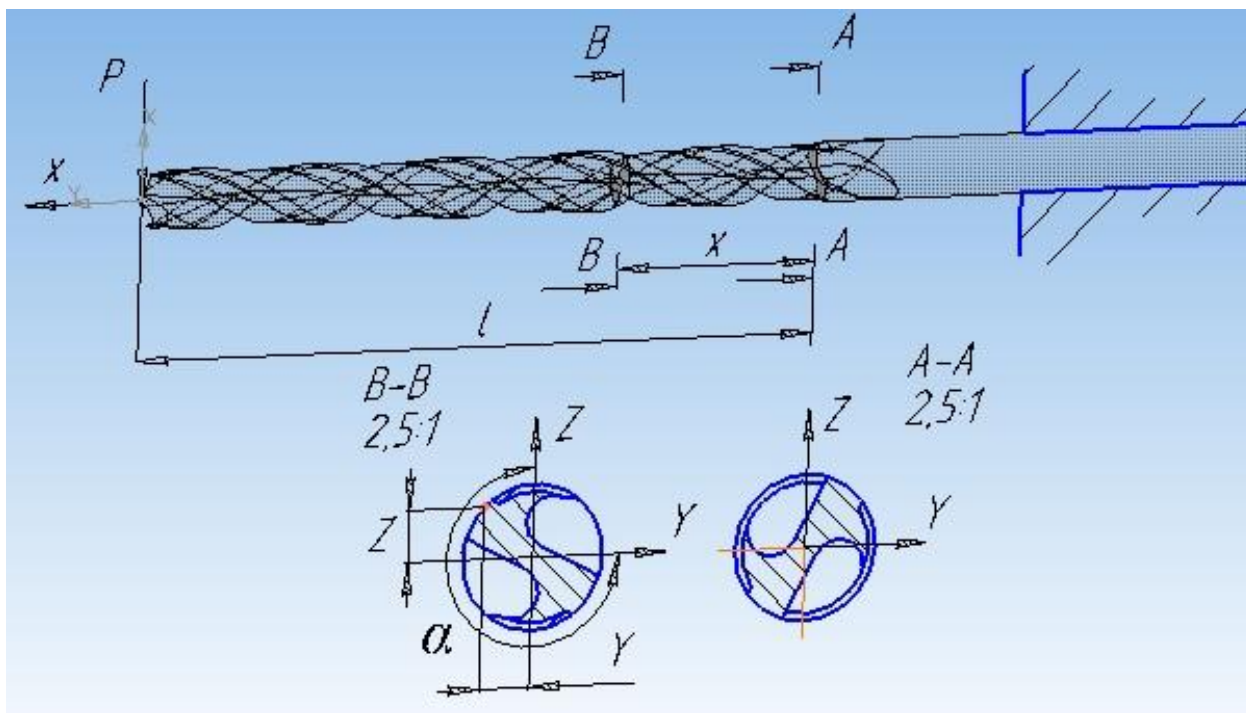


Рисунок 23 – Схема для расчета сверла на изгиб

Величина напряжений изгиба в произвольной точке любого сечения с координатами Y и Z определяется по следующей зависимости [1]:

$$\sigma = \frac{YM \sin \alpha}{J_z} + \frac{ZM \cos \alpha}{J_y}, \quad (5)$$

где M – изгибающий момент в произвольном сечении B-B;

$$M = P(l - x), \quad (6)$$

где l – вылет сверла;

x – расстояние от заделки (сечение A-A сверла) до рассматриваемого сечения B-B;

α – угол разворота рассматриваемого сечения относительно сечения А-А;
 J_y и J_z – осевые моменты инерции сечения.

Сечение сверла имеет сложную форму именно поэтому предложено для расчетов параметров α , J_y и J_z применять САД-систему Компас-3D с разработкой трехмерной модели сверла и использованием САЕ-модуля «Расчет массо-центровочных характеристик плоских фигур». С помощью программного обеспечения была проектирована модель сверла Ø3,2 мм и длиной рабочей части 36 мм.

Принято местом заделки считать начало выхода инструмента из спиральной канавки сверла при ее обработке, а величину X для выбора сечения определять каждый раз соответственно, как $X = H/8$, где H – шаг канавки.

$$H = \frac{\pi d_{св}}{\operatorname{tg} \omega},$$

где $d_{св}$ и ω – соответственно диаметр и угол наклона спиральной канавки сверла.

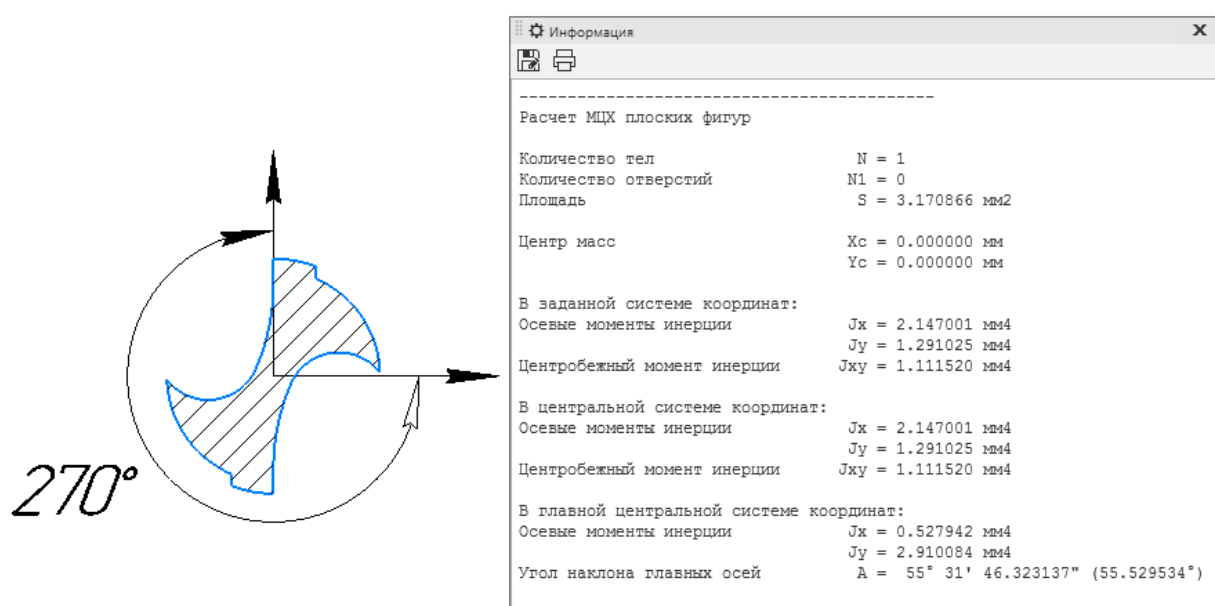


Рисунок 24 – Результаты расчетов осевых моментов инерций поперечного сечения сверла диаметром 3,2 мм с углом его разворота 270°

В качестве примера на рисунке 24 приведены результаты расчета осевых моментов поперечного сечения сверла с углом его разворота 270°.

В таблице 4 приведены результаты расчетов осевых моментов инерции сечения сверла, при соответствующих углах его разворота α .

Таблица 4 – Осевые моменты инерции сечения сверла при соответствующих углах его разворота α при сверле диаметром 3,2 мм

$\alpha, ^\circ$	0	45	90	135	180	225	270	315	360
$J_y, \times 10^{-12} \text{ м}^4$	1,291	0,607	2,147	2,831	1,291	0,607	2,147	2,831	1,291
$J_z, \times 10^{-12} \text{ м}^4$	2,147	2,831	2,291	0,607	2,147	2,831	1,291	0,607	2,147
$(L - x), \times 10^{-3} \text{ м}$	36	33,3	30,5	27,3	24,6	21,9	19,2	16,5	13,8

Методика расчета сверла на прочность

В первую очередь определим скорость резания при сверлении по следующей формуле, м/мин

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^{qv}}{T^{mv} \cdot s^{yv}} \cdot k_v,$$

где C_v – постоянный коэффициент при сверлении;

T^{mv} – постоянный коэффициент при сверлении;

D – диаметр сверла, м;

k_v – общий поправочный коэффициент

s – величина подачи, мм/об.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания определяется по следующей зависимости:

$$k_v = K_{Mv} \cdot K_{lv} \cdot K_{lv},$$

где K_{Mv} – коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания;

K_{nv} – коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания;

K_{lv} – коэффициент, учитывающий глубину сверления.

$$K_{Mv} = k_z \left(\frac{750}{\sigma_6} \right)^{nv},$$

где k_z – коэффициент для материала инструмента;

σ_6 – предел прочности;

nv – показатели степени при обработке.

Осевая сила резания при сверлении рассчитывается по формуле:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^{qp} \cdot s^{yp} \cdot k_p,$$

где k_p – коэффициент, зависящий от материала обрабатываемой заготовки

$$k_p = K_{Mp},$$

где K_{Mp} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости [13].

k_p – коэффициент, зависящий от материала обрабатываемой заготовки

$$k_p = K_{Mp},$$

где K_{Mp} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости.

$$P_0 = 2P_x + P_{xp};$$

где P_x – сила подачи, действующая параллельно оси сверла на каждой главной режущей кромке, Н;

P_{xp} – сила, действующая на поперечной режущей кромке, величина которой зависит от заточки инструмента и принимается $P_{xp} = (0,3 \dots 0,6)P_0$, Н.

$$P_0 = P_x + P_{xp}.$$

Радиальную силу определяем по следующей зависимости из теории резания:

$$P_y = P_0 \cdot \tan \gamma.$$

Величина напряжений изгиба в произвольной точке любого сечения с координатами Y и Z определяется по следующей зависимости:

$$\sigma = \frac{YMsina}{J_z} + \frac{ZMcosa}{J_y},$$

Условие разрушения сверла:

$$\sigma \geq [\sigma_{\text{доп}}],$$

где $[\sigma_{\text{доп}}]$ – допустимое напряжение на изгиб материала сверла, Па.

Определение условий поломки сверла

Допустимый предел на разрушение при изгибе для сплава Р6М5 составляет:

$$\sigma_{\text{доп}} = 3000 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Изгибающий момент и допустимое значение на разрушение при угле разворота сечения сверла $\alpha = 45^\circ$:

$$M = 48 \cdot 33,3 \cdot 10^{-3} = 1,598 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma = \frac{0,01 \cdot 1,598 \cdot \sin 45^\circ}{0,607 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,01 \cdot 1,598 \cdot \cos 45^\circ}{2,831 \cdot 10^{-12}} = 22,61 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Изгибающий момент и допустимое значение на разрушение при угле разворота сечения сверла $\alpha = 90^\circ$:

$$M = 48 \cdot 30,6 \cdot 10^{-3} = 1,469 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma = \frac{0,01 \cdot 1,469 \cdot \sin 90^\circ}{2,147 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,01 \cdot 1,469 \cdot \cos 90^\circ}{1,291 \cdot 10^{-12}} = 6,84 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Изгибающий момент и допустимое значение на разрушение при угле разворота сечения сверла $\alpha = 135^\circ$:

$$M = 48 \cdot 27,3 \cdot 10^{-3} = 1,310 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma = \frac{0,01 \cdot 1,310 \cdot \sin 135^\circ}{2,831 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,01 \cdot 1,310 \cdot \cos 135^\circ}{0,607 \cdot 10^{-12}} = 11,99 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Изгибающий момент и допустимое значение на разрушение при угле разворота сечения сверла $\alpha = 180^\circ$:

$$M = 48 \cdot 24,6 \cdot 10^{-3} = 1,181 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma = \frac{0,01 \cdot 1,181 \cdot \sin 180^\circ}{1,291 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,01 \cdot 1,181 \cdot \cos 180^\circ}{2,147 \cdot 10^{-12}} = 5,50 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Изгибающий момент и допустимое значение на разрушение при угле разворота сечения сверла $\alpha = 225^\circ$:

$$M = 48 \cdot 21,9 \cdot 10^{-3} = 1,051 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma = \frac{0,01 \cdot 1,051 \cdot \sin 225^\circ}{0,607 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,01 \cdot 1,051 \cdot \cos 225^\circ}{2,831 \cdot 10^{-12}} = 14,85 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Изгибающий момент и допустимое значение на разрушение при угле разворота сечения сверла $\alpha = 270^\circ$:

$$M = 48 \cdot 19,2 \cdot 10^{-3} = 0,922 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma = \frac{0,01 \cdot 0,922 \cdot \sin 270^\circ}{2,147 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,01 \cdot 0,922 \cdot \cos 270^\circ}{1,291 \cdot 10^{-12}} = 4,29 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Изгибающий момент и допустимое значение на разрушение при угле разворота сечения сверла $\alpha = 315^\circ$:

$$M = 48 \cdot 16,5 \cdot 10^{-3} = 0,792 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma = \frac{0,01 \cdot 0,792 \cdot \sin 315^\circ}{2,831 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,01 \cdot 0,792 \cdot \cos 315^\circ}{0,607 \cdot 10^{-12}} = 7,25 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Все полученные значения сведены в таблицу 2.

Таблица 5–Допустимые напряжения на разрушение сверла диаметром 0,5 мм

Угол	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
М, Н · м	1,598	1,469	1,310	1,181	1,105	0,922	0,792
σ , Па	22,61 · 10 ⁹	6,84 · 10 ⁹	11,99 · 10 ⁹	5,5 · 10 ⁹	14,85 · 10 ⁹	4,29 · 10 ⁹	7,25 · 10 ⁹

Из вышеприведенных расчетов следует, что в сечениях при угле разворота 45°, 225° присутствуют критические напряжения при расчетных режимах резания сверла.

Проведем дополнительный расчет изгибающих нагрузок в разных сечениях для сверла диаметром 0,5 мм. С помощью САД-систему Компас-3D определяем следующие параметры: α , J_y и J_z по разработанной трехмерной

модели сверла используем САЕ-модуля «Расчет массо-центровочных характеристик плоских фигур».

Таблица 6 – Осевые моменты инерции сечения сверла при соответствующих углах его разворота α при диаметре сверла 0,5 мм

$\alpha, ^\circ$	0	45	90	135	180	225	270	315	360
$J_y, \times 10^{-12}, \text{ м}^4$	0,019	0,052	0,0007	0,0018	0,019	0,052	0,0007	0,0018	0,019
$J_z, \times 10^{-12}, \text{ м}^4$	0,0007	0,0018	0,019	0,052	0,0007	0,0018	0,019	0,052	0,0007
$(L-x), \times 10^3, \text{ м}$	14	13,46	12,7	11,94	11,18	10,42	9,66	8,9	8,14

Осевая сила равна:

$$P_0 = 18,69 \text{ Н}$$

Сила подачи равна:

$$P_x = 13,08 \text{ Н}$$

Радиальная сила имеет значение:

$$P_y = 8,1 \text{ Н}$$

Все полученные значения сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Допустимые напряжения на разрушение сверла диаметром 0,5 мм

Угол	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
М, Н · м	0,108	0,102	0,096	0,089	0,083	0,077	0,071
$\sigma, \text{ Па}$	4,36 $\cdot 10^9$	1,46 $\cdot 10^8$	1,85 $\cdot 10^8$	1,28 · 10 ⁹	4,68 · 10 ⁹	4,08 · 10 ⁸	1,37 $\cdot 10^8$

Из вышеприведенных расчетов следует, что в сечениях при угле разворота 45°, 225° присутствуют критические напряжения при расчетных режимах резания сверла.

Рекомендации по повышению прочности сверл при обработке наклонных отверстий малого диаметра

Проанализировав приведенные расчеты сверла диаметром 3,2 мм, пришли к выводу, что необходимо произвести уменьшение величины режимов резания.

Таким образом, чтобы не допустить поломку инструмента необходимо выдержать следующую величину изгибающего момента. Именно при этом значении изгибающего момента будет происходить разрушение сверла. Из зависимости (5) выражаем изгибающий момент:

$$M = \frac{\sigma}{\left(\frac{x \cdot \sin \alpha}{J_z} + \frac{y \cdot \cos \alpha}{J_y}\right)}$$
$$M = \frac{3 \cdot 10^9}{\left(\frac{0,01 \cdot \sin 45}{0,607 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,01 \cdot \cos 45}{2,831 \cdot 10^{-12}}\right)} = 0,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Следовательно, чтобы обеспечить целостность инструмента, значение изгибающего момента не должно превышать $M = 0,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Из формулы 6 выражаем P_y :

$$P_y = \frac{M}{l}$$
$$P_y = \frac{0,2}{33,3 \cdot 10^{-3}} = 6 \text{ Н}$$

Из формулы (2) выражаем P_x :

$$P_x = \frac{P_y}{\tan \gamma}$$
$$P_x = \frac{6}{0,62} = 9,68 \text{ Н}$$

Выражаем P_0 из формулы (1):

$$P_0 = \frac{P_x}{0,7}$$

$$P_0 = \frac{P_x}{0,7} = \frac{9,68}{0,7} = 13,83 \text{ Н}$$

Величина осевой подачи и заготовки P_0 задается углом α установки платформы и определяется по формуле:

$$P_0 = G \cdot \sin \alpha,$$

где G – вес подвижной части аэродинамических направляющих, заготовки и элементов ее крепления.

Величина P_0 определяется по зависимостям для расчета режимов резания.

$$\sin \alpha = \frac{P_0}{G}$$

Угол наклона платформы равен:

$$\sin \alpha = \frac{13,83}{3,3 \cdot 9,81} = 0,4272$$

$$\arcsin(0,4272) = 25^\circ.$$

5.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ НЕАГРУЗОК

Наиболее опасными нагрузками, действующими на узлы с аэростатическими направляющими, являются поперечные усилия, так как при них может произойти разрыв воздушного слоя.

Для оценки такой ситуации был проведен расчет изменения величины зазора при действии поперечной силы величиной равной $P_y = 6 \text{ Н}$, величина которой получена ранее. Величина поддува аэростатических направляющих принималась равной $p_n = 0,3 \text{ МПа}$. Расчеты проводились с использованием программного обеспечения SolidWorks Simulation. Расчетная схема приведена на рисунке 25

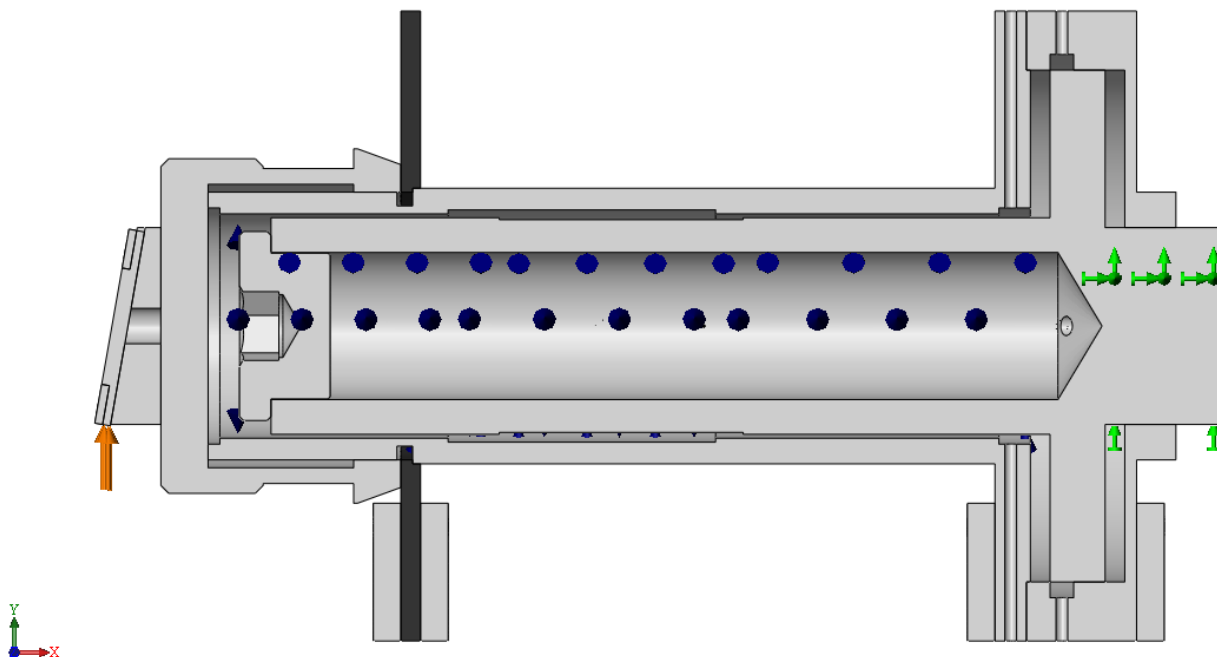


Рисунок 25 – Расчетная схема нагрузки аэроstaticеской направляющей

При этом были приняты следующие допущения:

Жесткость воздушного зазора аэроstaticеских направляющих рассчитывается как жесткость подшипника и указывается только в радиальном направлении, а осевая жесткость при этом не учитывается.

На рисунках 26, 27 и 28 представлена панель свойств, в которой показано соединения неподвижной детали в подвижной. В графе общее горизонтальное усилие указывалась радиальная жесткость, равная $8,57 \times 10^7$ Н/м, которая была рассчитана ранее.

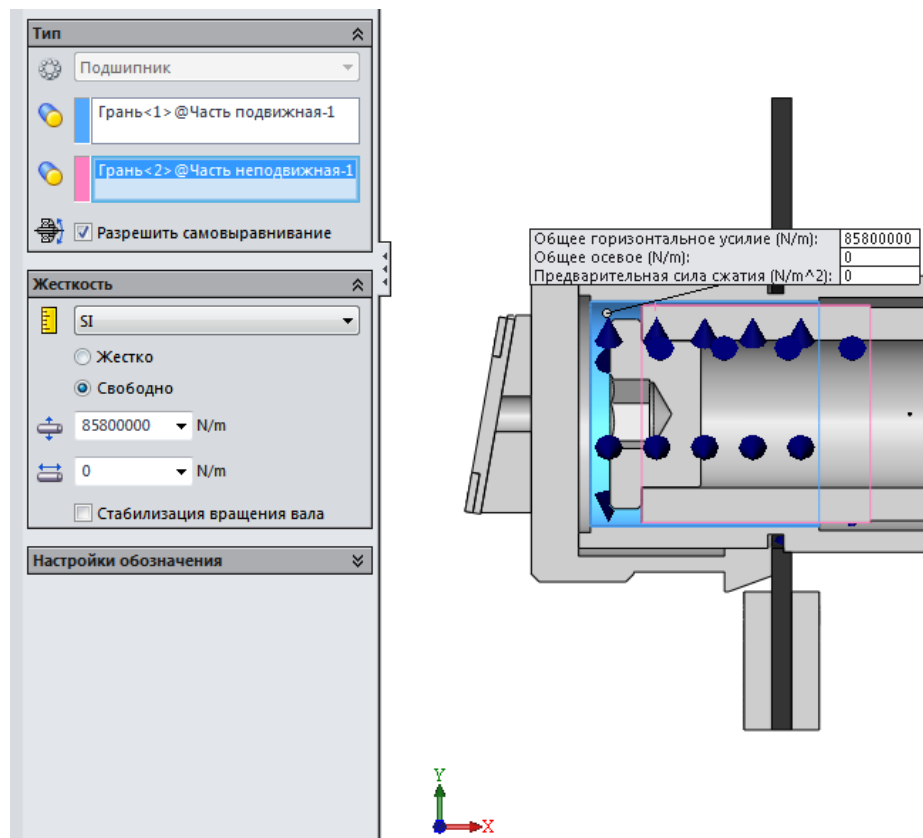


Рисунок 26 – Крепление передней части аэроэстатической направляющей

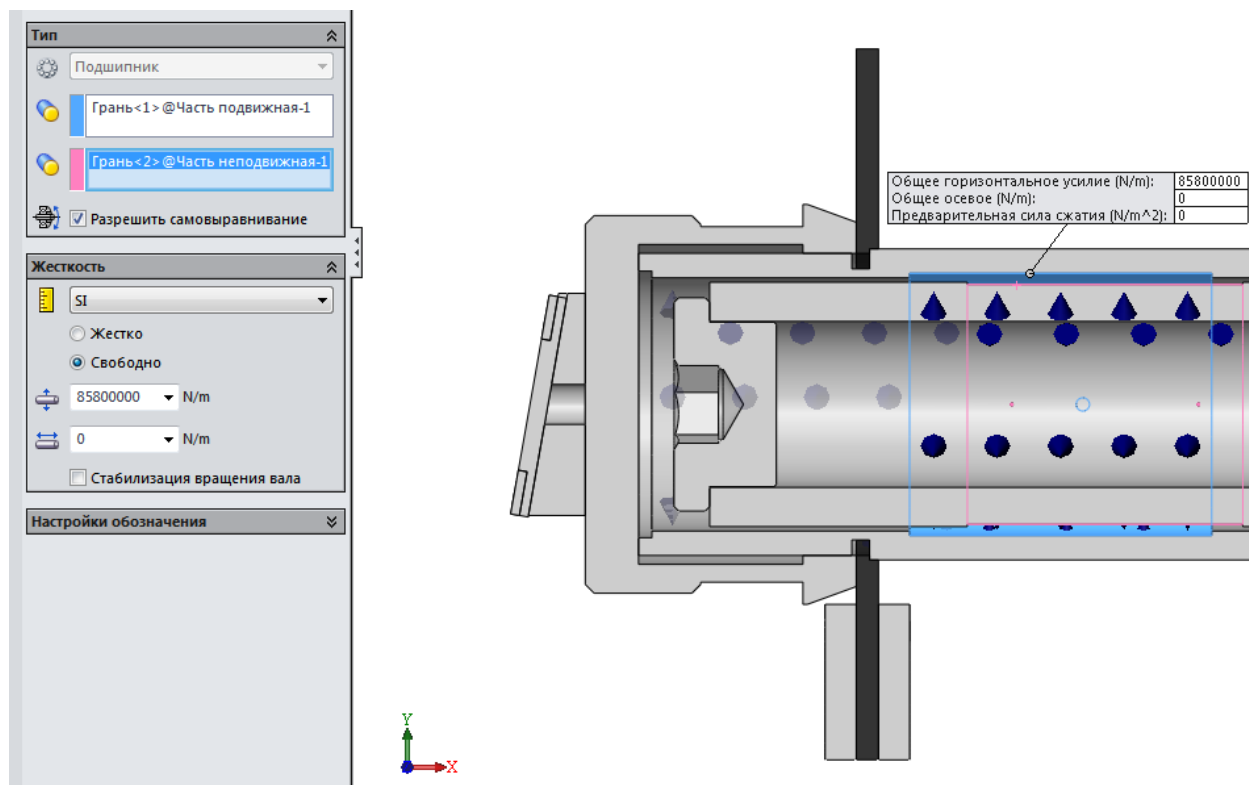


Рисунок27 – Крепление средней части аэроэстатической направляющей

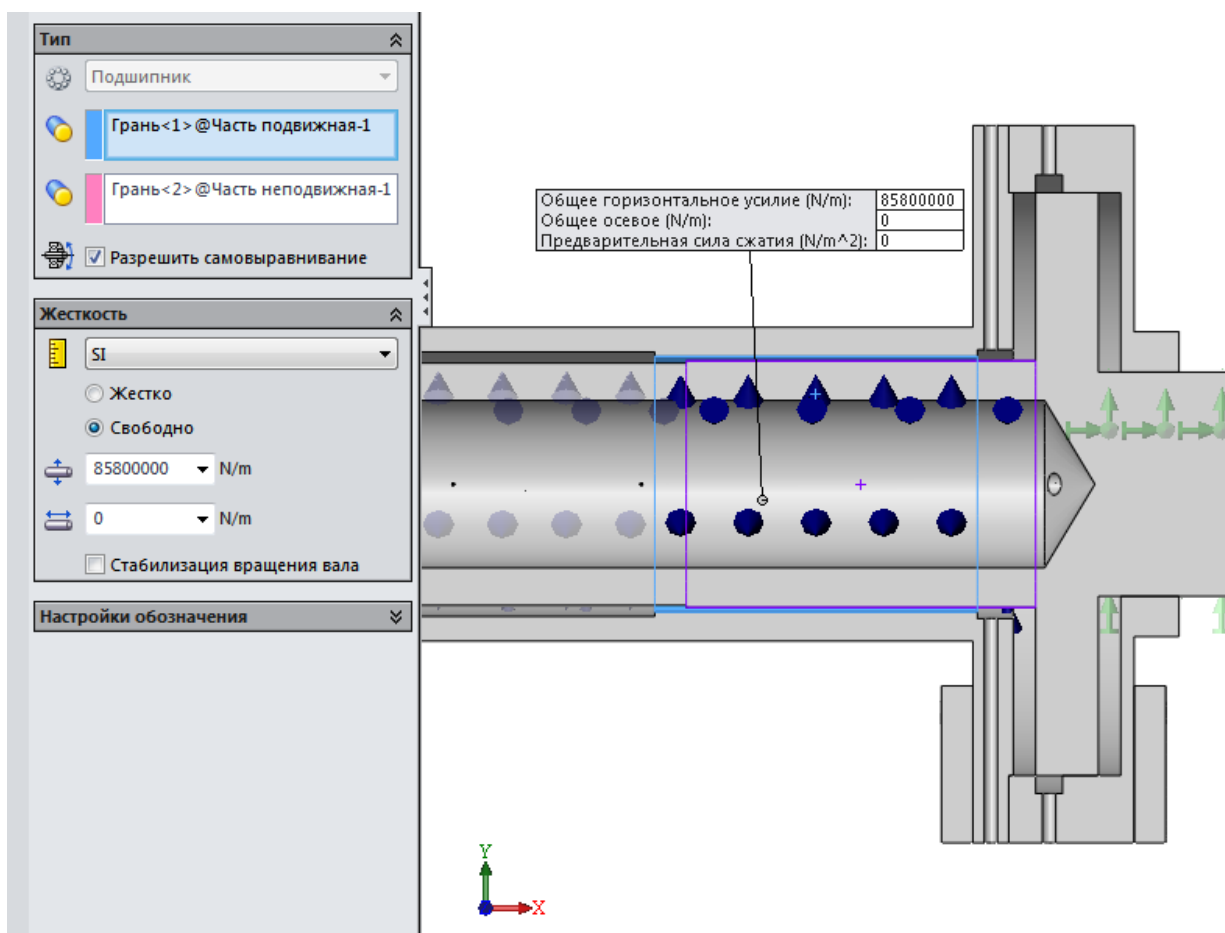


Рисунок 28 – Крепление задней части аэростатической направляющей

Закрепление узла производилось за цилиндрическую часть неподвижного узла аэростатической направляющей.

Внешняя нагрузка задавалась в направлении перпендикулярно плоскости заготовки, которая расположена наклонно по отношению оси аэростатической направляющей.

Далее, задав материал всех деталей входящих в сборку, была создана сетка, показанная на рисунке 29. Чем точнее задана сетка, тем точнее получается результат расчета.

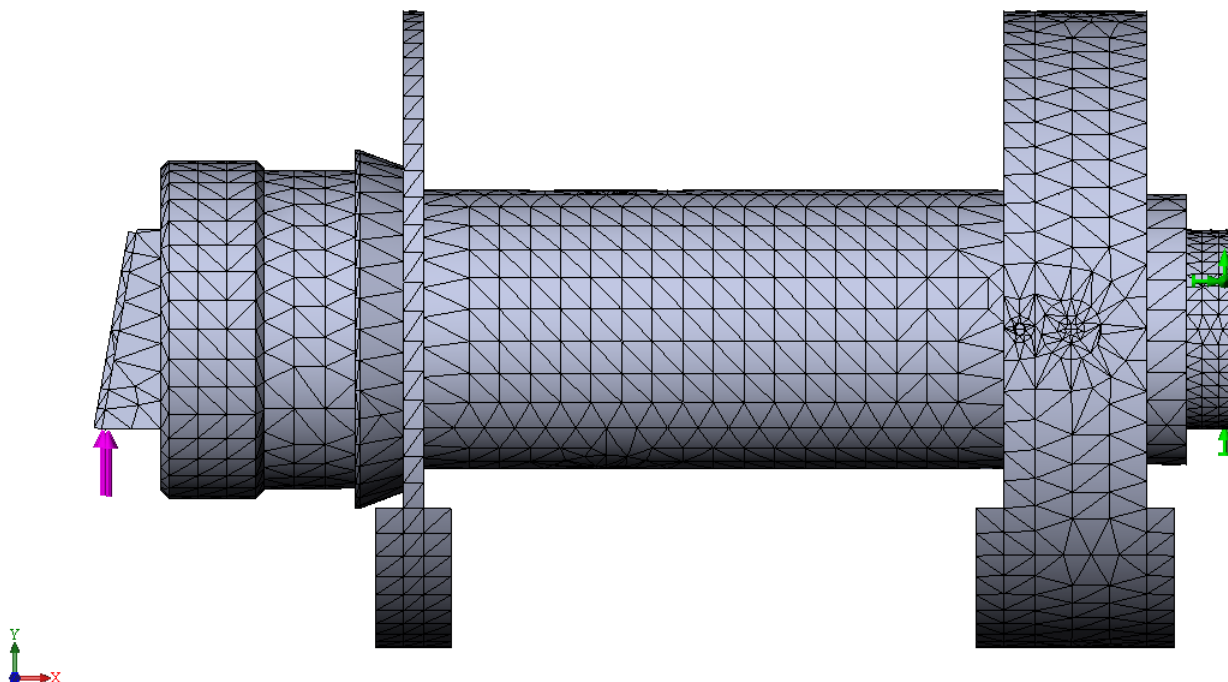


Рисунок 29 – Создание сетки в программе SolidWorks Simulation

На рисунке 30 показана эпюра перемещений каждой точки конструкции. На этом рисунке видно, что максимально возможное перемещение происходит в зоне приложения нагрузки. Чем дальше расположены точки от этой зоны, тем меньше перемещения.

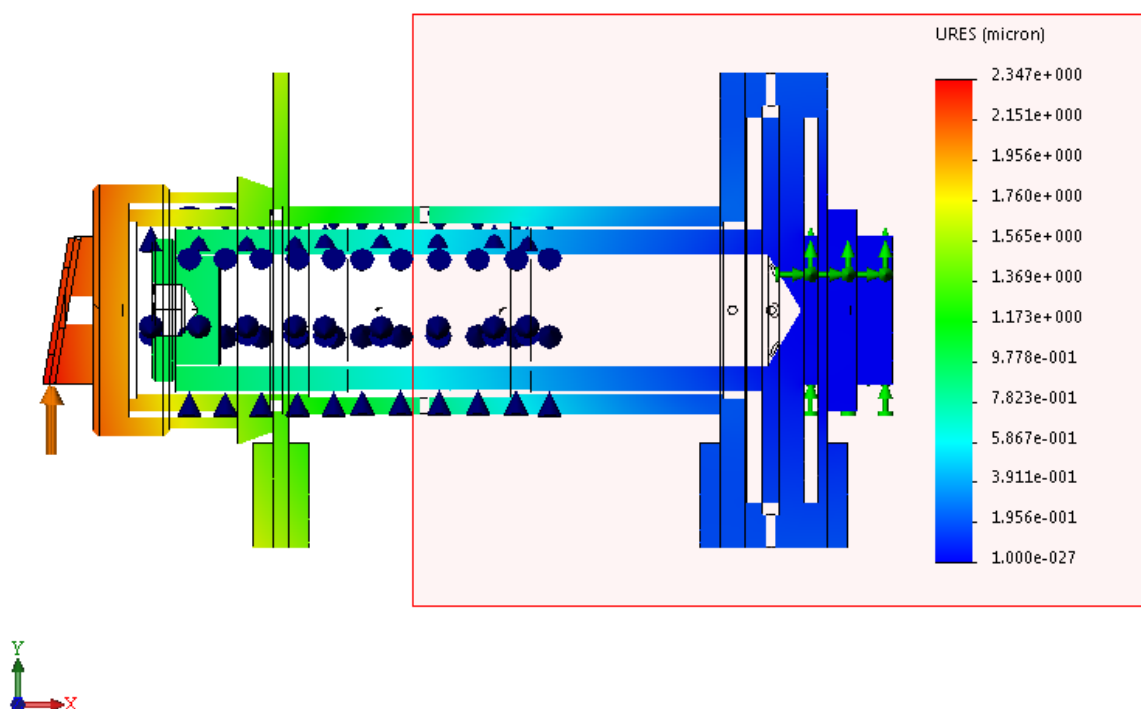


Рисунок 30 – Эпюра перемещений аэростатической направляющей

Далее с помощью операции зондирования были определены перемещения подвижной и неподвижной части аэростатической направляющей. На рисунке 31 показана схема для расчета зазора между двумя деталями.

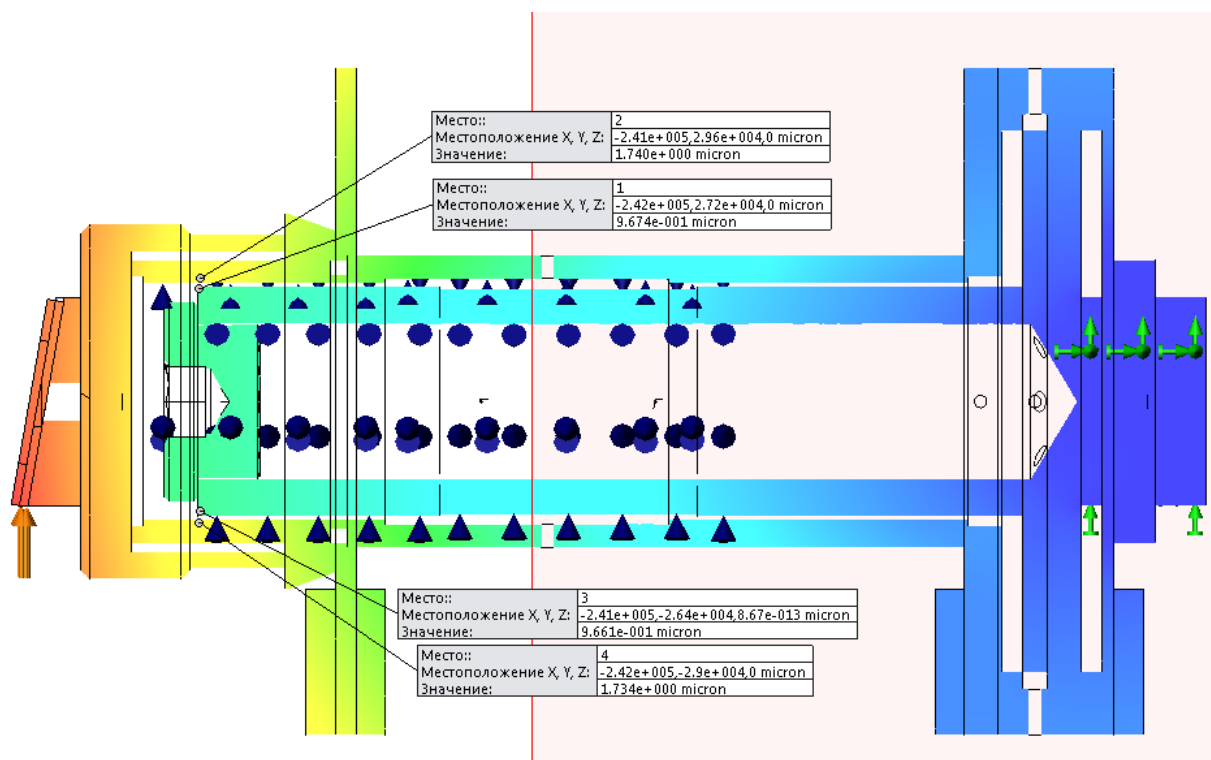


Рисунок 31 – Расчетная схема определения зазора между двумя деталями

Для того чтобы подсчитать величину зазора, необходимо к величине перемещения неподвижного узла прибавить величину зазора и отнять величину перемещения подвижного. Полученный результат и будет величиной диаметрального зазора между подвижной и неподвижной частями аэростатической направляющей при воздействии внешней нагрузки.

По расчетным данным строится график выбора величины зазора.

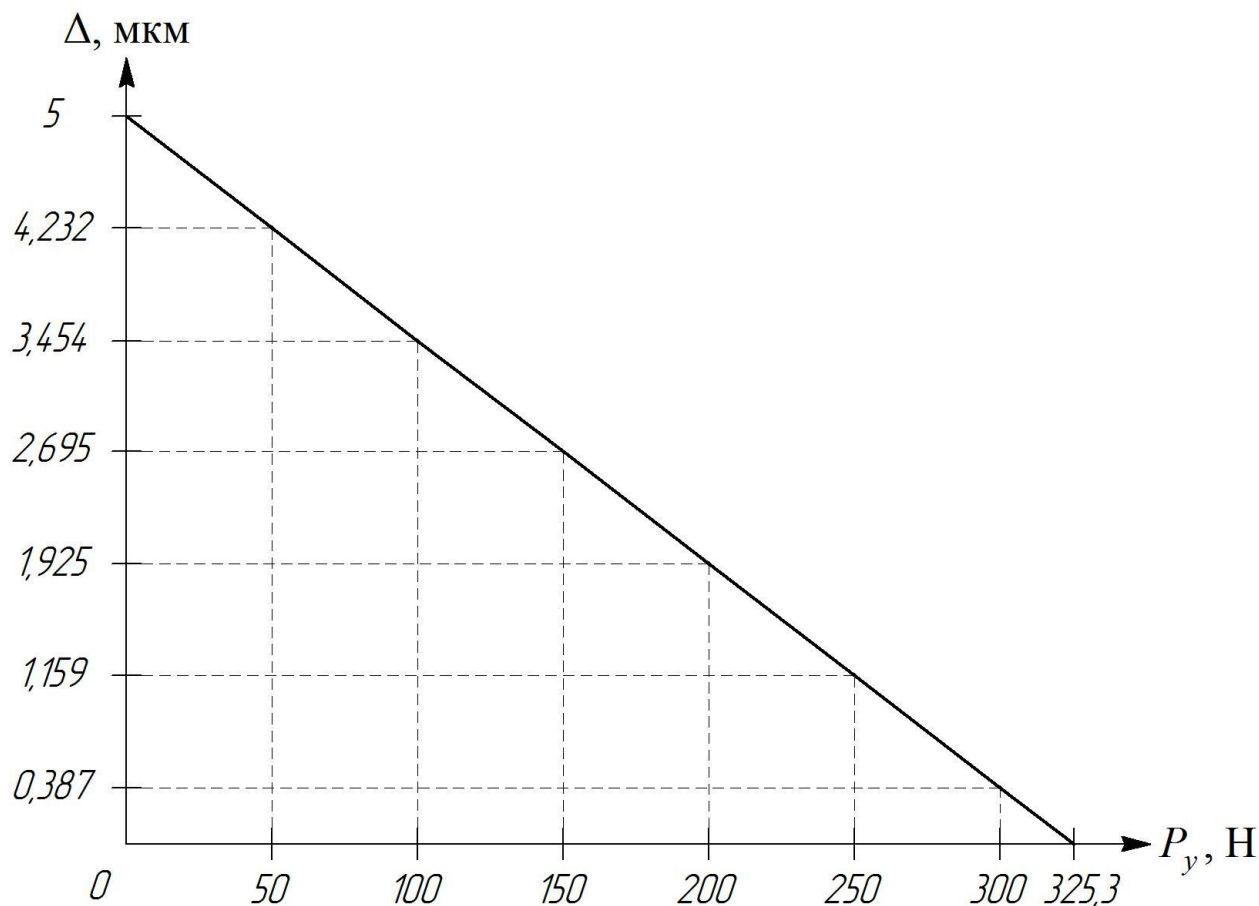


Рисунок 32 – График выбора величины зазора в аэростатической направляющей при различных значениях нагрузки.

На данном графике видно, что при нагрузке, со стороны сверла, в 325 Н, приложенной к аэростатической направляющей, происходит контакт «металл по металлу» между подвижной и неподвижной частями аэростатической направляющей. Для того, чтобы исключить этого, необходимо увеличить давление поддува в аэростатической направляющей либо уменьшить величину нагрузки, действующей со стороны сверла.

ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция устройства для сверления наклонных отверстий с подвижным узлом на аэростатических направляющих.
2. Проведен расчет геометрических и силовых параметров устройства.
3. Для оценки работоспособности устройства был проведен расчет грузоподъемности и жесткости аэростатических направляющих.
4. С использованием программного обеспечения SolidWorks Simulation предложена последовательность расчетов потери воздушного зазора между подвижной и неподвижной частью аэростатических направляющих.
5. Установлено, что для сверла диаметром 3,2 мм величина поперечной нагрузки составляет 6 Н.
6. Для данной конструкции устройства при воздушном зазоре равным 5 мкм на сторону воздушный зазор становится равным нулю при поперечной нагрузке равной 325 Н.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чемборисов, Н.А. Резание материалов. Режущий инструмент / С.Н. Григорьев [и др.]; под общ. редакцией Н.А. Чемборисова. – М.: Юрайт, 2018. – 246 с.
2. Киселев, Д. В. Исследование процесса сверления отверстий малого диаметра в наклонных поверхностях / Д. В. Киселев, А. В. Липов, А. В. Кабанов // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управления проектами CAD/CAM/CAE/PDM: сборник статей XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2021. – С. 70–76.
3. Kennametal. Инструментальные системы. Каталог 2013. – 2013. – 2118 с.
4. Патент 2448813 Российская федерация, МПК СІ В23В 41/14. Станок для сверления отверстий малого диаметра/ Михеев И.И., Ярмоленко Е.Н., Борзихин А.С. заявители и патентообладатели; заявка 20101400808/02, заявл. 5.10.2010; опубл. 27.04.2012. Бюл. №12.
5. Глахтеев, В. Ю. Стенд для исследования процесса сверления отверстий малого диаметра / В. Ю. Глахтеев, И. И. Михеев, Е. Н. Ермоленко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2013. – №2 (6). – С. 154–156.
6. Косилова А.Г., Мещеряков Р.П. Справочник технолога-машиностроителя. Том 2. Москва М., "Машиностроение", 1986 – 568 с.
7. Эрпшер, Ю.В. Требования к точности многошпиндельных сверлильных станков // Станки и инструмент, 1967. – №1. С. 3 – 5.
8. Пуш, В.Э., Конструирование металлорежущих станков – М.: Машиностроение, 1977. – 390с.
9. Пестрецов С.И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания: учеб. пособие / С.И. Пестрецов - Тамбов: ТГТУ, 2009 - 104 с.

10. Косилова А.Г., Мещеряков Р.П. Справочник технолога-машиностроителя. Том 1. М., "Машиностроение", 1986
11. Карпенюк С.Н., Пономарева Е.О. Отработка технологий формообразования отверстий малого диаметра в деталях из титановых и жаропрочных сплавов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – М.: Технические науки, 2012. – №3. – С. 22.
12. Технологические процессы машиностроительного производства / Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе, И.А. Коротков [и др.]: учебник для вузов. В 3 т. – М.: Уч. литература, 2001. – Т. 2. – 350 с.
13. Солоненко В.Г., Рыжкин А.А. Резание металлов и режущие инструменты: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2007. – 414 с.
14. Алексеев, Г.А. Конструирование инструмента: учеб. для машиностроительных техникумов / Г.А. Алексеев, В.А. Аршинов, Р.М. Кричевская; под общ. ред. Г.А. Алексеева. – М: Машиностроение, 1979. – 384 с.
15. Сергеев В.В. Исследование точности обработки при сверлении наклонных отверстий. — 1978. — №215.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – ПРЕЗЕНТАЦИЯ