

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «Южно-Уральский государственный университет
 (национальный исследовательский университет)»
 Факультет «Механико – технологический»
 Кафедра «Технология автоматизированного машиностроения»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент, должность

Заведующий кафедрой

Зам., з.л. технолога

_____/ В.И. Гузеев /

_____/ Гуц Е.Л. /

«25» 05 2017 г.

«25» мая 2017 г.

МНОГОПРОХОДНОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ РЕЗЬБ УПОРНОГО ПРОФИЛЯ
 НА ТРЕХКООРДИНАТНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
 К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ-150405.2017.375.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы, должность
 Профессор, д.т.н

_____/ И.А. Щуров /
 «22» 05 2017 г.

Автор
 студент группы П-261

_____/ Д.А. Князев /
 «22» 05 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Князев Д.А. Многопроходное фрезерование резьб упорного профиля на трехкоординатных станках с ЧПУ. – Челябинск: ЮУрГУ, П; 2017, 78 с., 47 ил.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. Во введении обосновывается актуальность выбранной темы. В первой главе рассматривается объект исследования, анализ работ отечественных и зарубежных авторов, формулируются цели и задачи исследования. Во второй главе решается задача многопроходного фрезерования, а также осуществляется моделирование и верификация получения профиля упорной резьбы. Третья глава посвящена расчету и проектированию инструмента и разработке чертежей. Заключение содержит основные выводы по проделанной работе.

<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб</i>		<i>Князев Д.А.</i>		<i>22.05.17</i>
<i>Проверил</i>		<i>Шуров И.А.</i>		<i>22.05.17</i>
<i>Свермоконт</i>				
<i>Утвердил</i>		<i>Гузев В.И.</i>		<i>30.05</i>
<i>Многопроходное фрезерование резьб упорного профиля на трехкоординатных станках с ЧПУ</i>				
		<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
			6	78
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»				

ANNOTATION

Knyazev D.A. Multipass buttress thread milling on the three-axis CNC machines. – Chelyabinsk: South Ural State University, P; 2017, 78 p., 47 ill.

Graduation qualification work consists of an introduction, three chapters and a conclusion. In the introduction, the relevance of the selected topic is substantiated. The first chapter tells about the object of study, analysis of the works of national and foreign authors, formulates goals and objectives of the study. The second chapter describes the problem of multi-pass milling, and also simulates and verifies the obtaining of the profile of the thread. The third chapter is devoted to the calculation and design of the tool and the development of drawings. The conclusion contains the main conclusions of the work done.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>			
<i>Dev.</i>	<i>Page</i>	<i>No doc</i>	<i>Signature</i>	<i>Date</i>	<i>Multipass buttress thread milling on the three-axis CNC machines</i>	<i>Lit.</i>	<i>Page</i>	<i>Pages</i>
<i>Developed</i>		<i>Knyazev</i>		<i>28.05.17</i>				
<i>Checked</i>		<i>Shchurov</i>		<i>29.05.17</i>			<i>7</i>	<i>78</i>
<i>sent. cont.</i>						<i>South Ural State University</i>		
<i>approved</i>		<i>Guzeev</i>		<i>30.05.17</i>				

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 АНАЛИЗ ВОПРОСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ УПОРНЫХ РЕЗЬБ	11
1.1 Общие сведения об упорной резьбе и ее применении.....	11
1.2 Проблемы, возникающие при изготовлении резьбы	14
1.3 Факторы влияющие на точность резьбы при фрезеровании	14
1.4 Анализ отечественной и зарубежной литературы по фрезерованию упорных резьб на станках с ЧПУ	16
1.5 Цели и задачи исследования	29
2 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОПРОХОДНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ УПОРНЫХ РЕЗЬБ.....	30
2.1 Описание схемы формообразования при резьбофрезеровании	30
2.2 Многопроходное фрезерование	33
2.3 Решение обратной задачи формообразования торцовой поверхностью фрезы и вершиной лезвия.....	36
2.3 Моделирование получения профиля упорной резьбы фрезой	44
2.3.1 Верификация аналитического расчета в САД программе.....	44
2.3.2 Верификация аналитического расчета в САМ программе	48
2.4 Нарезание резьбы с увеличением межосевого расстояния	55
3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ	59
3.1 Расчет и проектирование резьбовой фрезы для обработки резьбы упорного профиля.	59
3.1.1 Первый этап. Определение общих конструктивных размеров и параметров.	59

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

3.1.2	Второй этап. Определение геометрических параметров лезвий	62
3.1.3	Третий этап. Профилирование	62
3.1.4	Четвертый этап. Выбор инструментального материала	63
3.1.5	Пятый этап. Расчет на прочность.....	63
3.1.6	Шестой этап. Назначение исполнительных размеров, допусков и технических требований	63
3.2	Разработка чертежей корпуса и пластины резбовой фрезы	64
3.2.1	Чертеж корпуса	64
3.2.2	Чертеж твердосплавной пластины.....	66
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	71
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	74
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. Отчет автоматизированного расчета	74

ВВЕДЕНИЕ

В машиностроении широко используются резьбовые соединения. Обработка резьбы – трудоемкая и ответственная операция. Более 50 лет назад начали производить резьбофрезерные работы. Резьбофрезерование является высокопроизводительным способом обработки резьбы. В настоящее время почти все виды резьбы возможно получить фрезерованием. Одним из исключений является внутренняя резьба упорного профиля. Процесс фрезерования упорной резьбы сопровождается явлением обката, что для профиля с углом 3 градуса вызывает трудности его получения.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>10</i>

1 АНАЛИЗ ВОПРОСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ УПОРНЫХ РЕЗЬБ

1.1 Общие сведения об упорной резьбе и ее применении

В ГОСТ 10177–82. Резьба упорная. Профиль и основные размеры [1, с. 1] резьба упорного профиля называется «упорная резьба».

Упорная резьба применяется в конструкциях, где винт передаёт значительные усилия в одном направлении, например, как представлено на рисунке 1.1, в тисках, домкратах, прессах и т.п. Профилем этой резьбы служит трапеция с углами наклона её боковых сторон к перпендикуляру, проведённому к оси резьбы, равными 3° и 30° . Дно впадин такой резьбы закруглено, а вершины плоско срезаны. На рисунке 1.2 представлен профиль упорной резьбы.

В условное обозначение упорной резьбы должны входить: буква *S*, номинальный диаметр и шаг, например [1, с. 13]:

S 80.10.

Для левой резьбы после условного обозначения размера резьбы указывают буквы *LH*, например:

S 80.10 LH.

В условное обозначение многозаходовой резьбы должны входить: буква *S*, номинальный диаметр, значение хода и в скобках буква *P* и значение шага, например:

- для двухзаходной резьбы с шагом 10 мм и значением хода 20 мм:

S 80.20 (P 10),

- то же, для левой:

S 80.20 (P 10)LH.

					150405.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11



Домкрат



Тиски механические



Бронебойный подкалиберный снаряд

Рисунок 1.1 – Изделия с внутренней упорной резьбой [28, с. 2]

Производящей фигурой упорной усиленной резьбы является неравнобокая трапеция с углами наклона боковых сторон к высоте 3° и 45° . В обозначение упорной усиленной резьбы должны входить [2, с. 13]: буква *S*, значение угла 45° , номинального диаметра и шага, например:

S 45° 200.12.

Для левой резьбы условное обозначение резьбы дополняют буквами *LH*, например:

S 45° 200.12 LH.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150405.2017.375.00.00 ПЗ

Лист

12

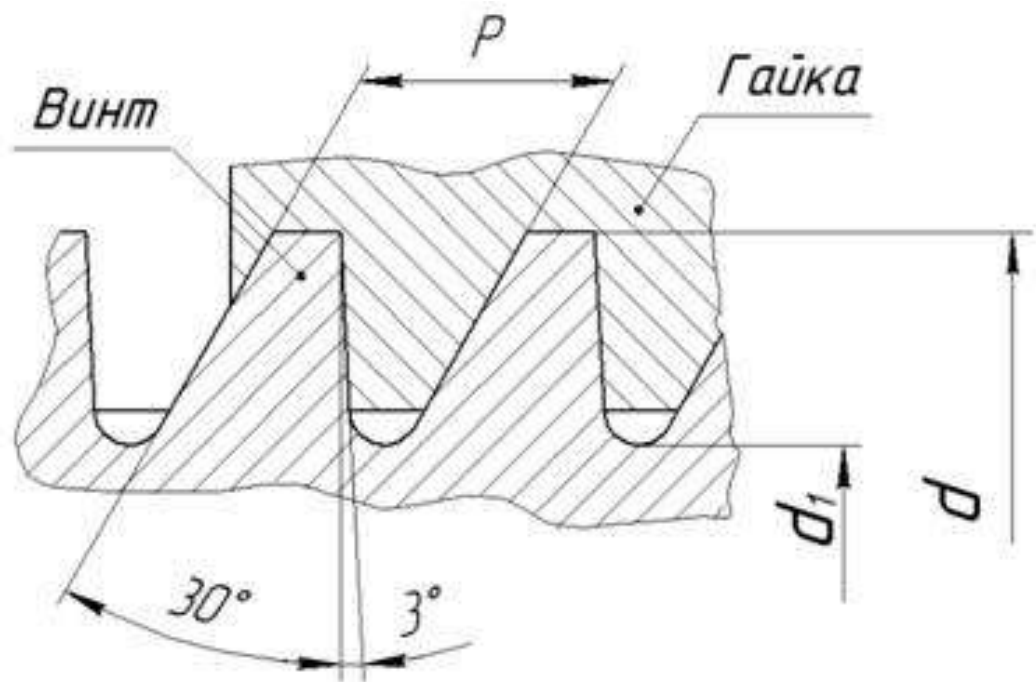


Рисунок 1.2 – Профиль упорной резьбы

В обозначение многозаходной резьбы должны входить: буква S , значения угла 45° , номинального диаметра, хода в скобках буква P со значением шага, например:

- для двузаходной резьбы со значением хода 24 мм и шагом 12 мм:

$S 45^\circ 200.24 (P12)$,

- то же, для левой:

$S 45^\circ 200.24 (P12)LH$.

Длину свинчивания N в обозначении резьбы не указывают. Длину свинчивания L указывают в миллиметрах, например:

$S 45^\circ 200.12 - 300$,

$S 45^\circ 200.12 LH - 300$.

Обозначения упорных резьб относят к наружному диаметру и наносят на чертежах [3, с. 4], как показано на рисунке 1.3.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

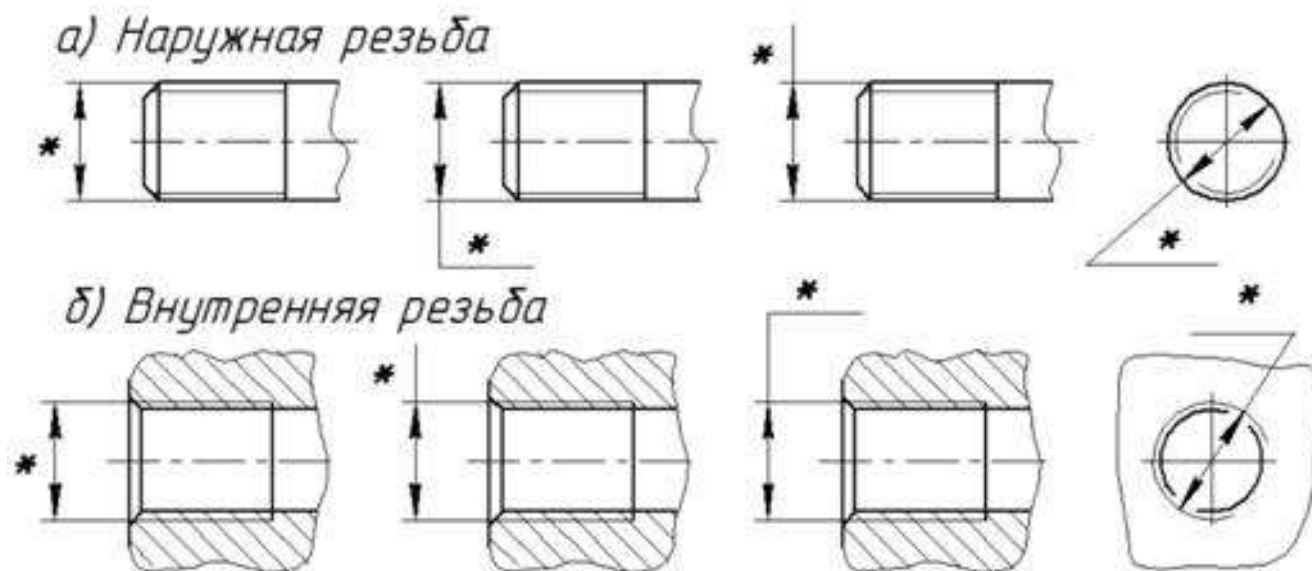


Рисунок 1.3 – Обозначение резьбы на чертеже

1.2 Проблемы, возникающие при изготовлении резьбы

При фрезеровании резьбы, также как и при любой другой обработке резанием, на точность получаемых параметров оказывают влияние тепловые и упругие деформации, износ инструмента, погрешности закрепления, базирования и т.д. Помимо этого, процесс резьбофрезерования, как процесс обработки винтовой поверхности вносит свои погрешности при планетарном движении фрезы и сопровождается явлением обката. Из-за этих факторов появляются трудности при изготовлении профиля резьбы, а точнее – изготовление стороны под углом 3 градуса к перпендикуляру к оси отверстия.

1.3 Факторы влияющие на точность резьбы при фрезеровании

Косарев Д.В. в своей диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук [4, с. 7] отметил, что среди множества факторов, влияющих на точность формообразования при планетарном резьбофрезеровании, наибольшие погрешности возникают из-за недостаточной жесткости корпуса и виброустойчивости инструмента, где потеря точности может составлять 30-60%.

					150405.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Причем это обстоятельство при повышенной динамической нагрузке от сил резания не позволяет работать на более высоких скоростях и оптимальных режимах резания, что понижает производительность и эффективность применения данного способа резбонарезания. На рисунке 1.4 представлена диаграмма соотношения параметрических факторов, влияющих на точность формообразования внутренней резьбы.

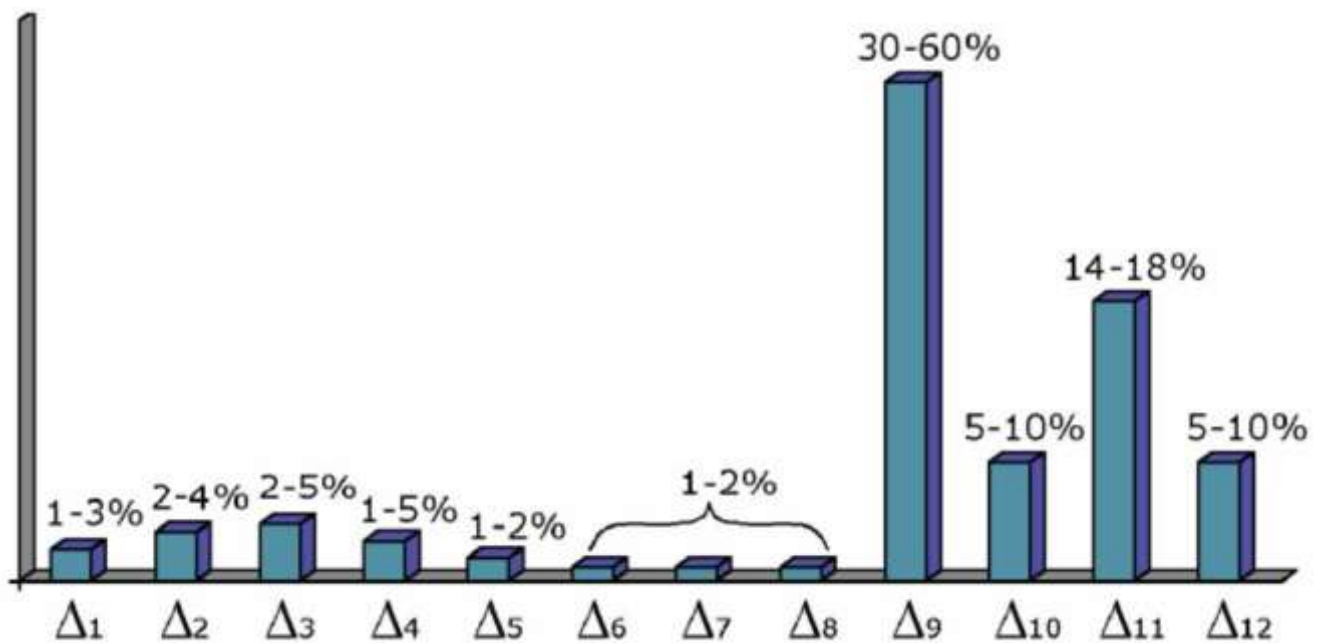


Рисунок 1.4 – Диаграмма соотношения параметрических факторов, влияющих на точность формообразования внутренней резьбы при планетарном резбозерообразовании [4, с. 7]

где Δ_1 – погрешность предопределяется неточностью установки инструмента на обрабатываемый размер по отношению к детали;

Δ_2 – погрешность связана с ошибками программирования и настройки станка системы ЧПУ;

Δ_3 – погрешность обусловлена методами и средствами измерения;

Δ_4 – погрешность, зависящая от конструкции и точности изготовления присоединительных поверхностей в инструментальной системе;

Δ_5 – погрешность параметра винтового движения;

Δ_6 – погрешность изготовления сменной твердосплавной пластины (СТП);

Δ_7 – погрешность изготовления гнезда под СТП;

Δ_8 – погрешность изготовления корпуса инструмента;

Δ_9 – погрешность, предопределяемая жесткостью корпуса инструмента;

Δ_{10} – погрешность, связанная с величиной деформации в стыках приспособления с инструментом;

Δ_{11} – погрешность, возникающая под действием динамических нагрузок, определяемая амплитудой перемещения режущей кромки;

Δ_{12} – погрешность, связанная с износом режущего инструмента.

Из исследований Косарева Д.В. видно, что наибольшие погрешности возникают от жесткости корпуса инструмента, силовых факторов, крепления инструмента и его износа. Но отсутствует фактор, связанный с явлением обката.

1.4 Анализ отечественной и зарубежной литературы по фрезерованию упорных резьб на станках с ЧПУ

В современной литературе мало работ на тему планетарного резьбофрезерования.

Головки И. М., Мальков О. В. в своем исследовании точности резьбы при охватывающем резьбофрезеровании [5, с. 1] писали, что при проектировании резьбообразующего инструмента на основе резьбовой фрезы основное внимание необходимо уделять его резьбообразующей части, которая влияет на точность профиля нарезаемой резьбы.

Выбор внутреннего диаметра резьбообразующей части инструмента зависит от ряда факторов. Например, с точки зрения производительности необходимо максимальное увеличение внутреннего диаметра резьбообразующей части инструмента. С другой стороны увеличение диаметра влечет за собой сложность реализации процесса обработки на станке из-за больших габаритов инструмента. Но в то же время величина внутреннего диаметра фрезы оказывает значительное влияние на точность профиля получаемой резьбы - при уменьшении

					150405.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

внутреннего диаметра инструмента дуга его контакта с заготовкой увеличивается, как показано на рисунке 1.5, что определяет увеличение разбивки профиля резьбы.

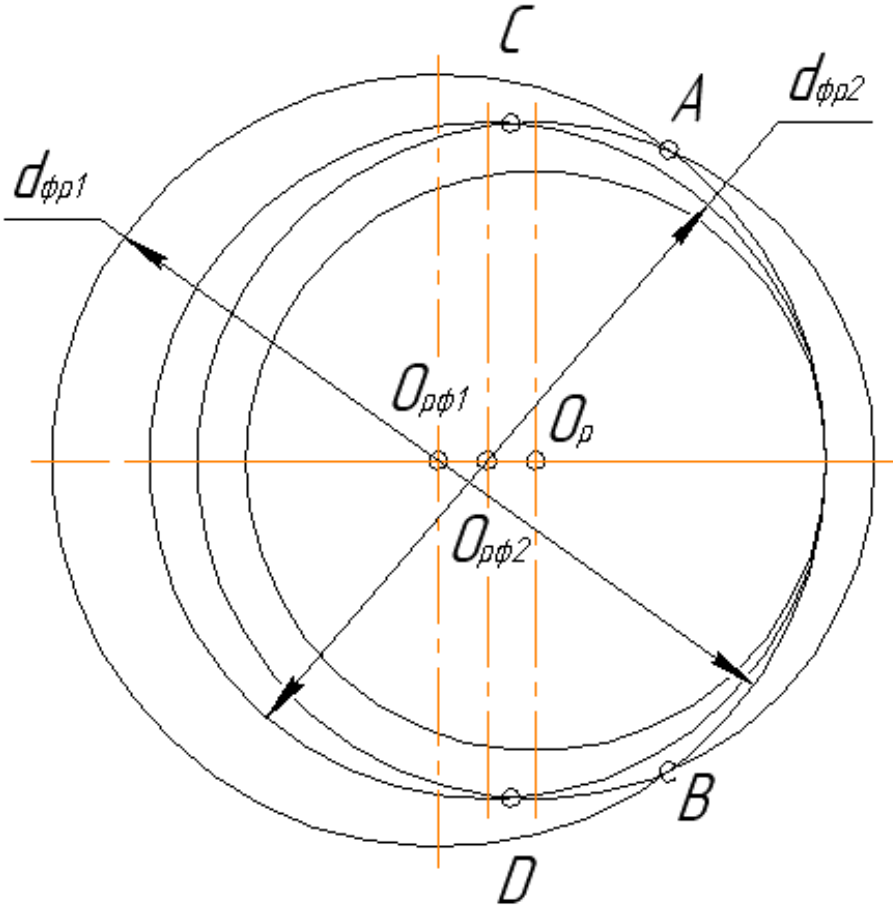


Рисунок 1.5 – Схема сравнения величины дуги контакта нарезаемой резьбы с инструментами разного диаметра [5, с. 2]

Таким образом, определяющей задачей является нахождение диаметра резьбообразующей части инструмента, при котором полученная резьба удовлетворяла бы требованиям степени точности.

В процессе формирования резьбового профиля каждый виток резьбы выполняется соответствующим ему резьбовым кольцом инструмента. Поскольку выполняется одинаковая работа по нарезанию каждого витка резьбы, ограничимся рассмотрением работы одного кольца.

Они пришли к выводам [5, с. 8], что:

1. При резбифрезеровании полученный профиль резьбы не совпадает с теоретическим, т.е. средний диаметр полученной резьбы уменьшается по отношению к теоретическому на величину геометрической погрешности профиля нарезаемой резьбы.

2. На величину разбивки профиля большое влияние оказывает шаг резьбы, поскольку с увеличением шага увеличивается угол подъема резьбы и, следовательно, степень подреза профиля.

3. Значительное влияние оказывает соотношение диаметров охватывающей резбифрезы и наружного диаметра резьбы, чем оно ближе к единице, тем больше разбивка, поскольку увеличивается угол контакта инструмента и нарезаемой резьбы.

Исследования Головки и Малькова в области охватывающего резбифрезерования нужно иметь в виду, при исследовании резбифрезерования внутренней резьбы. Нужно стремиться к минимальному диаметру вершин зубьев фрезы. Также нужно учитывать шаг резьбы, так как от него зависит угол подъема резьбы.

В области резбифрезерования работают специалисты МГТУ «Станкин», г. Москва. Так В.А. Косаревым, В.А. Гречишниковым, Д.В. Косаревым [6] были проведены исследования в области силовых параметров при фрезеровании внутренних резьб планетарным движением инструмента. Для этого был разработан метод имитации процесса планетарного резбифрезерования внутренней резьбы на горизонтально-фрезерном станке, где деталь закреплялась в динамометре УДМ-600, установленном на столе станка [7]. На рисунке 1.6 представлена кинематическая схема для расчета величин срезаемого слоя при моделировании процесса резбифрезерования.

В результате работы на рисунке 1.7 показаны графики зависимости радиальной P_y и окружной P_z составляющих силы резания от глубины t канавки резьбы. Откуда видно, что глубина канавки резьбы существенно влияет на

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

действующие силы резания, и увеличение t приводит к значительному росту сил P_y и P_z .

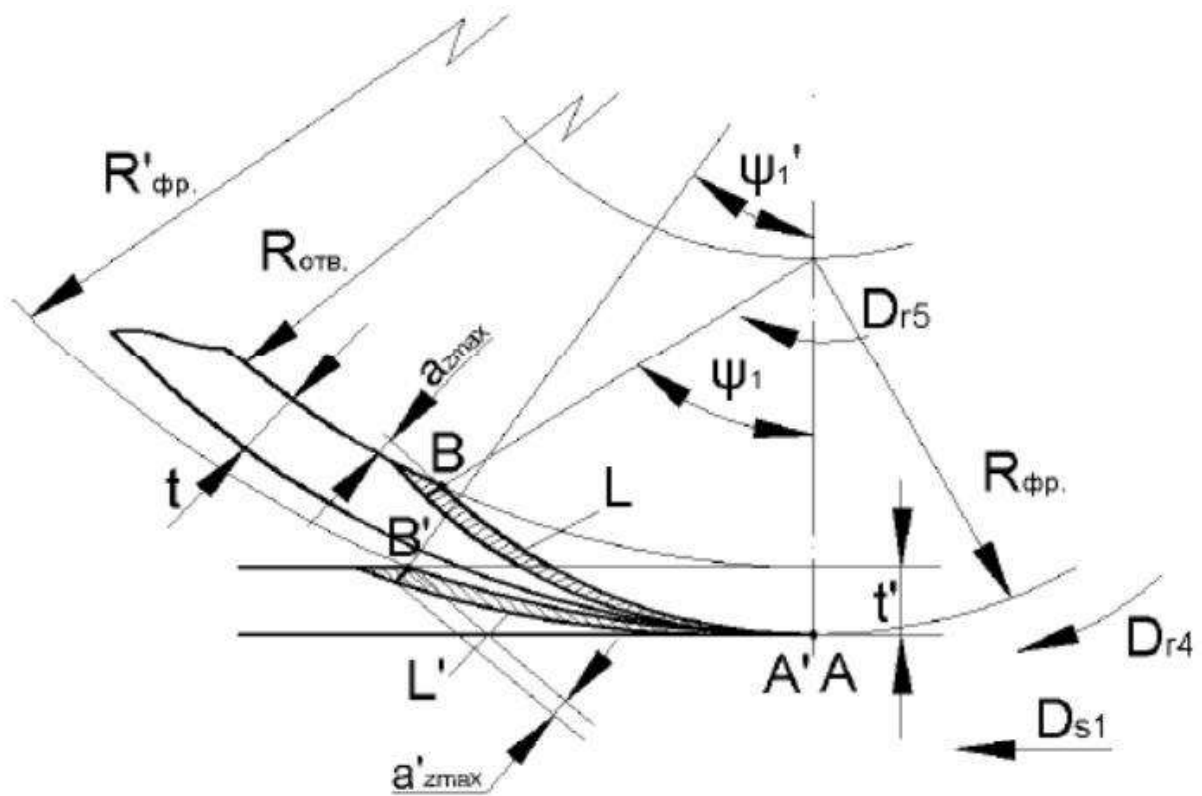


Рисунок 1.6 – Кинематическая схема для расчета величин срезаемого слоя при моделировании процесса резьбофрезерования [6, с. 2]

На графике зависимости P_y (сплошные линии) и P_z (штриховые линии) составляющих силы резания от глубины канавки t резьбы при подаче $S_z = 0,126$ мм/зуб и скорости резания $V = 60$ м/мин; 1 – обрабатываемый материал (ОМ) сталь 40ХФА, попутная подача; 2 – ОМ сталь 40ХФА, встречная подача; 3 – ОМ сталь 40ХФА, встречная подача; 4 – ОМ сталь АК4, встречная подача; 5 – ОМ сталь АК4, попутная подача; 6 – ОМ сталь 40ХФА, попутная подача; 7 – ОМ сталь 40 ХФА, встречная подача; 8 – ОМ сталь АК4, попутная подача.

При конструировании и эксплуатации резьбовых систем для обеспечения устойчивого процесса обработки важно определить оптимальное отношение диаметра обрабатываемого отверстия к диаметру фрезы. Особенно это важно при нарезании резьб большой глубины.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150405.2017.375.00.00 ПЗ

Лист

19

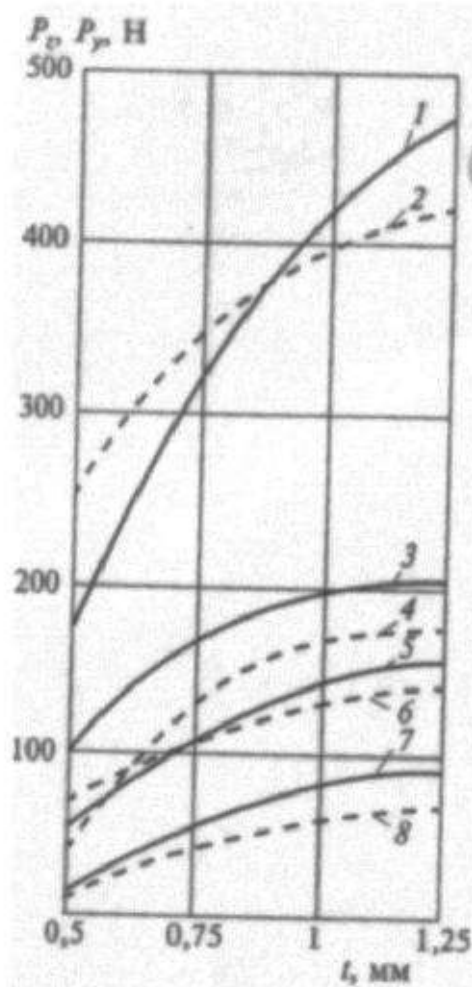


Рисунок 1.7 – График зависимости сил P_y и P_z от t [6, с. 10]

В результате экспериментальных исследований установили частные функциональные зависимости, определяющие значение составляющих сил резания:

- 1) максимальные значения P_y и P_z соответствуют отношению $d_{отв}/d_{фр} = 1,2$;
- 2) резкое (в 1,7 – 2 раза) уменьшение составляющих силы резания происходит при увеличении отношения до $d_{отв}/d_{фр} = 1,5$;
- 3) более плавное (в 1,2 – 1,4 раза) снижение составляющих силы резания происходит при отношении $d_{отв}/d_{фр} = 2$;
- 4) следующее увеличение отношения приводит к незначительному уменьшению составляющих силы резания.

Следовательно, для нашего исследования, чтобы силы резания были минимальны, учитывая исследования Глушко и Малькова [5], необходимо придерживаться максимального отношения диаметров $d_{отв}/d_{фр}$.

Так же В.А. Косаревым, В.А. Гречишниковым, Д.В. Косаревым проведены исследования снижения вибраций при нарезании внутренних резьб резбовыми фрезами, оснащенными сменными твердосплавными пластинами [8].

При исследовании в направлении динамических характеристик при обработке учитывается тот факт, что процесс фрезерования сопровождается переменными сечениями среза, возникающими при движении инструмента, что способствует возникновению автоколебаний. При нарезании внутренних резьб планетарным движением инструмента ширина среза увеличивается в обратной пропорции к толщине срезаемого слоя, т.е. при максимальной ширине B толщина a среза минимальная. На рисунке 1.8 представлен график зависимости ширины B от толщины среза a .

Из графика видно, что на протяжении угла ψ контакта зуба фрезы с деталью режущий клин проходит три зоны с различными схемами распределения нормальных давлений: I – зона, когда радиус закругления режущей кромки $r > a$; II – зона, когда $r = a$; III – зона, когда $r < a$.

Отличительной особенностью зоны I (рисунок 1.8) является повышенное давление на заднюю поверхность зуба, вследствие чего возможно увеличение радиальной составляющей P_y силы резания. В этом случае составляющая P_y доминирует и отстает по фазе в большей степени, чем составляющая P_z силы резания, что приводит к возникновению автоколебаний в процессе резания. Результаты экспериментов подтвердили эту гипотезу.

Также было вынесено предложение, которое в последствии запатентовано, заключающееся в том, что в зоне контакта винта с пластиной размещают демпфирующую вставку, встроенную в пластину, на рисунке 1.9 предоставлены варианты вставок.

					150405.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

результаты демпфирования получены при использовании вставки из медного сплава.

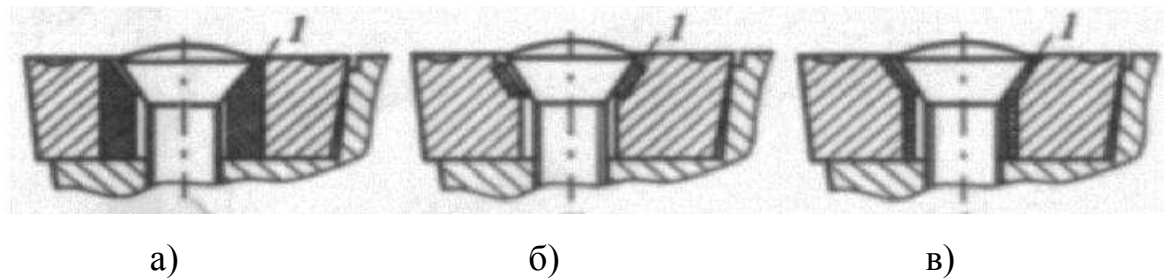


Рисунок 1.9 – Варианты (а, б, в) демпфирующих вставок [8, с. 23]

С целью исследования влияния повышения жесткости инструмента на точность обрабатываемой резьбы [4, с. 14], а также расширения технологических возможностей сборных резьбовых фрез с СТП, разработан опытный образец резьбовой фрезы с удлиненным корпусом с передней направляющей для планетарного резьбофрезерования внутренней резьбы М42Х2, представленный на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Резьбовая фреза с удлиненным корпусом с передней направляющей [4, с. 14]

Основная масса зарубежных работ на тему резьбофрезерования показывают формулы теории проектирования режущего инструмента, очень похожих на написанные Родиным П.Р., и иллюстрации к ним. Рассмотрим статьи посвященные расчету толщины срезаемой стружки [9] и моделированию погрешностей при резьбофрезеровании [10].

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

Фроментин Г. И Пулачон Ж. при рассмотрении погрешностей формообразования резьб планетарным движением инструмента пришли к выводам [9, с. 10], цитата:

«It appears that one significant parameter is the ratio between the mill diameter (D_m) and the nominal thread diameter (D). The lower this ratio is, the lower the overcut is. This may be easily understood but does not really constitute a method to minimize interference. For a given thread, the smaller the mill diameter (D_m), the more fragile the tool is. These two conflicting considerations are difficult to reconcile.

Interference is also influenced by the helix angle of the thread. For an identical mill diameter (D_m) and the same nominal thread diameter (D), the radial error (E_r) increases with thread pitch (P). Effectively, the higher the helix angle of the thread, the more the mill bites into the nominal thread surface (NTS).

There is a third parameter which influences interferences, that is, the thread profile itself. In this study, a metric thread is considered and there appears to be no interference induced by the front edge. The interference is generated by the flank edge. Flank orientation also has an influence on interference phenomena. The higher the inclination of the thread, the greater the overcut. This means that, for square threads, the overcut would be maximum».

Перевод.

«Существует связь между диаметром фрезы (D_m) и номинальным диаметром резьбы (D), выражаемая отношением между ними. Чем меньше это отношение, тем меньше увеличение диаметра отверстия. Это легко понять, но не в этом заключается метод для минимизации погрешностей. Для данной резьбы, чем меньше диаметр фрезы (D_m), тем более хрупкая она. Это два противоречивых соображения трудно согласовать.

Погрешность также зависит от угла наклона винтовой линии. Для одинаковых диаметров фрезы (D_m) и номинального диаметра резьбы (D), радиальная ошибка (E_r) увеличивается с шагом резьбы (P). Эффективно, чем

									150405.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						24

больше угол наклона винтовой линии, тем больше выбоин в номинальном профиле поверхности (*NTS*).

Существует и третий параметр, который влияет на погрешности, т.е на сам профиль. В этом исследовании расчет метрической резьбы представляется без погрешностей, вызванных передним углом. Погрешность порождается боковыми сторонами. Ориентация боковых сторон также имеет влияние на погрешности. Чем выше угол наклона винтовой линии, тем больше подрезание профиля резьбы. Это означает, что для квадратной резьбы, подрезание профиля будет максимально».

Связь между отношением диаметра фрезы к диаметру отверстия и увеличением диаметра отверстия не явная, это же и отмечается в публикациях зарубежных исследователей. Со вторым выводом, в котором говорится, что погрешность профиля зависит от угла наклона винтовой линии, можно согласиться, так как с увеличением шага резьбы, увеличивается угол наклона винтовой линии и соответственно увеличиваются погрешности, вносимые явлением огибания. Третий вывод показывает, что с уменьшением профиля фрезы до нуля, эффект подрезания увеличивается.

Вторую свою работу эти авторы посветили модели для расчета полной толщины стружки при внутреннем резьбофрезеровании [10]. Это необходимо для понимания модели силы резания [10, с. 7]:

«The results show the specific aspects of the chip area in thread milling. The uncut chip thickness along the cutting edge is clearly non-constant, and the milling mode establishes the cutting conditions of the flank cutting edges. It is shown that milling strategy should be adapted to thread direction and mill geometry. The mill geometry and especially the flute angle have more effect on uncut chip thickness than in cylindrical milling. Even if the flute angle introduces a negative rake angle, it reduces the chip area at a given time. Thus, it is assumed that there is an optimum combination of flute angle and orthogonal rake angle to control the cutting forces and their variations.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

Furthermore, the presented model enables interference and overcut to be evaluated directly from the surface generated by the cutting edge».

Перевод: «Результаты показывают конкретные аспекты площади сечения при резбофрезеровании. Толщина срезаемой стружки вдоль режущей кромки непостоянная и режимы фрезерования устанавливают условия резания боковыми режущими кромками. Показано, что фрезерование резьбы должны быть адаптировано к направлению резьбы и геометрии фрезы. Геометрия фрезы и особенно режущего клина оказывает большее значение на толщину срезаемого слоя, чем при цилиндрическом фрезеровании. Даже если режущий клин вводит отрицательный передний угол, он уменьшает площадь сечения на данный момент времени. Таким образом, предполагается, что существует оптимальное сочетание угла наклона канавки и переднего угла, чтобы контролировать силы резания и их вариации.

Кроме того, представленная модель позволяет определить погрешности и подрезание профиля непосредственно с поверхности, полученной режущей кромкой».

Вторая работа показывает, что существует связь между сочетанием переднего угла и угла наклона канавки с силами резания. Связь между передним углом и силами резания очевидна, но если проводить такое исследование, то в результате необходимо получить зависимости или формулы.

Также в области планетарного фрезерования резьб проводили исследования Щуров И.А. и Немытова Е. В., из ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» [14]. Перед авторами стояла задача – произвести фрезерование упорной резьбы по ГОСТ 10177-82, профиль которой представлен на рисунке 1.11. Параметры резьбы по ГОСТ 10177-82:

- Наружный диаметр $D = 38$ мм;
- Средний диаметр $D_2 = 35$ мм;
- Внутренний диаметр $D_1 = 32$ мм;
- Шаг резьбы $P = 4$ мм;

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

- Высота исходного треугольника $H = 6,352$ мм;
- Рабочая высота профиля $H_1 = 3$ мм.

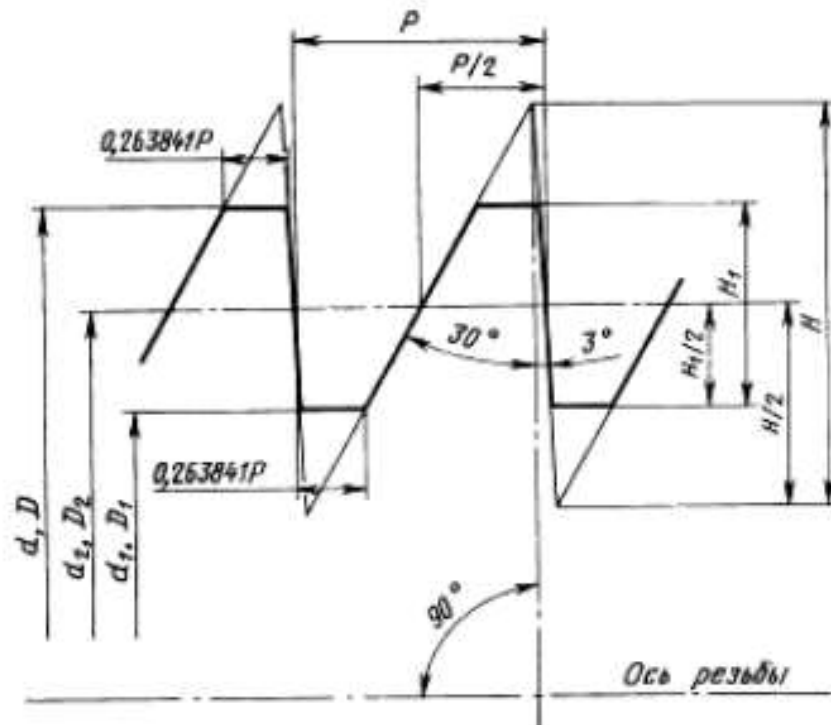


Рисунок 1.11 – Профиль резьбы по ГОСТ 10177-82

В качестве инструмента использовался резьбовая фреза для внутренней резьбы, с соотношением диаметра фрезы к диаметру отверстия 0,63. Общий вид фрезы представлен на рисунке 1.12.



Рисунок 1.12 – Резьбовая фреза [14, с. 544]

В результате исследования они получили профиль резьбы, не соответствующий стандарту. На рисунке 1.13 представлен полученный профиль упорной резьбы.

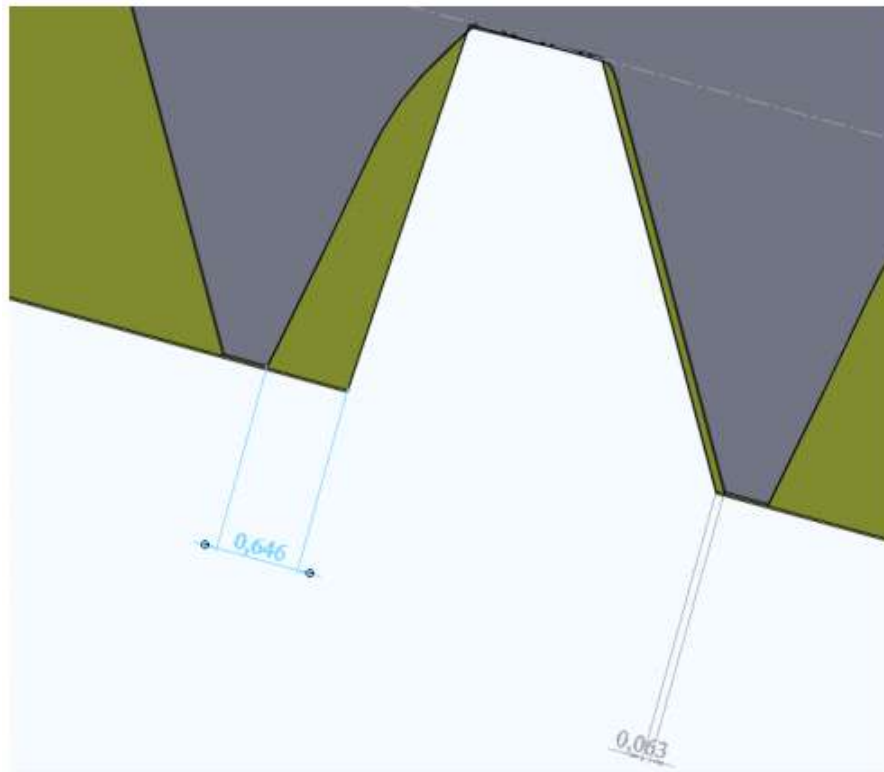


Рисунок 1.13 – Исходный профиль заготовки и получаемый фрезой [14, с. 545]

Авторы сделали вывод: «Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что не все резьбы могут быть получены планетарным фрезерованием на станках с ЧПУ. Ранее проведенные исследования показали, что причиной этого являются системные ограничения применяемого метода формообразования. Все это ставит необходимость провести системные исследования областей применения данного метода. Соответственно, технологи машиностроительных предприятий должны принимать во внимание такие ограничения и на основе данной методики трехмерного твердотельного моделирования или ранее опубликованной аналитической методики, или методики дискретного твердотельного моделирования определять возможность получения требуемых резьб на станках с ЧПУ» [14, с. 546].

В своем исследовании Щуров И.А и Немытова Е.В. описывают, что фрезерование резьб на трехкоординатных станках сопровождается существенным искажением профиля резьбы и затиранием задней поверхности инструмента. Смоделировали получения профиля упорной резьбы и экспериментально

верифицировали исследование в научно-образовательном центре ЮУрГУ «Машиностроение» на токарно-фрезерном центре. В результате моделирования и обработки они получили профиль, существенно отличающийся от заданного стандартом и, следовательно, не возможно применять данную фрезу для получения требуемой детали [14, с 545].

1.5 Цели и задачи исследования

Цель: Расширение технологических возможностей трехкоординатных станков с ЧПУ в области фрезерования резьбовых отверстий.

Задачи:

1. Проанализировать публикации, связанные с получением профиля упорной резьбы фрезерованием на трехкоординатных станках.
2. Решение обратной задачи формообразования торцовой поверхностью фрезы и вершиной лезвия на основе метода векторной алгебры.
3. Разработать CAD модель инструмента и произвести верификацию получения профиля упорной резьбы с использованием CAD CAM программ.
4. Спроектировать резьбовую фрезу для многопроходной обработки.

Выводы по разделу один

В области планетарного фрезерования резьбы недостаточно исследований для выявления всех факторов, влияющих на точность получаемого профиля резьбы. Из рассмотренных выше работ можно сделать вывод, что наибольшие погрешности получаемого профиля резьбы возникают из-за действия силовых факторов, жесткости инструмента, явлений вибрации и обката.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

2 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОПРОХОДНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ УПОРНЫХ РЕЗЬБ

Как было отмечено выше, уменьшение отношения диаметра фрезы к диаметру отверстия, позволяет уменьшить искажение профиля резьбы детали. В связи с этим, следует оценить величину минимально-допустимого диаметра фрезы. Очевидно, что диаметр фрезы не может быть менее двух высот профиля резьбы. Кроме того, диаметр державки должен быть достаточным для сопротивления силам резания. Силы резания можно уменьшить за счет введения многопроходного нарезания резьбы. В связи с этим, далее рассмотрим возможные схемы формообразования резьбы.

2.1 Описание схемы формообразования при резьбофрезеровании

Для фрезерования резьбы необходимо использовать трехкоординатный фрезерный станок с ЧПУ, имеющий функцию винтовой интерполяции. Винтовая интерполяция – функция системы ЧПУ, обеспечивающая перемещение инструмента по винтовой траектории. Такое винтовое движение состоит из двух составляющих: кругового движения в плоскости и линейного перемещения в направлении, перпендикулярном этой плоскости, как представлено на рисунке 2.1.

Операция фрезерования резьбы состоит из вращения инструмента вокруг собственной оси и одновременного планетарного движения по винтовой линии вдоль внутренней или наружной цилиндрической поверхности заготовки, как представлено на рисунке 2.2. За один оборот винтовой линии инструмент перемещается вдоль оси цилиндрической поверхности на расстояние равное шагу резьбы. Траектория движения фрезы в сочетании с геометрией режущей пластины позволяет получить резьбу требуемого профиля [21, с. 246].

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

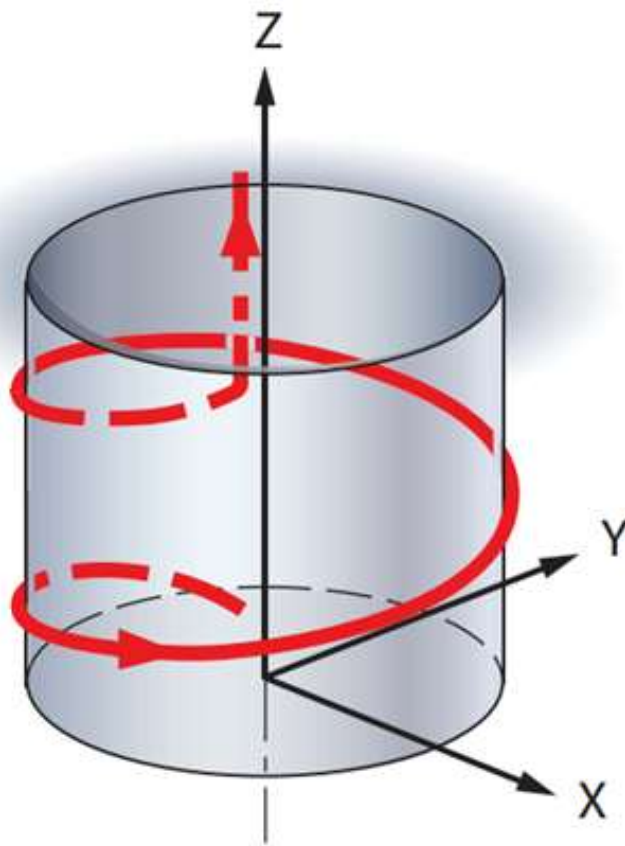


Рисунок 2.1 – Траектория перемещения фрезы [21, с. 245]

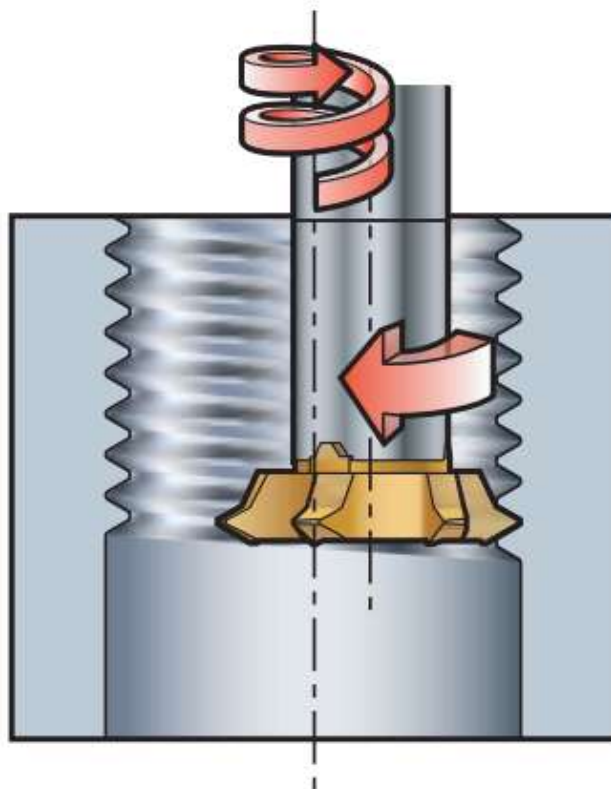


Рисунок 2.2 – Направление вращения и перемещение инструмента [21, с. 246]

При этом осуществляется попутное фрезерование. Толщина стружки на входе зуба в резание максимальна и уменьшается до нулевого значения на выходе. Это помогает избежать повышенного трения и выглаживания обрабатываемой поверхности в начальный момент резания. На рисунке 2.3 представлено попутное и встречное фрезерование.

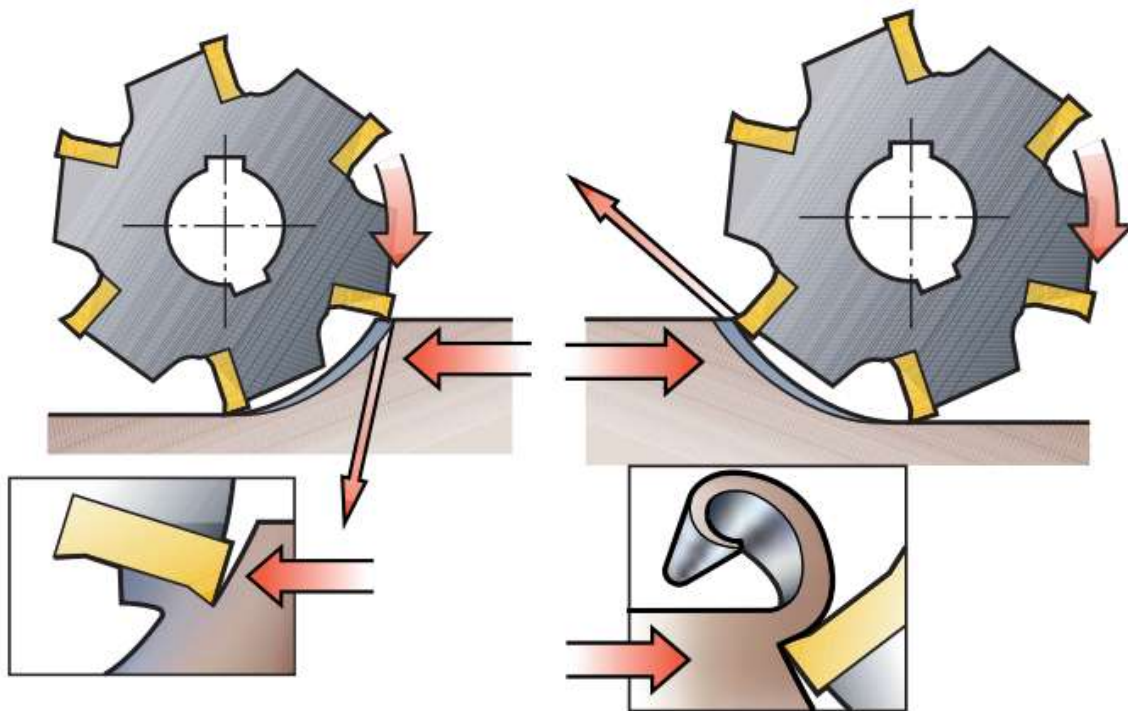


Рисунок 2.3 – Попутное и встречное фрезерование [22, с. 40]

Существует два метода подвода инструмента к заготовке перед началом фрезерования внутренней резьбы:

- тангенциальный подвод по дуге;
- радиальный подвод.

На рисунке 2.4 представлены методы подвода инструмента.

Тангенциальный подвод по дуге в резание при фрезеровании по круговой или винтовой интерполяции позволит уменьшить толщину образующейся стружки.

При использовании данного метода врезание инструмента в заготовку и выход из нее происходит плавно. В результате, на поверхности заготовки не

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

остается сколов, а в процессе фрезерования резьбы не возникает вибраций, даже если материал заготовки имеет сравнительно высокую твердость.

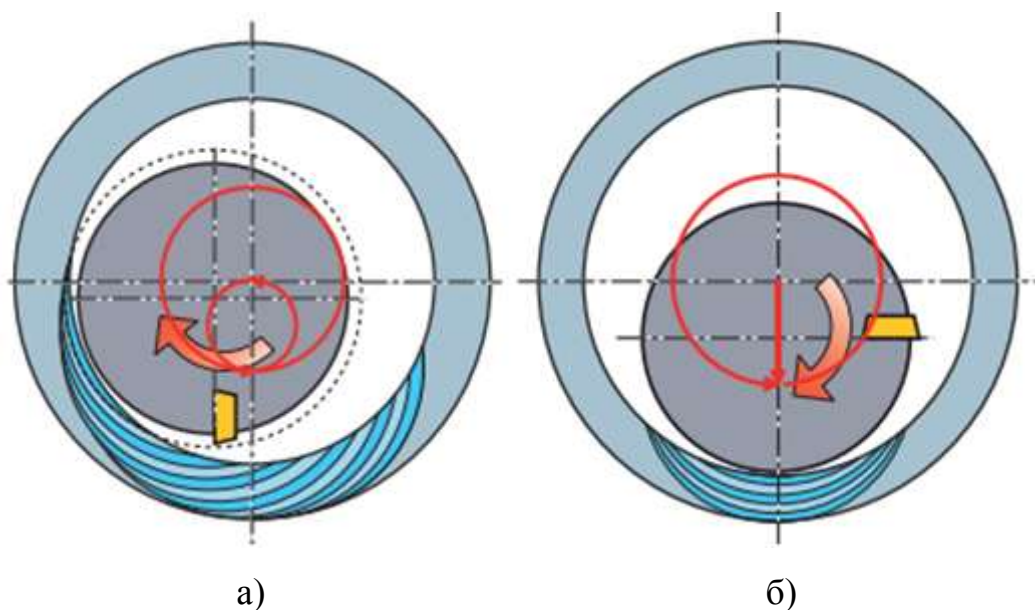


Рисунок 2.4 – Подвод инструмента: а) тангенциальный подвод по дуге;
б) радиальный подвод [22, с. 40]

При использовании данного метода программа обработки получается несколько более сложной, по сравнению с программой, обеспечивающей радиальный подвод инструмента. Тем не менее, именно этот метод рекомендуется использовать для получения резьб наивысшего качества [22, с. 40].

2.2 Многопроходное фрезерование

Фрезерование резьбы за несколько проходов целесообразно применять в случае, когда резьба имеет жесткий допуск и большую длину свинчивания. Использование многопроходного фрезерования также уменьшает силы резания, что благоприятно сказывается на стойкости инструмента в случае, когда жесткость инструмента недостаточна, а также уменьшит вероятность поломки инструментов при резьбофрезеровании [22, с. 14].

										Лист
										33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Существует три основных метода многопроходной обработки резьб, представленные на рисунке 2.5.

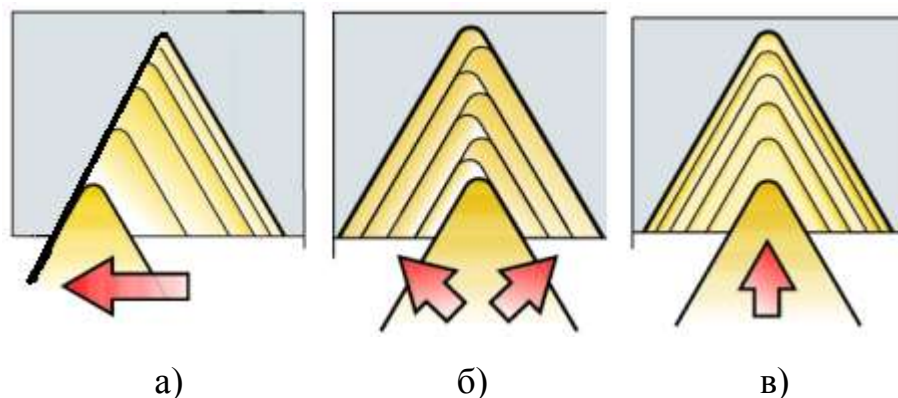


Рисунок 2.5 – Методы многопроходной обработки резьбы: а) боковое врезание; б) боковое врезание с чередованием сторон; в) радиальное врезание [22, с. 14]

Глубину врезания для каждого прохода можно назначить в основном двумя разными способами, представленными на рисунке 2.6.

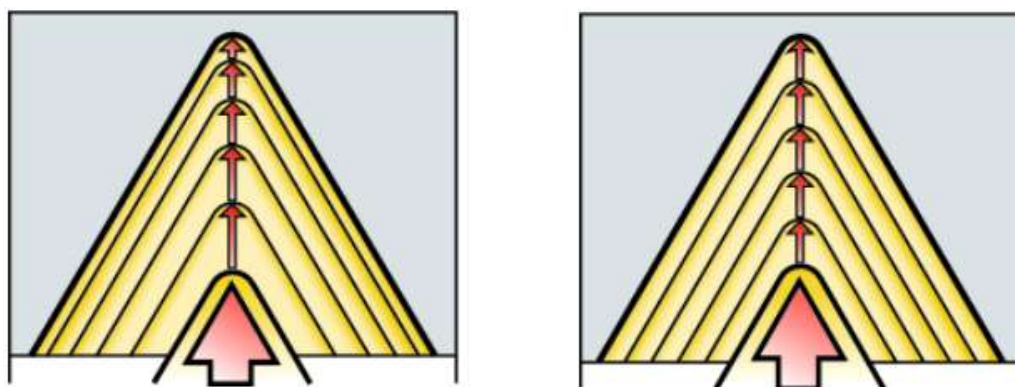


Рисунок 2.6 – Глубина врезания: а) постоянная площадь сечения стружки; б) постоянная глубина врезания [22, с. 14]

Способ врезания с постоянной площадью сечения стружки становится все более популярным для станков нового поколения и в большинстве случаев обеспечивает максимальную производительность обработки. В зависимости от высоты профиля резьбы задается довольно большая начальная глубина врезания, которая постепенно уменьшается. При этом пластина испытывает равномерный износ, что благоприятно сказывается на ее стойкости [22, с. 14].

Способ с постоянной глубиной врезания может использоваться в качестве альтернативного в случае возникновения проблем со стружкодроблением. Толщина стружки в этом случае остается постоянной. Как правило, при обработке с постоянной глубиной врезания требуется большее количество проходов [22, с. 15].

Учитывая выше изложенное, составим схему многопроходного фрезерования. За основу возьмем модифицированное боковое врезание под углом 3 градуса. Разобьем припуск на группы:

- 1) Первый проход, припуск 1,15 мм;
- 2) Вторая группа – два прохода с припуском 0,6 мм;
- 3) Третья группа – два прохода с припуском 0,3 мм;
- 4) Четвертая группа – два прохода с припуском 0,1 мм;
- 5) Чистовой проход, припуск 0,05 мм.

На рисунке 2.7 изображен разработанный метод многопроходного фрезерования.

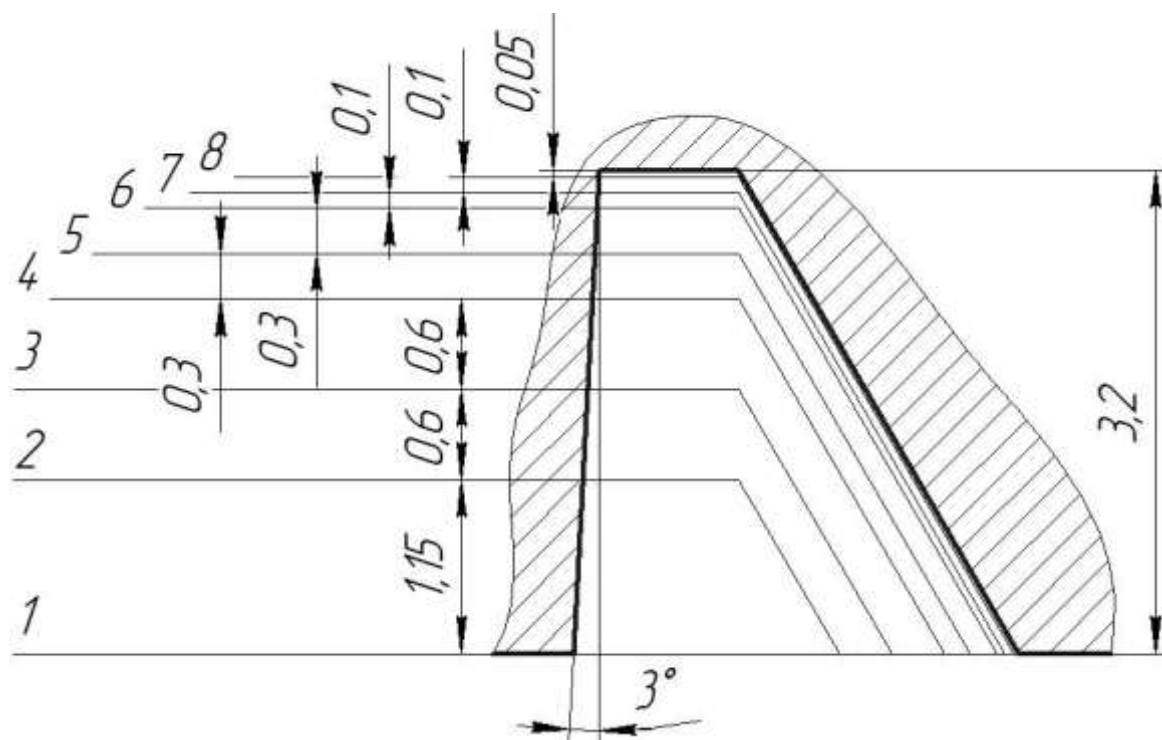


Рисунок 2.7 – Разработанный метод многопроходной обработки

2.3 Решение обратной задачи формообразования торцовой поверхностью фрезы и вершиной лезвия

Обратная задача профилирования заключается в определении формы поверхности детали, которая получится при обработке заданным инструментом по известной схеме формообразования. В результате рабочих движений режущие кромки инструмента описывают поверхности резания. Если определить поверхность, огибающую поверхности резания, можно получить форму поверхности детали. Задача определения формы поверхности детали, обработанной известным инструментом, является неоднозначной, т.к. одним и тем же инструментом можно обработать разнообразные поверхности. Это достигается использованием различных схем формообразования. В пределах же одной схемы формообразования различные варианты обработанных поверхностей получаются при изменении положения инструмента относительно заготовки и изменения направления и скоростей составляющих движения [11, с. 62].

Расчет профиля получаемой винтовой поверхности производится на основе решения уравнения контакта для каждой из расчетных точек инструмента. При этом определяется угол контакта θ для каждой расчетной точки, а зная угол контакта, определяем ее координаты на профиле инструмента. Далее по уравнениям взаимосвязи систем координат инструмента и заготовки переводят полученные координаты в систему координат заготовки. Приравнивая одну из координат заготовки к нулю, получаем профиль винтовой канавки в осевом или торцовом сечении.

Рассмотрим, в качестве примера, резьбу $S 65.4$ [1, с. 4]. Для резьбофрезерования будем использовать спроектированную нами фрезу с твердосплавной пластиной, общий вид такой спроектированной фрезы (методика проектирования рассмотрена ниже) представлен на рисунке 2.8.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

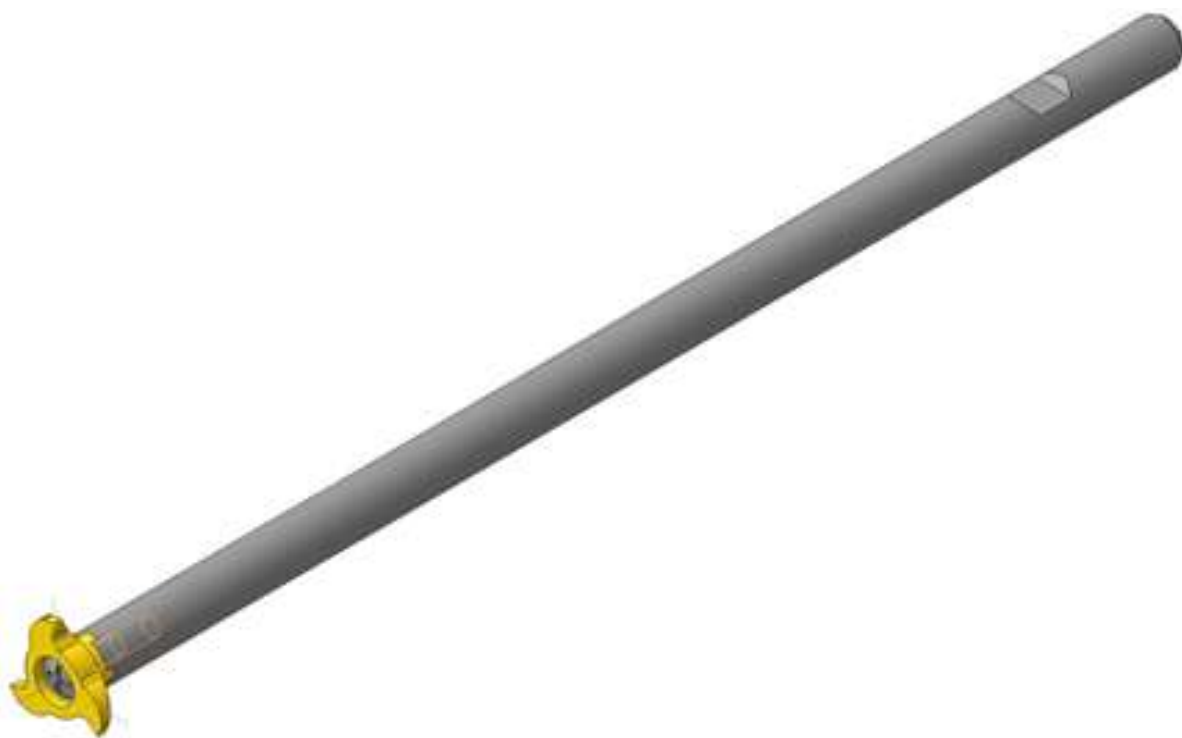


Рисунок 2.8 – Общий вид фрезы

Данные профиля резьбы необходимые для расчета по ГОСТ 10177-82 [1, с. 1–3, 7]:

$D = 65$ – наружный диаметр резьбы, мм;

$D_1 = 59$ – внутренний диаметр резьбы, мм;

$D_2 = 62$ – средний диаметр резьбы, мм;

$P = 4$ – шаг резьбы, мм;

$H = 1,588 P = 6,352$ – высота исходного треугольника, мм;

$H_1 = 0,75 P = 3$ – рабочая высота профиля, мм.

На рисунке 2.9 представлен номинальный профиль резьбы и его размеры. Конструкция фрезы подробно рассматривается в главе 3 выпускной квалификационной работы.

Для расчета возьмем необходимые размеры фрезы с чертежей, представленных на рисунках 3.4 и 3.5:

$D_{фр} = 14$ – диаметр вершин зубьев, мм;

$d_{хв} = 6$ – диаметр хвостовика, мм;

$a = 1,3$ – длина режущей кромки, мм.

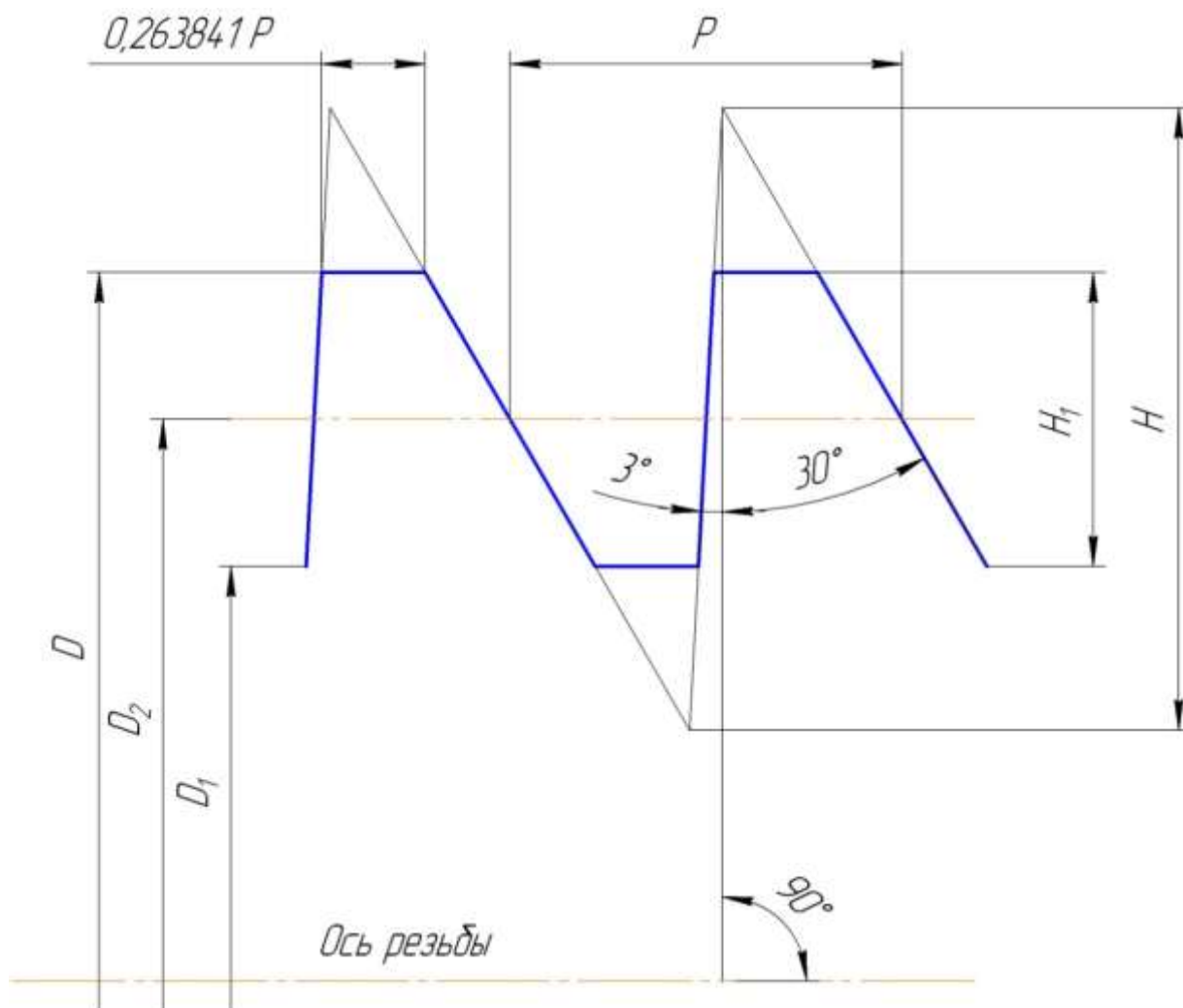


Рисунок 2.9 – Номинальный профиль резьбы и его размеры

Профиль фрезы состоит из трех поверхностей: торцевой, цилиндрической и конической, а также переходных окружностей. Получение профиля резьбы, а точнее цилиндрического участка и стороны под углом 30 градусов не составляет проблем. При формообразовании, винтовое движение фрезы значительно влияет на получение стороны профиля под углом 3 градуса. Поэтому акцентируем внимание на торцовую плоскость и вершину, которые формируют сторону расположенную под углом 3 градуса в резьбовом профиле.

Разобьем профиль фрезы на 12 расчетных точек, как показано на рисунке 2..

На рисунке 2.10 показан торцовый (точки с 1 по 7), цилиндрический (точки 7–9) и конический (9–12) профили фрезы. Рассмотрим точки с 1 по 7.

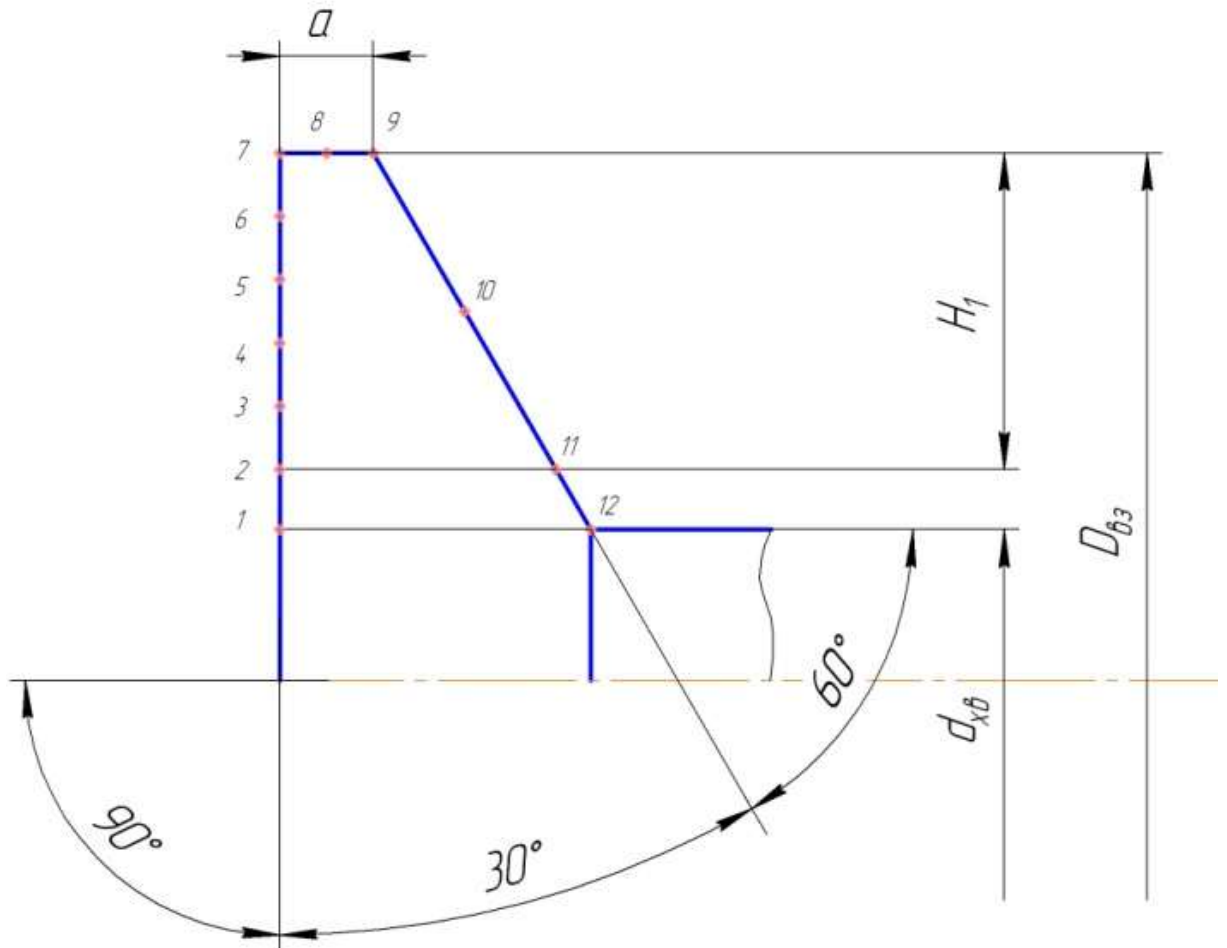


Рисунок 2.10 – Разбиение профиля фрезы на расчетные точки

Определим радиусы расчетных точек. Радиус 1 точки будет равен радиусу цилиндрического хвостовика:

$$R_1 = d_{xb}.$$

Радиусы точки 7 равен радиусу вершин зубьев фрезы:

$$R_7 = D_{фр}/2, \quad (2.1)$$

Радиусы точек со 2 по 6 вычисляем по формуле:

$$R_i = R_7 - 0,2 H_1(7 - i), \quad (2.2)$$

где $i = 2 \dots 6$ – номер расчетной точки;

R_i – радиус i -той точки, мм;

$H_1 = 5,25$ – рабочая высота профиля, мм.

Для расчетных точек с 1 по 7 координата y_0 равна нулю.

Результат вычислений занесем в таблицу 2.1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица 2.1 – Значения радиусов расчетных точек

В миллиметрах

№ расчетной точки	1	2	3	4	5	6	7
Значение радиуса R	3	4	4,6	5,2	5,8	6,4	7
Координата y_0	0	0	0	0	0	0	0

Схема формообразования упорной резьбы представлена на рисунке 2.11

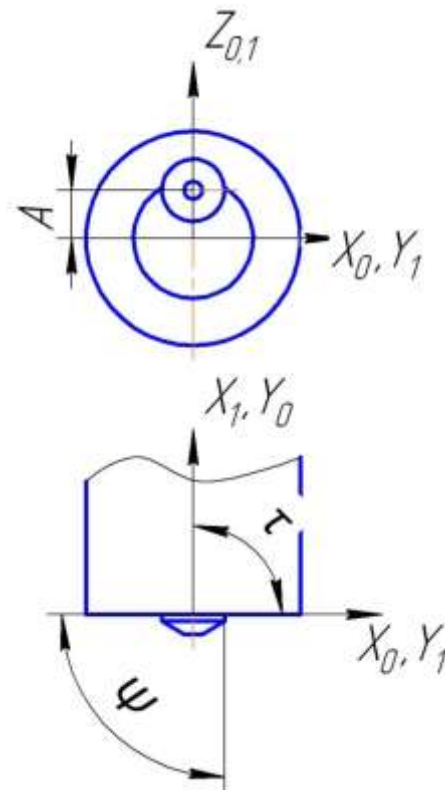


Рисунок 2.11 – Схема фрезерования упорной резьбы

Запишем уравнение контакта, где искомой величиной является угол контакта θ [11, с 66]:

$$\sin \theta (p + A \operatorname{tg} \tau) + \cos \theta (R \operatorname{tg} \psi + y_0) = \operatorname{tg} \psi (A - p \operatorname{tg} \tau), \quad (2.3)$$

где $\tau = 90$ – угол наклона оси фрезы, град;

θ – угол контакта, град;

p – винтовой параметр, мм;

A – межосевое расстояние, мм;

ψ – угол профиля фрезы, град;

R – радиус расчетной точки, мм;

y_0 – координата расчетной точки, мм.

Винтовой параметр зависит от шага винтовой линии. В нашем случае шаг винтовой линии, т.е шаг резьбы $P = 4$ мм, тогда значение винтового параметра будет равно:

$$p = P/(2\pi) = 0,637 \text{ мм}, \quad (2.4)$$

Межосевое расстояние A в нашем случае, при диаметре вершин зубьев фрезы $D_{\text{фр}} = 14$ мм и наружном диаметре резьбы $D = 65$ мм, будет равно:

$$A = 0,5 (D - D_{\text{фр}}) = 0,5 (65 - 14) = 25,5 \text{ мм}, \quad (2.5)$$

Разделим уравнение контакта (2.3) на $\text{tg}\tau$ чтобы найти угол контакта θ .

$$\sin \theta \frac{A \text{tg} \tau}{\text{tg} \tau} + \sin \theta \frac{p}{\text{tg} \tau} + R \cos \theta \frac{\text{tg} \psi}{\text{tg} \tau} + \frac{y_0 \cos \theta}{\text{tg} \tau} = A \frac{\text{tg} \psi}{\text{tg} \tau} - p \frac{\text{tg} \psi \text{tg} \tau}{\text{tg} \tau},$$

Сократим и получим уравнение контакта для нашего случая:

$$A \sin \theta = -p \text{tg} \psi, \quad (2.6)$$

Выразим угол контакта из уравнения 2.6:

$$\theta = -\text{arc sin} \frac{p \text{tg} \psi}{A}, \quad (2.7)$$

Торцовая плоскость фрезы, уравнение которой $Y_0 = 0$, имеет угол профиля $\psi = 90^\circ$. Пытаясь решить уравнение контакта (2.7) решения не получаем. Таким образом математически определяется, что торцовая плоскость не участвует в формообразовании профиля резьбы.

Поскольку формообразование профиля резьбы все же наблюдается, то можно предположить, что это формообразование осуществляется вершиной зуба инструмента. Рассмотрим получение профиля резьбы окружностью радиусом R_ϕ . В системе $X_0Y_0Z_0$ координаты точек граничной окружности определяются по формулам:

$$Y_0 = 0, \quad (2.8)$$

$$X_0 = R_\phi \sin \theta, \quad (2.9)$$

$$Z_0 = R_\phi \cos \theta + A, \quad (2.10)$$

Запишем уравнения преобразования координат:

$$X_1 = -Y_0 + p \varphi, \quad (2.11)$$

$$Y_1 = X_0 \cos \varphi - Z_0 \sin \varphi, \quad (2.12)$$

$$Z_1 = Z_0 \cos \varphi + X_0 \sin \varphi, \quad (2.13)$$

где φ – угол поворота заготовки, рад;

Профиль винтовой поверхности детали определяем в осевом сечении. Для определения соответствующей точки контакта на профиле детали рассечем винтовую поверхность осевой плоскостью, примем $Z_1 = 0$. Из уравнения (2.13) выразим угол поворота заготовки:

$$\varphi = \arctg(-Z_0/X_0), \quad (2.14)$$

Чтобы не получать и не решать уравнение контакта для граничной окружности можно задаться углом контакта θ в некотором диапазоне. Реальный профиль детали может формироваться в диапазоне $\pm 270^\circ \dots \pm 360^\circ$ (в зависимости от параметров винтовой поверхности и установки инструмента). Для выбранного диапазона угла контакта по формулам (2.8), (2.9) и (2.10) подсчитаем и запишем координаты точек окружности в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Координаты точек окружности

N	θ , град	X_0 , мм	Z_0 , мм	Y_0 , мм
1	270	-7	25,5	0
2	280	-6.894	26.716	0
3	290	-6.578	27.894	0
4	300	-6.062	29	0
5	310	-5.362	30	0
6	320	-4.5	30.862	0
7	330	-3.5	31.562	0
8	340	-2.394	32.078	0
9	350	-1.216	32.394	0
10	360	-1.714e-15	32.5	0

Результаты вычисления координат точек осевого сечения винтовой детали и значение угла φ запишем в таблицу 2.3

Таблица 2.3 – Координаты точек осевого сечения детали

N	φ , град	X_1 , мм	Y_1 , мм
1	74.65	0.829	-26.443
2	75.531	0.839	-27.591
3	76.731	0.853	-28.659
4	78.193	0.869	-29.627
5	79.866	0.887	-30.475
6	81.705	0.908	-31.189
7	83.672	0.93	-31.756
8	85.732	0.953	-32.167
9	87.851	0.976	-32.416
10	90	1	-32.5

Изобразим полученный профиль в осевом сечении на рисунке 2.12.

С целью автоматизации и упрощения ручного расчета для дальнейших исследований, создадим математическую модель получения профиля резьбы. В приложении А представлен отчет автоматизированного расчета.

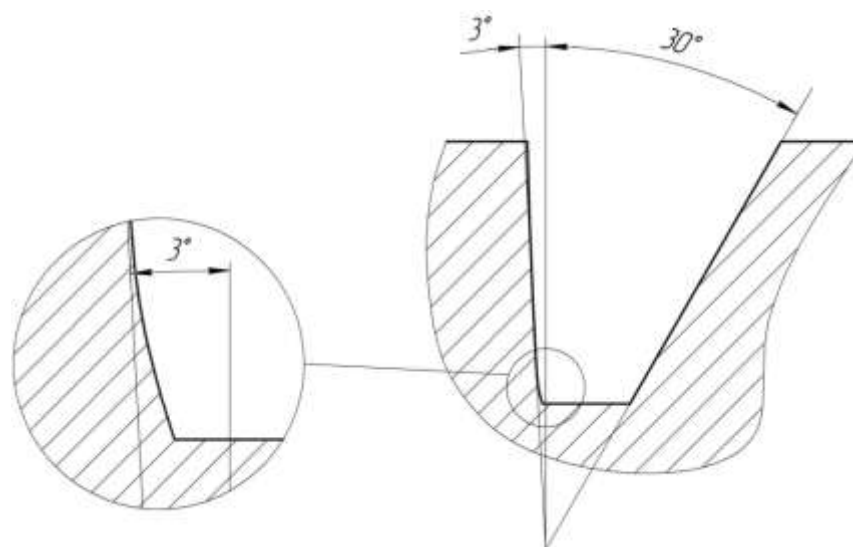


Рисунок 2.12 –Полученный профиль

2.3 Моделирование получения профиля упорной резьбы фрезой

Моделирование процессов формообразования необходимо для того, чтобы на стадии проектирования в более полной мере иметь представление о том с какими сложностями мы можем столкнуться.

2.3.1 Верификация аналитического расчета в CAD программе

Рассмотрим моделирование процесса получения профиля упорной резьбы в CAD программе. CAD (англ. computer-aided design/drafting) — средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, и САПР общего назначения.

В качестве заготовки используем цилиндр со сквозным отверстием, диаметр которого равен внутреннему диаметру резьбы $D_1 = 59$ мм. Наружный диаметр d_z возьмем произвольно, но больше чем наружный диаметр резьбы D , к примеру на 21 мм, т.е $d_z = 21 + D = 80$ мм. Высота цилиндра $h_z = 80$ мм. На рисунке 2.13 представлена заготовка.

Режущий инструмент можно рассматривать как тело, ограниченное ИИП, на которой располагаются профилирующие участки режущих кромок. При формообразовании поверхность детали совершает движение и занимает ряд последовательных положений относительно инструмента. Поверхность, касательная к последовательным положениям поверхности детали, и будет ИИП. То есть, с математической точки зрения ИИП является огибающей ряда последовательных положений детали относительно инструмента в процессе ее формообразования.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

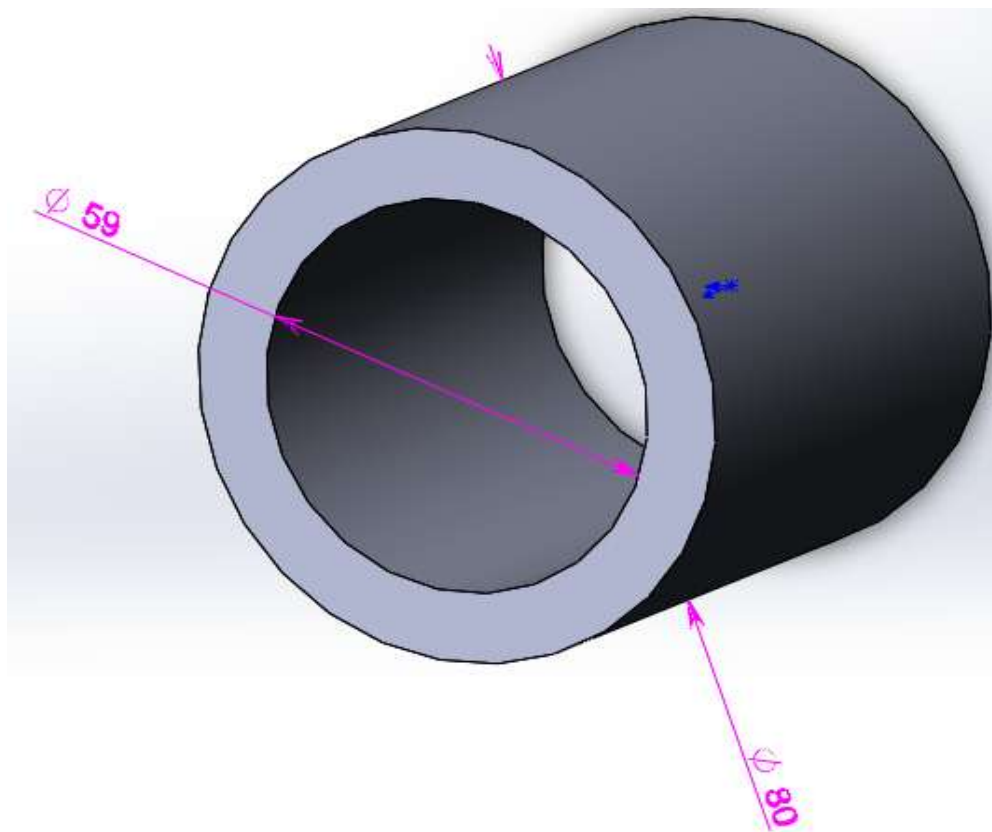


Рисунок 2.13 – Заготовка

В процессе обработки поверхность детали может совершать относительно инструмента сложные движения, которые можно разложить на простые.

Некоторые из этих движений могут приводить к скольжению поверхности детали “самой по себе”. При определении огибающей (которая и образует ИИП) такие движения можно не учитывать, т.к. они не изменяют положения поверхности детали относительно инструмента, т.е. не являются формообразующими. Так, у фрезы ИИП образована как огибающая ряда последовательных положений плоскости вокруг оси инструмента. Они и формируют цилиндрическую поверхность. Движение подачи приводит к “скольжению” плоскости детали “самой по себе” и не влияет на характер взаимного положения плоскости детали и инструмента, т.е. не определяет формы ИИП [11, с. 6]. На рисунке 2.14 представлена модель ИИП и траектория движения инструмента.

Движением инструмента будет являться спираль с шагом $P = 4$ мм и радиусом равным межосевому расстоянию $A = 25,5$ мм. В результате

моделирования получаем отверстие с резьбой, как представлено на рисунке 2.15.
Линию контакта фрезы и заготовки представим на рисунке 2.16.

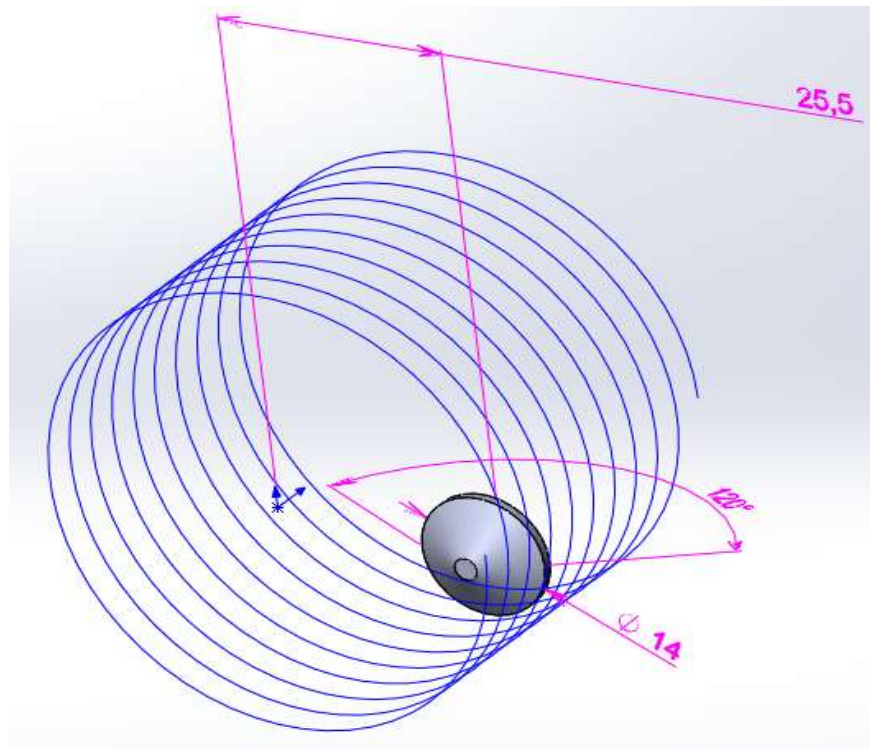


Рисунок 2.14 – Модель ИИП и траектория движения инструмента

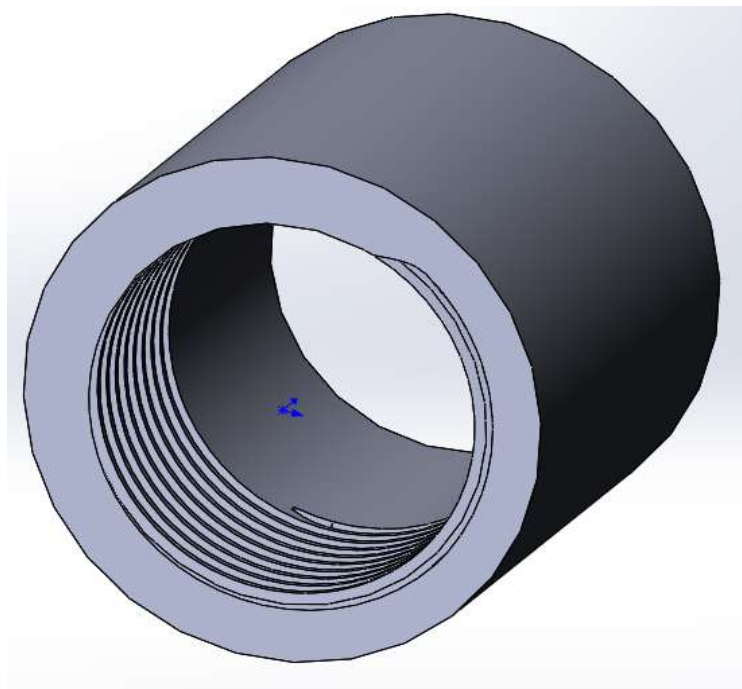


Рисунок 2.15 – Результат моделирования

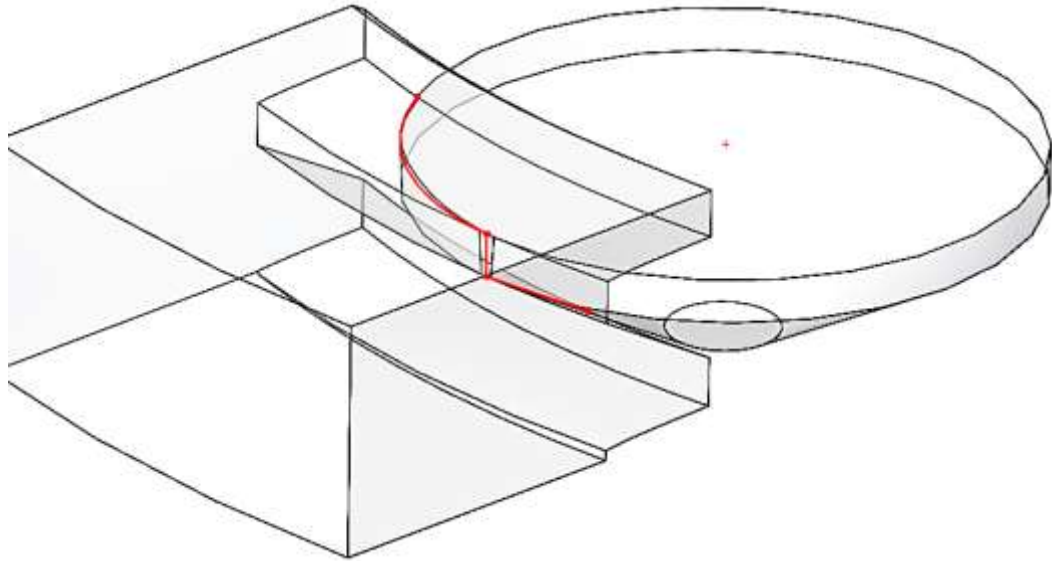


Рисунок 2.16 – Линия контакта фрезы и заготовки

Для полного представления полученного профиля резьбы, рассмотрим сечение заготовки, представленное на рисунке 2.17.

Из результата моделирования видно, что имеет место недорез профиля резьбы. Недорез проявляется из-за явления обката, т.к при моделировании, в нашем случае, не учитываются силовые факторы появляющиеся в результате резания, вибрации, неточности базирования, закрепления, изготовления корпуса, СТП, гнезда под СТП, ошибками программирования и настройками ЧПУ, а также износа инструмента.



Рисунок 2.17 – Сечение заготовки

										Лист
										47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>					

2.3.2 Верификация аналитического расчета в САМ программе

Рассмотрим получение профиля упорной резьбы в САМ программе. САМ (англ. Computer-aided manufacturing) — автоматизированная система, либо модуль автоматизированной системы, предназначенный для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, ориентированная на использование ЭВМ. Под термином понимаются как сам процесс компьютеризированной подготовки производства, так и программно-вычислительные комплексы, используемые инженерами-технологами.

Общий вид окна САМ программы представлен на рисунке 2.17.

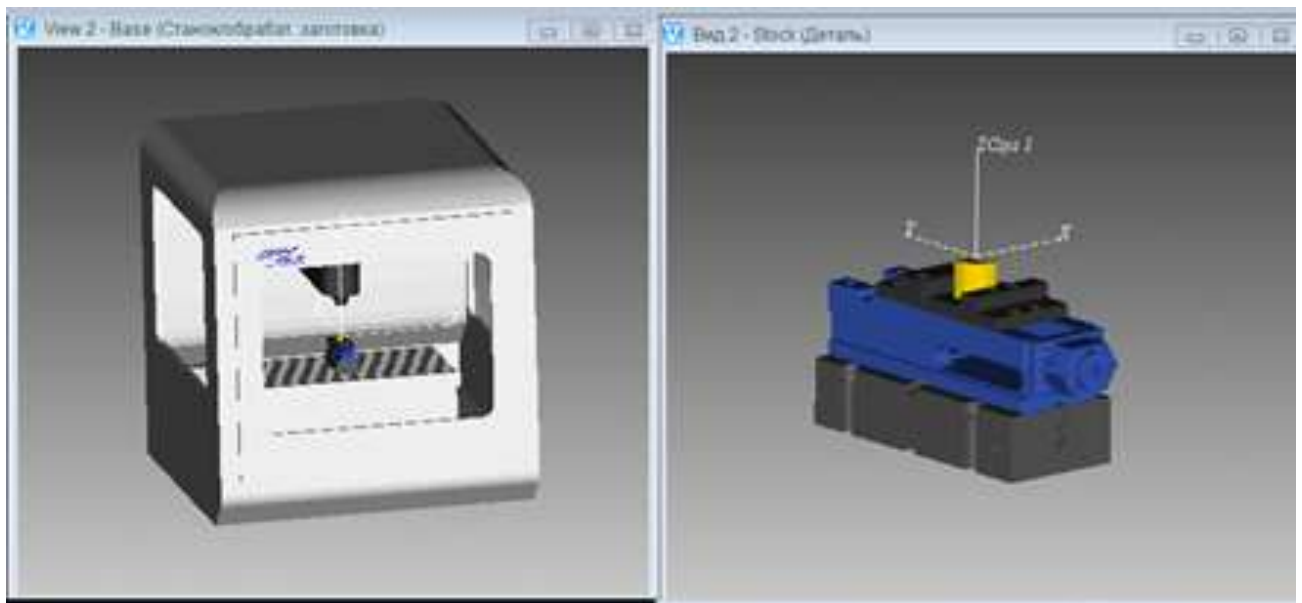


Рисунок 2.17 – Общий вид окна САМ программы

Программа используется для имитации движения по траектории инструмента, процесса удаления материала, обнаружения ошибок или неэффективных областей программ ЧПУ.

В качестве заготовки возьмем 1/4 часть цилиндра, который использовали при моделировании в САД программе, как представлено на рисунке 2.18. В качестве инструмента возьмем резьбофрезу, спроектированную в 3 главе. На рисунке 2.19 представлена модель резьбофрезы в САМ программе.

Трёхкоординатный станок с ЧПУ для моделирования получения резьбы выбираем из предложенных программой.

Управляющая программа для фрезерования резьбы:

```
G28 X0 Y0 Z0;  
G90 G54 T1 M6;  
M3 S700;  
G00 X0 Y0;  
G43 H1 Z50;  
M8;  
G1 Z0 F2000;  
Z-10 F100;  
X25.5 F50;  
G91 G3 X0 Y0 Z4 I-25.5 F100;  
G90 G54 X0 Y0;  
M9;  
G0 G28 Z0;  
M5;  
M30;%
```

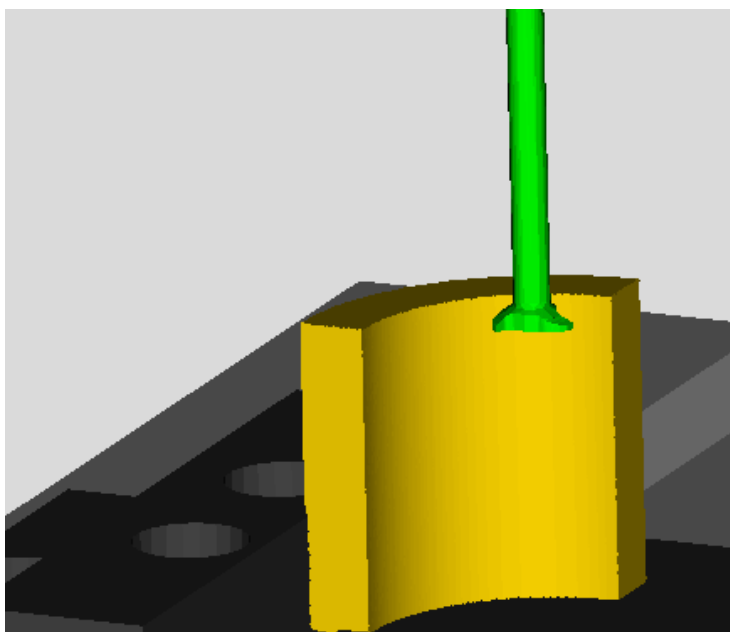


Рисунок 2.18 – Заготовка и режущий инструмент

В процессе выполнения управляющей программы, как представлено на рисунке 2.20, оператор видит все перемещения инструмента относительно

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

заготовки и приспособления, если происходит столкновение инструмента с приспособлением, либо инструмент врезается не на рабочей подаче в заготовку, то программа выдает ошибки.

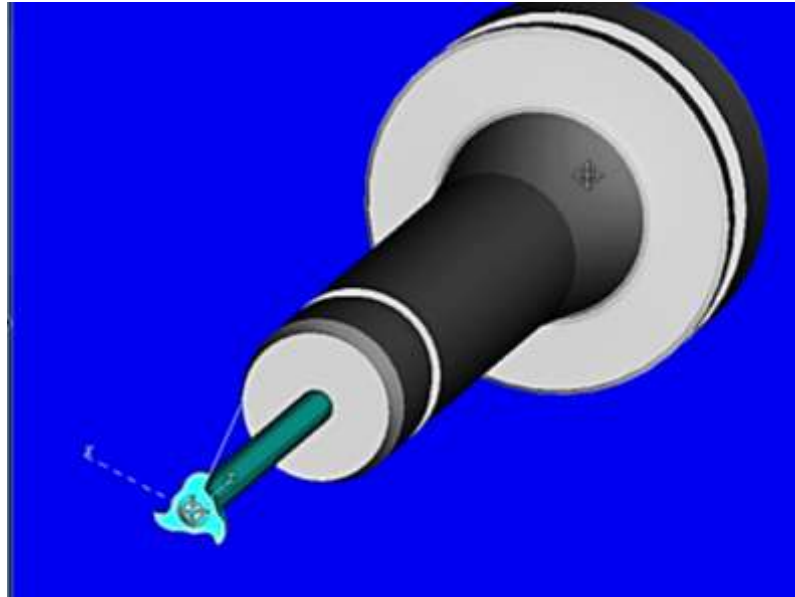


Рисунок 2.19 – Модель инструмента

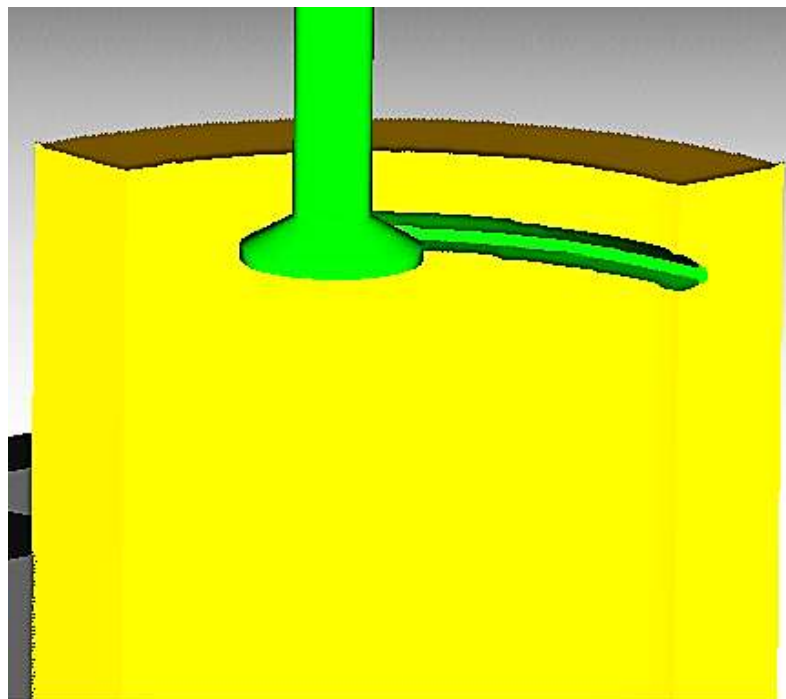


Рисунок 2.20 – Процесс обработки

Также возможно посмотреть на каком кадре управляющей программы происходят эти ошибки. После выполнения управляющей программы, возможно сохранить обработанную деталь и открыть с помощью CAD программы. На рисунке 2.21 представлена обработанная деталь.

На рисунке 2.22 представлен профиль резьбы. Акцентируем внимание на стороне с углом наклона 3 градуса, которая получилась путем аналитического расчета и в CAD CAM программах. Полученные профили совпадают, что означает правильность аналитического расчета.

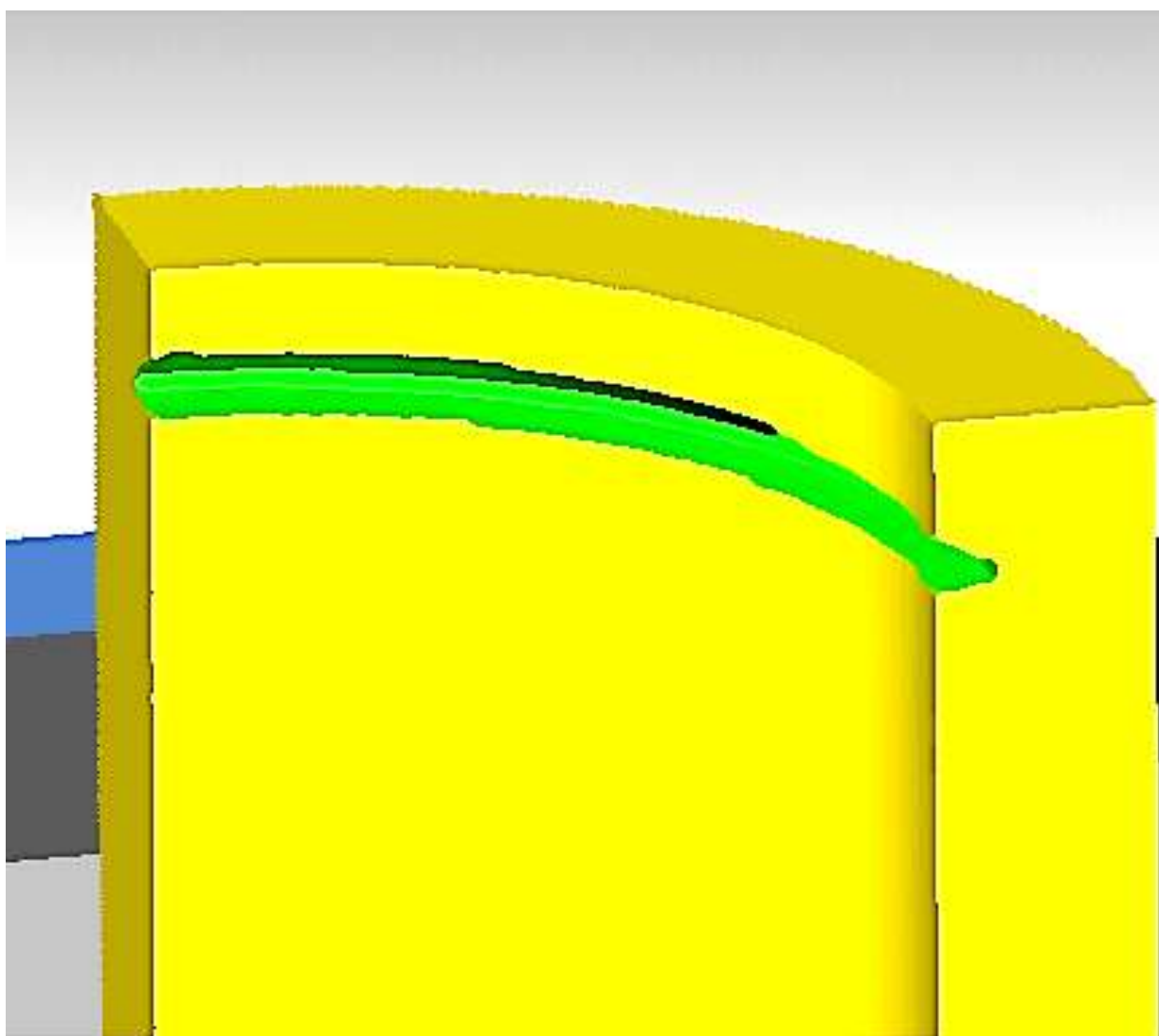


Рисунок 2.21 – Обработанная деталь

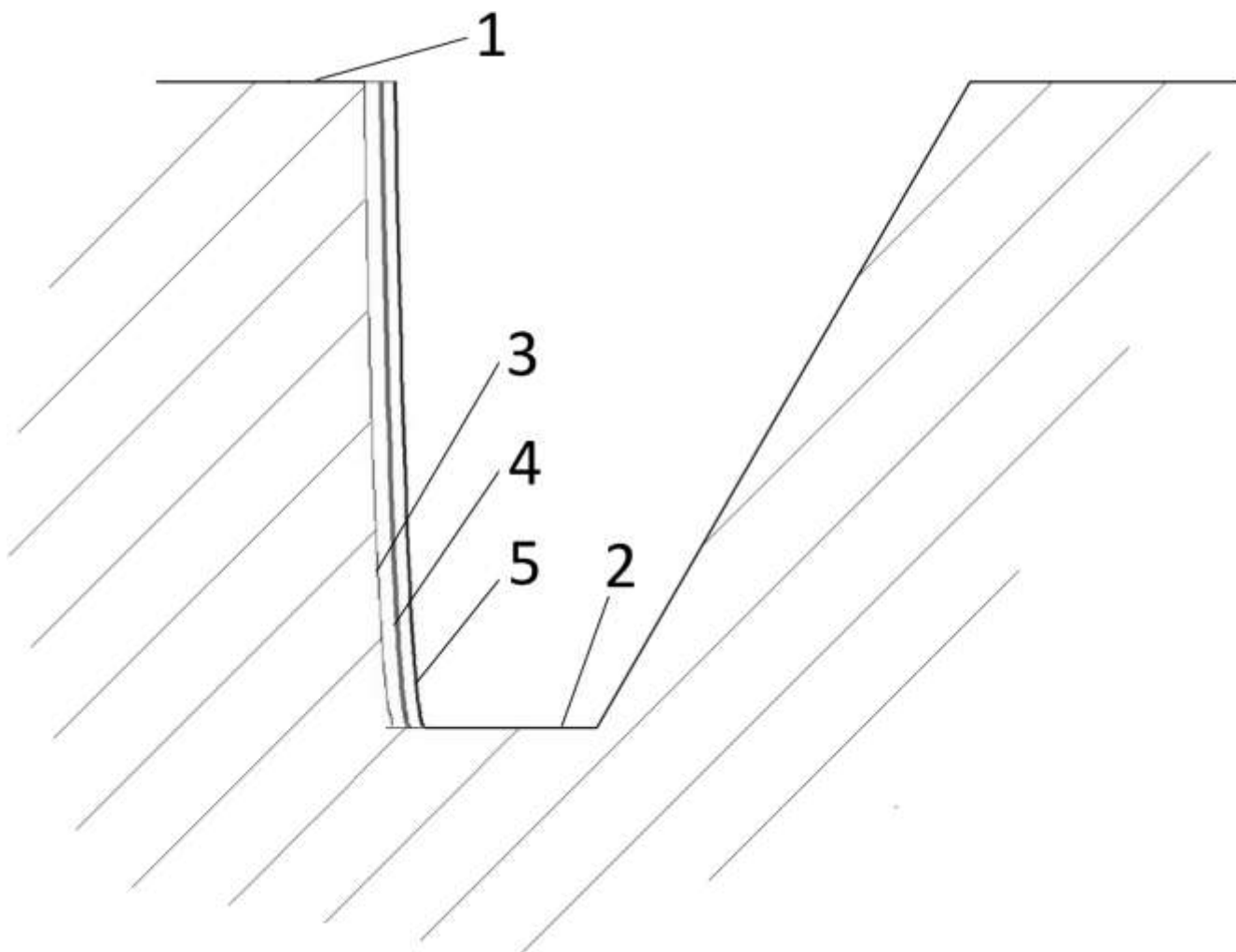
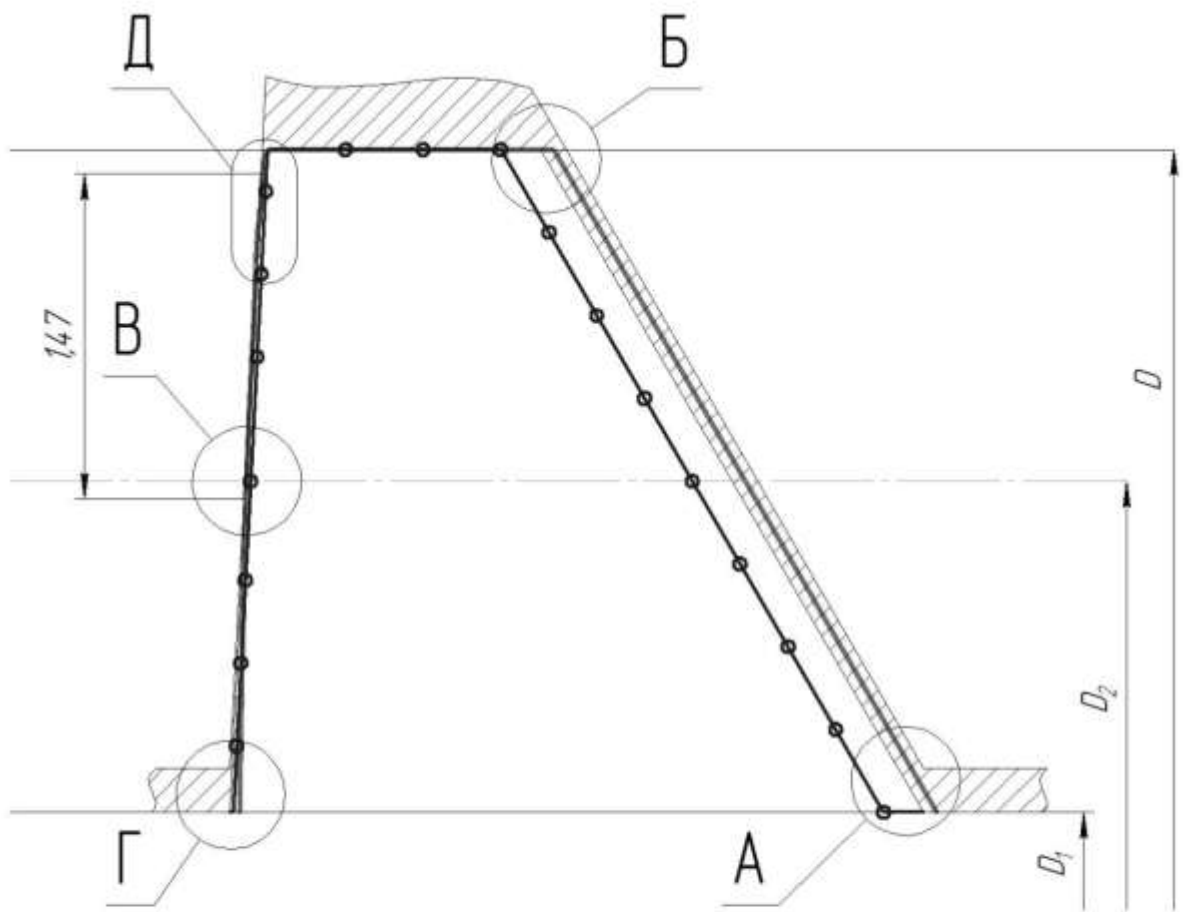


Рисунок 2.22 – Результаты моделирования: 1 – внутренний диаметр резьбы; 2– наружный диаметр резьбы; 3 – профиль, полученный аналитически; 4 – профиль, полученный в CAD программе; 5 – профиль, полученный в САМ программе

Построим поле допуска на резьбу [2, с. 2-13], подставим полученный профиль и сравним результат, что представлено на рисунке 2.23. Для лучшего обзора увеличим необходимые нам области, что представлено на рисунке 2.24.

Сравнив полученный профиль с полем допуска, делаем вывод, что из-за явления обката имеет место подрез профиля резьбы вершиной главной режущей кромки.



-  *Номинальный профиль*
-  *Полученный профиль*
-  *Поле допуска*

Рисунок 2.23 – Сравнение полученного профиля и поля допуска на резьбу

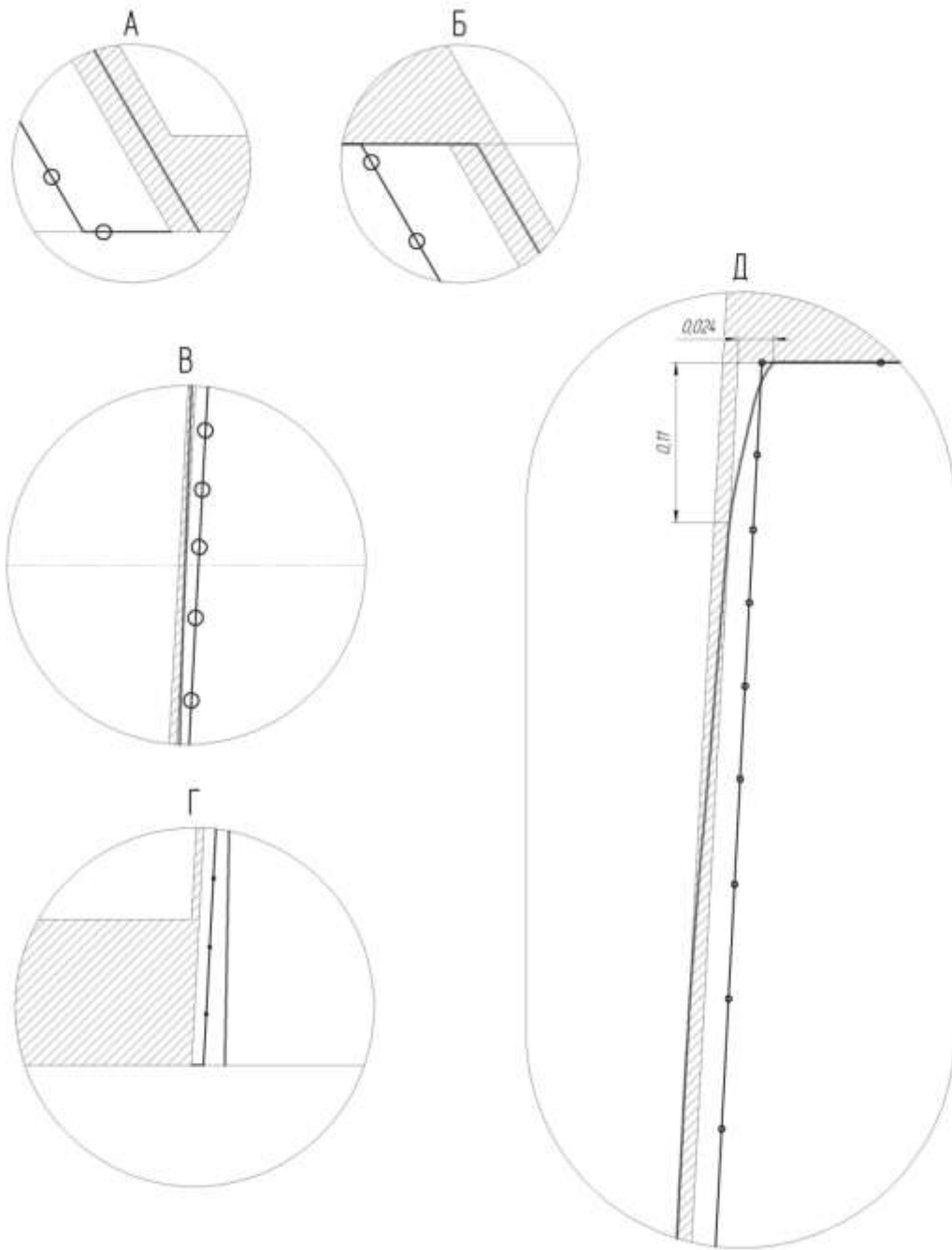


Рисунок 2.24 – Области А-Д

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150405.2017.375.00.00 ПЗ

Лист

54

2.4 Нарезание резьбы с увеличением межосевого расстояния

Получить профиль, попадающий в поле допуска на резьбу, возможно при увеличении межосевого расстояния A , представленного на рисунке 2.25.

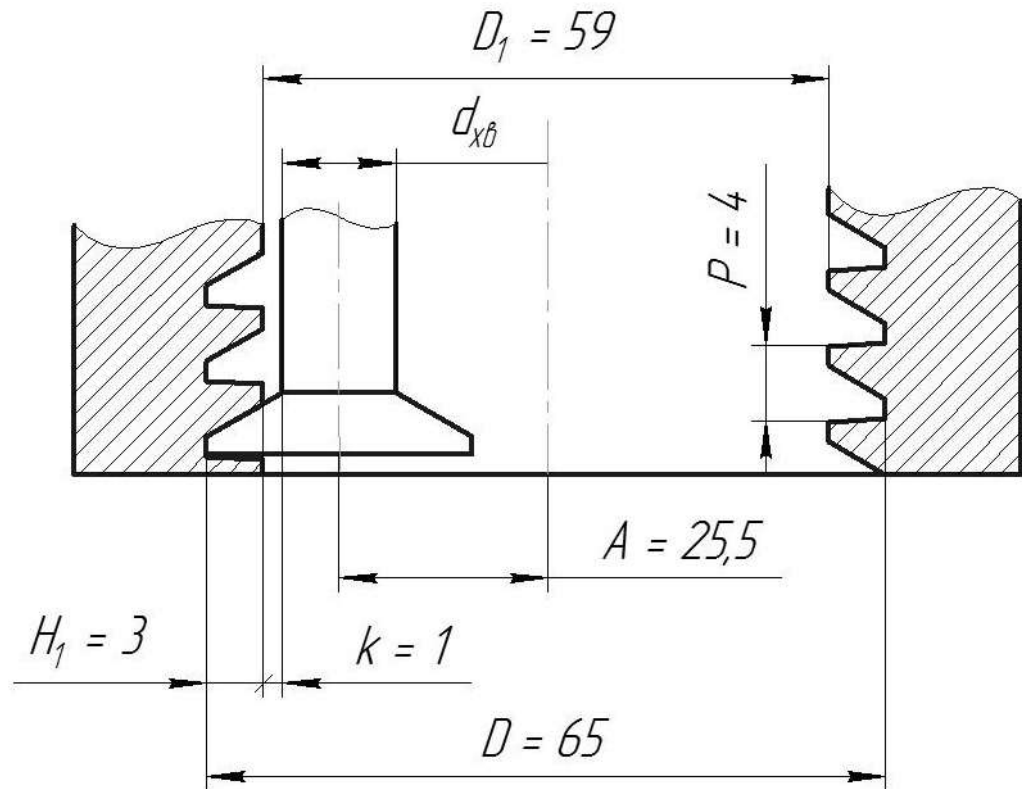


Рисунок 2.25 – Расчетная схема для межосевого расстояния

Как было отмечено выше, на рисунке 2.24, получаемый профиль сопровождается подрезом стороны с углом наклона 3 градуса из-за явления обката. Таким образом, если увеличить межосевое расстояние на величину подреза, то возможно получение профиля резьбы, соответствующей стандарту.

По ГОСТ 25096-82 допуск на внутренний диаметр $T_{d1} = 0,375$, соответственно возможно увеличить межосевое расстояние A до $0,5T_{d1}$. Также, при проектировании фрезы в 3 главе, на первом этапе, диаметр фрезы определялся с учетом зазора $k = 1$ между внутренним диаметром отверстия под резьбу и хвостовиком. Таким образом, можно изменить межосевое расстояние на величину до 1,18. Приняв межосевое расстояние $A = 25,7$, произведем моделирование получения профиля резьбы. Полученный профиль и поле допуска

									Лист
									55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	150405.2017.375.00.00 ПЗ				

на резьбу представлены на рисунке 2.26 и на рисунке 2.27 представлены увеличенные области. Полученный профиль попадает в поле допуска на резьбу, соответственно резьбофрезерование спроектированной фрезой для резьбы S 65.4 является возможным.



Рисунок 2.25 – Сравнение полученного профиля после увеличения межосевого расстояния и поля допуска на резьбу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150405.2017.375.00.00 ПЗ

Лист

56

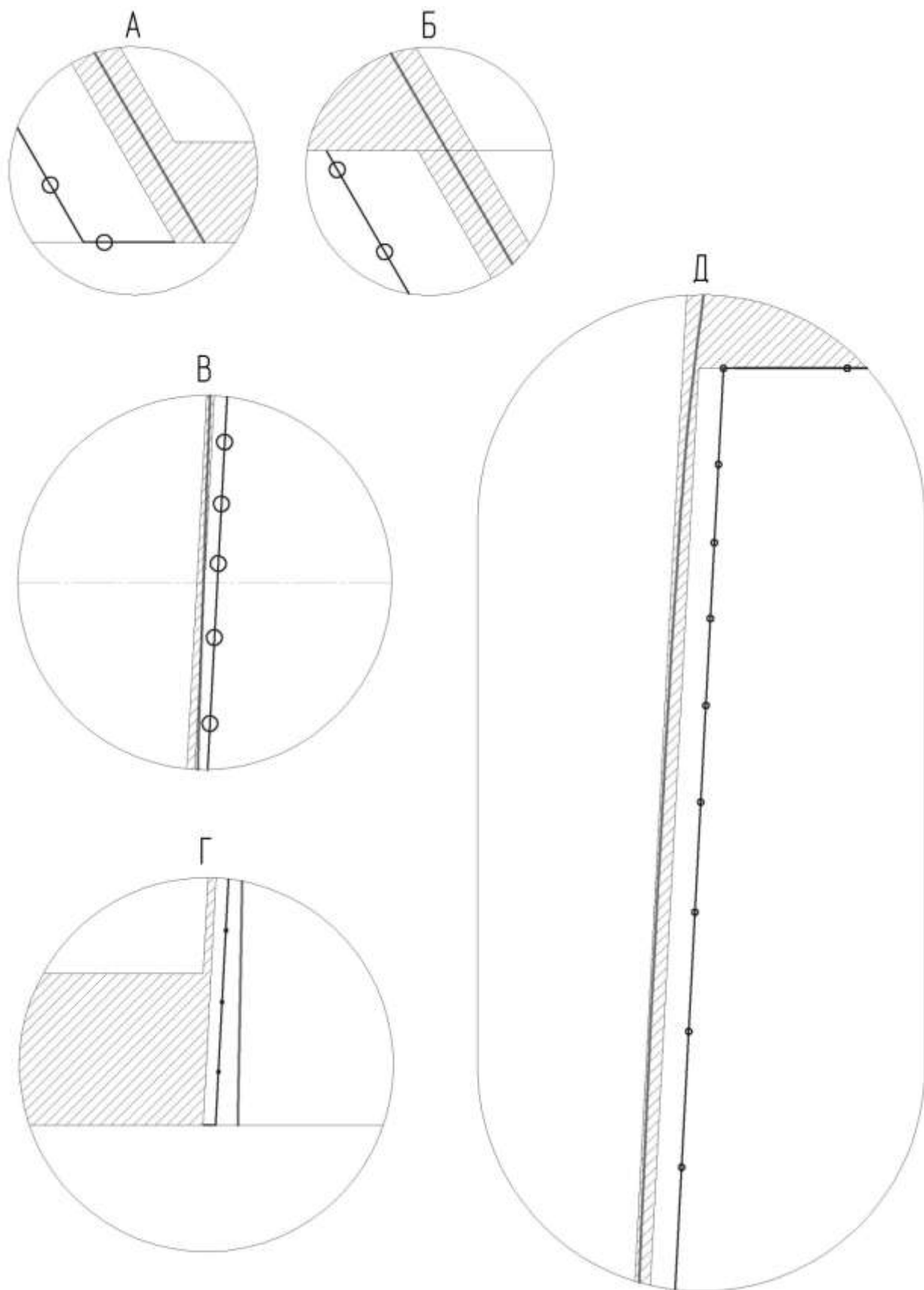


Рисунок 2.26 – Области А-Д для профиля с увеличенным межосевым расстоянием

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150405.2017.375.00.00 ПЗ

Лист

57

Вывод по разделу два

При рассмотрении фрезерования резьбы S 65.4 торцовая плоскость инструмента не участвует в процессе формообразования. Полученный профиль резьбы формирует вершина зуба фрезы. Сравнив полученный профиль и поля допусков резьбы, фрезерованием нашей специальной фрезой можно получить резьбу S 65.4, удовлетворяющую допускам на упорную резьбу.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Расчет и проектирование резьбовой фрезы для обработки резьбы упорного профиля.

Расчет и проектирование резьбовой фрезы будем производить согласно поэлементному принципу проектирования инструментов, изложенному, например, в опубликованной ранее работе [16].

3.1.1 Первый этап. Определение общих конструктивных размеров и параметров.

Исходя из анализа литературы и проведенных выше исследований, диаметр державки фрезы нужно выбирать наименьший. По каталогам известных производителей инструментов, таких как: Sandvik Coromant (Швеция), VARGUS (Израиль), например державка CV08–1250 (VARGUS) или 327–12B42EC–06 (Sandvik Coromant) имеют минимальный диаметр хвостовика:

$$d = 6 \text{ мм.}$$

Для проведения исследования, возьмем длину державки равную:

$$l = 145 \text{ мм.}$$

Диаметр вершин зубьев пластины принимаем минимально возможный, он складывается из:

$$D_{\text{фр}} = d + 2 H_1 + 2 k, \quad (3.1)$$

где $d = 6$ – диаметр хвостовика, мм;

$k = 1$ – отступ хвостовика инструмента от диаметра обрабатываемого отверстия, мм.

На рисунке 3.1 представлена схема для расчета диаметра вершин зубьев фрезы.

					150405.2017.375.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Тогда по формуле (4.1) диаметр вершин зубьев:

$$D_{\text{фр}} = 6 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 1 = 14 \text{ мм.}$$

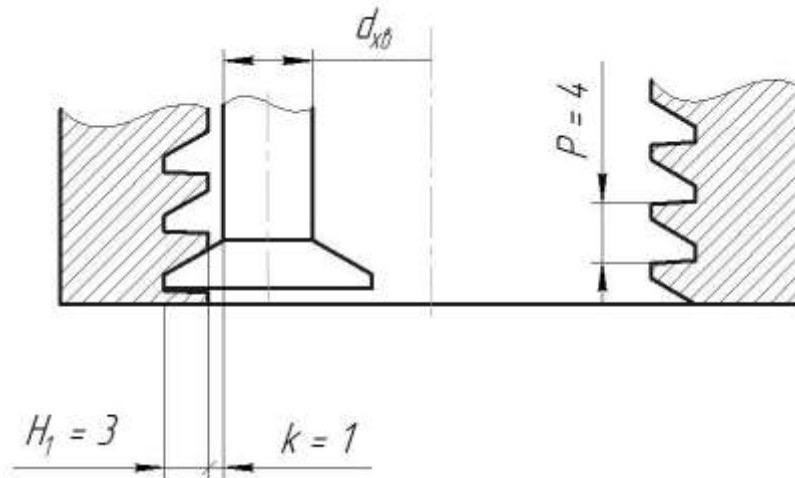


Рисунок 3.1 – Размеры для расчета диаметра фрезы

Размеры подобной пластины производителя Sandvik Coromant (Швеция):

- Толщина $s = 6$ мм;
- Диаметр отверстия $d_1 = 3$ мм;

Передача крутящего момента от шпинделя станка осуществляется за счет лыски на державке, представленной на рисунке 3.1.

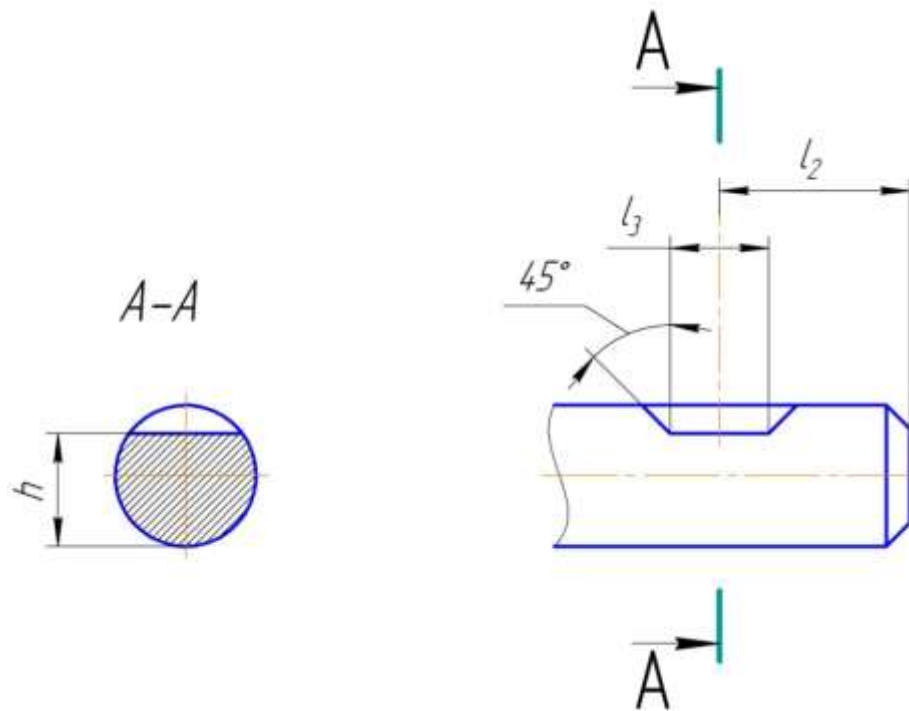


Рисунок 3.1 – Лыска на державке

По ГОСТ 25334-94 [17, с. 5] размеры лыски:

$$h = 4,8_{-0,4} \text{ мм};$$

$$l_2 = 18_{-1} \text{ мм};$$

$$l_3 = 4,2^{+0,05} \text{ мм}.$$

Подобного рода инструменты и способы крепления применяются в компании Sandvik Coromant (Швеция). Эти решения целесообразно применить и для нашей фрезы. Крепление пластины к державке осуществляется вставкой пластины в пазы державки, расположенные с угловым шагом 120° и винтом А2.М2,5LN-6gx6.88.40X.016 ГОСТ 17474-80. Общий вид крепления и размеры пазов показаны на рисунке 3.2.

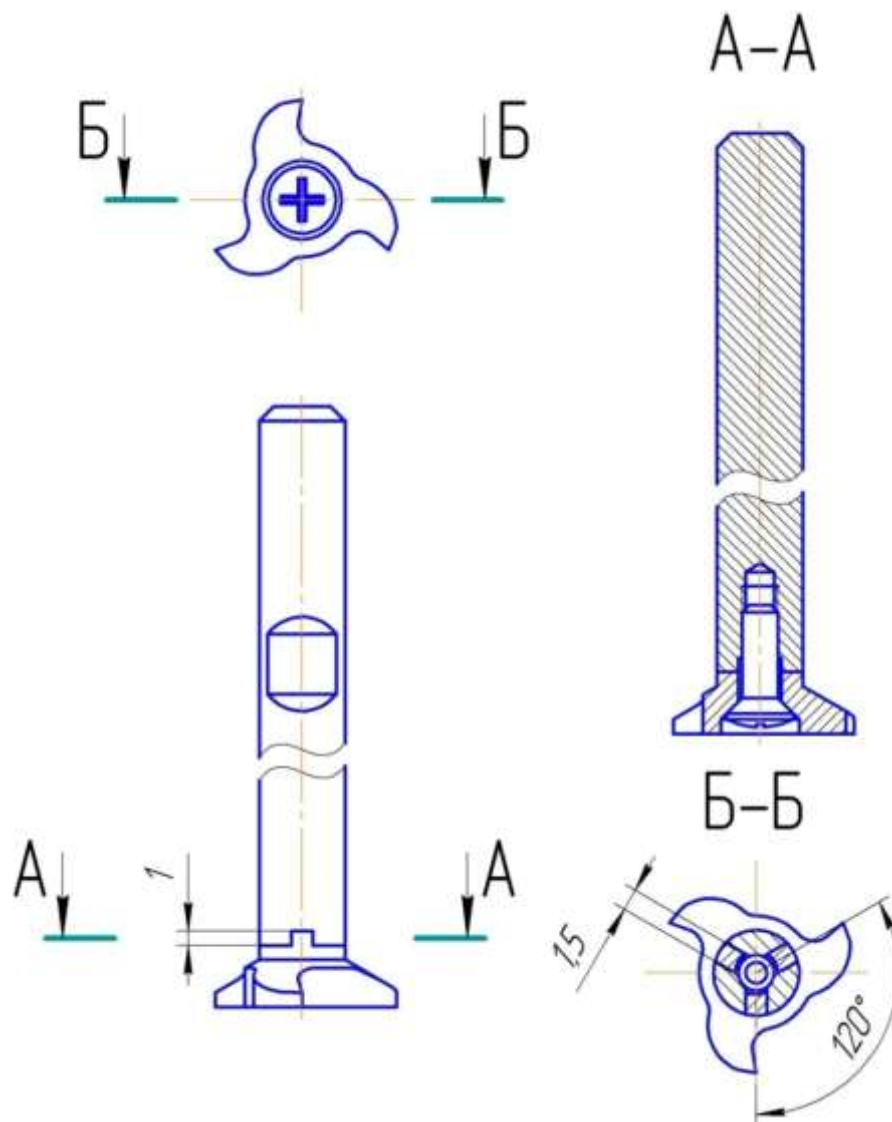


Рисунок 3.2 – Крепление пластины к державке

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150405.2017.375.00.00 ПЗ

Лист

61

Производители инструмента Sandvik Coromant (Швеция), VARGUS (Израиль) для фрезерования резьб державками диаметром 6 мм изготавливают пластины с числом зубьев $z = 3$. Примем для нашей пластины число зубьев $z = 3$.

Размеры отверстия в пластине выбираются в зависимости от винта так, чтобы винт при закрепленной пластине в хвостовике не выступал за торец пластины.

Размеры винта представлены на рисунке 3.3.

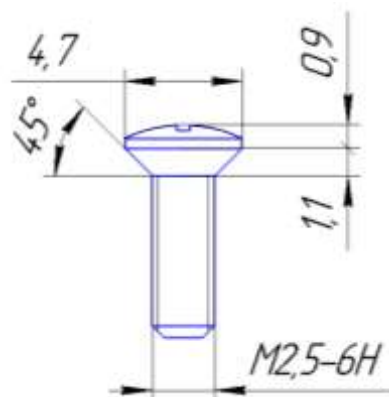


Рисунок 3.3 – Винт

3.1.2 Второй этап. Определение геометрических параметров лезвий

Геометрические параметры лезвия будем выбирать по книге Баранчикова В.И. «Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов» [13, с. 224]. Передний и задний угол для обработки материалов II группы:

$$\gamma = 10^\circ \dots 15^\circ;$$

$$\alpha = 12^\circ \dots 20^\circ.$$

Возьмем средние значения углов:

$$\gamma = 12^\circ;$$

$$\alpha = 16^\circ.$$

3.1.3 Третий этап. Профилирование

									Лист
									62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	150405.2017.375.00.00 ПЗ				

Профилирование является основной задачей выпускной квалификационной работы и подробно рассмотрено во втором разделе.

3.1.4 Четвертый этап. Выбор инструментального материала

Материал заготовки В95 ГОСТ 4784-97 относится ко II группе обрабатываемости материалов [13, с. 16]. Инструментальный материал для обработки групп цветных металлов с I-III при виде работы фрезерования, является ВК6 ГОСТ 3882-74 [13, с. 57].

3.1.5 Пятый этап. Расчет на прочность

Расчет на прочность в рамках выпускной квалификационной работы не предусмотрен.

3.1.6 Шестой этап. Назначение исполнительных размеров, допусков и технических требований

Инструмент имеет специфичную конструкцию и не имеет ГОСТа. Поэтому воспользуемся наиболее похожими конструкциями фрез – концевые фрезы с механическим креплением пластин.

По ГОСТ 28436-90 [19] технические требования для фрез:

1. Корпус, винт из стали марки 40Х ГОСТ 4543.
2. Твердость корпуса 42...46 HRCэ.
3. Параметр шероховатости Ra по ГОСТ 2789 для гнезда под пластину, опорных поверхностей винта, боковых поверхностей опорной пластины – не более 2,5 мкм; верхней и нижней поверхностей опорной пластины, цилиндрической поверхности хвостовика – не более 0,8 мкм.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>63</i>

4. Поверхности деталей фрез, кроме шлифованных должны иметь покрытие Хим. окс. прм. По ГОСТ 9.306.

5. Зазоры между опорными поверхностями пластины и корпуса фрезы под режущей кромкой не допускаются.

6. Поле допуска диаметра цилиндрического хвостовика по ГОСТ 25334-94 [17] – $h6$.

7. В качестве режущей части должны применяться сменные многогранные твердосплавные пластины по ГОСТ 19045. Технические требования по ГОСТ 19086.

По ГОСТ 19086-80 [20, с. 2] для допуска M круглых пластин с наружным диаметром от 12 мм до 22 мм, предельные отклонения:

$$D_{\text{фр}} = 14 \pm 0,1 \text{ мм};$$

$$s = 6 \pm 0,13 \text{ мм};$$

$$d_1 = 3 \pm 0,1 \text{ мм}.$$

Параметр шероховатости поверхности Ra [20, с. 6]:

- Передняя – Ra не более 0,32 мкм;
- Опорные – Ra не более 0,63 мкм;
- Задняя – значение не регламентируется.

3.2 Разработка чертежей корпуса и пластины резьбовой фрезы

3.2.1 Чертеж корпуса

Занесем полученные выше размеры корпуса резьбовой фрезы в таблицу 3.1.

На рисунке 3.4 представлен чертеж хвостовика резьбовой фрезы.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64

Таблица 3.1 –Размеры хвостовика резьбовой фрезы

№	Часть корпуса	Параметр	Значение
1	Основная	Длина, мм	145
2		Диаметр, мм	6 _{-0,008}
3		Шероховатость, мкм	0,8
4	Лыска	h , мм	4,8 _{-0,4}
5		l_2 , мм	18 ₋₁
6		l_3 , мм	4,2 ^{+0,05}
7	Пазы	Толщина, мм	1,5
8	Пазы	Глубина, мм	1
9		Угловой шаг, град	120 ± 1
10		Шероховатость посадочной поверхности для пластины, мкм	0,8
11		Шероховатость опорной поверхности для пластины, мкм	2,5
12	Крепежное отверстие	Диаметр резьбы	M2,5
13		Точность резьбы	6H
14		Фаска, мм	0,25x45°
15	Общая шероховатость, мкм		6,3

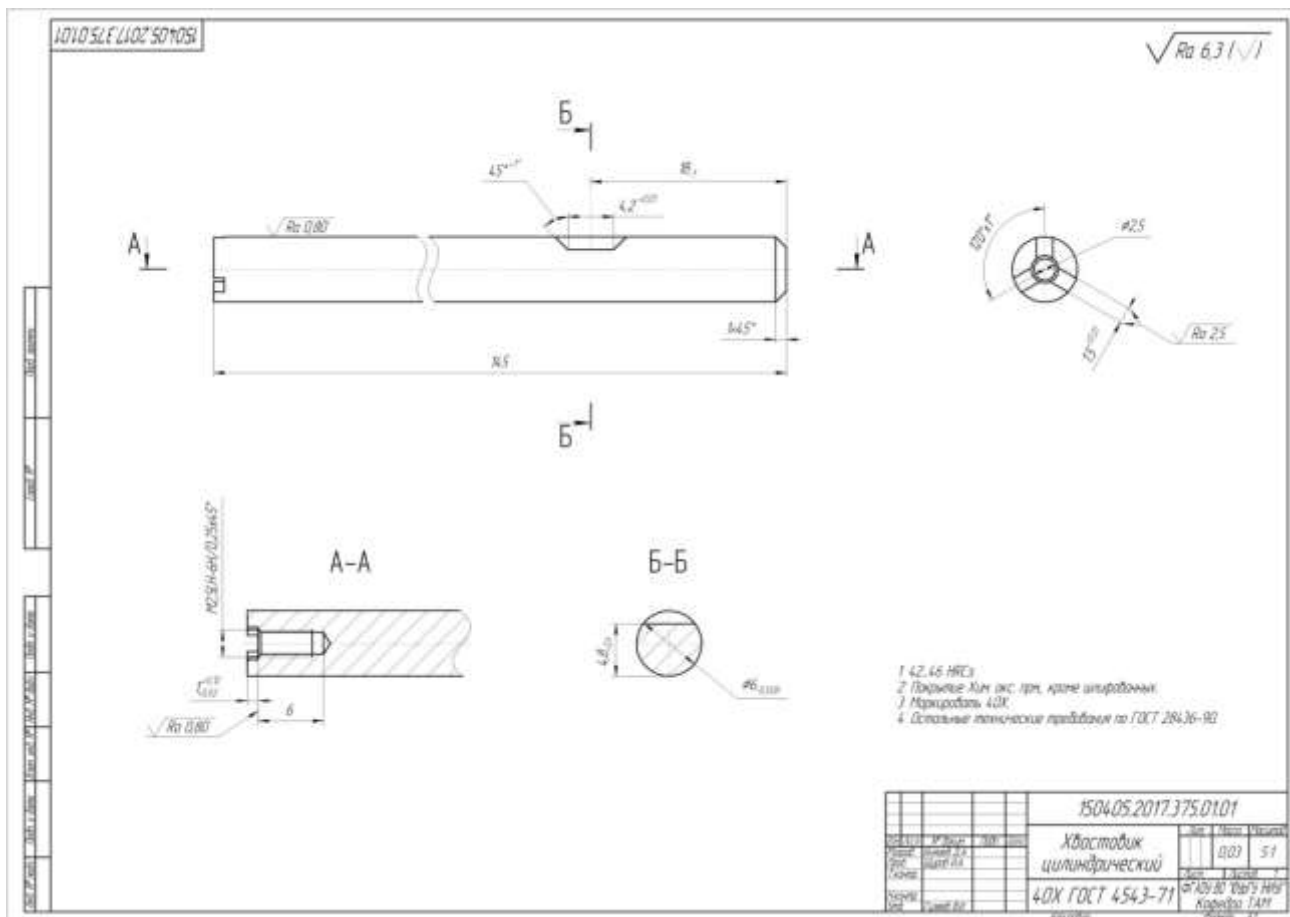


Рисунок 3.4 – Чертеж хвостовика

3.2.2 Чертеж твердосплавной пластины

Размеры сменной твердосплавной пластины занесем в таблицу 3.2. На рисунке 3.5 представлен чертеж твердосплавной пластины.

Таблица 3.2 – Размеры твердосплавной пластины

№	Параметр	Значение
1	Толщина, мм	$6 \pm 0,13$
2	Диаметр вершины зубьев, мм	$14 \pm 0,1$
3	Число зубьев	3
4	Угловой шаг зубьев, град	120 ± 1
5	Диаметр отверстия под головку винта, мм	5,5

Окончание таблицы 3.2

6	Глубина от под головку винта, мм	1
7	Диаметр крепежного отверстия, мм	3
8	Ширина пазов, мм	1,5
9	Глубина пазов, мм	1
10	Угловой шаг пазов, мм	120 ± 1
11	Шероховатость посадочных поверхностей, мкм	0,63
12	Длина главной режущей кромки, мм	1
13	Диаметр впадины стружечной канавки, мм	8
14	Переходные радиусы канавки, мм	3,5
15		1
16		1,5
17	Задний угол, град	16 ± 1
18	Передний угол, град	12 ± 1
19	Шероховатость передней поверхности, мкм	0,32
20	Радиус вершины зуба, мм	0,02
21	Общая шероховатость, мкм	1,6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы выяснили факторы, влияющие на точность резьбы. Разработали фрезу для упорной резьбы и рассмотрели процесс формообразования торцовой плоскостью и вершиной резьбовой фрезы.

На примере резьбы $S 65.4$ рассмотрели работу разработанной фрезы и получили положительный результат. Таким образом, спроектированной фрезой возможно получение упорных резьб с шагом 4 мм диаметров от 65 и выше. Вывели формулы для описания схемы формообразования, которые можно использовать для дальнейших исследований в области планетарного резьбофрезерования.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		69

CONCLUSION

As a result we have found the factors affecting the accuracy of the thread. Developed to buttress thread mill and reviewed the process of forming a face plane and the top thread cutter. For example the thread S 65.4 mills reviewed the work developed and received a positive result. In this way, the projected mill may receive buttress thread with a pitch of 4 mm diameter and 65 above. We derived a formula to describe the scheme of formation, which can be used for further research in the field of planetary thread milling.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		70

22. <http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/technical%20guides/ru-ru/c-2920-031.pdf>

27. Стандарт предприятия. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к оформлению. СТП ЮУрГУ 04–2001 / Н.В. Сырейщикова, В.И. Гужеев, И.В. Сурков, Л.В. Винокурова. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 49 с.

28. <http://forum.topwar.ru/topic/3679-kolyosnaya-bronetehnika-btr-perspektivy-razvitiya.html>

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

Координата y0 расчетных точек

$$i := 0..6 \quad y0_i := 0$$

$$i := 7..8 \quad y0_i := -a + (9 - i)$$

$$i := 9..10 \quad y0_i := -a - H1 + (11 - i) + \tan(\psi_{\text{rad}})$$

$$i := 11 \quad y0_i := -a - 0.5 \cdot (Dvz - dhv) + \tan(\psi_{\text{rad}})$$

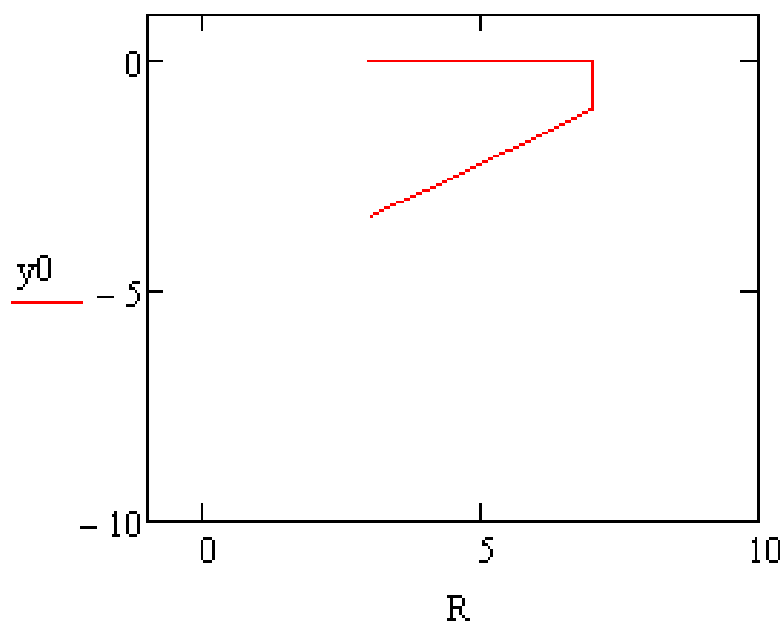
$$i := 0..11 \quad y0_i =$$

0
0
0
0
0
0
0
0
-0.528
-1.055
-1.921
-2.787
-3.365

$$i := 0..11 \quad R_i =$$

3
4
4.6
5.2
5.8
6.4
7
7
7
5.5
4
3

Профиль фрезы:



Межцентровое расстояние $A := 0.5 \cdot (D0 - Dvz)$

Расчет формообразования торцовой плоскостью

$$\psi := 90 \quad \psi_{\text{rad}} := \psi \cdot \pi \div 180$$

$$\theta_{\text{rad}} := -\text{asin}(\tan(\psi_{\text{rad}}) \cdot p \div A) \quad \theta := \theta_{\text{rad}} \cdot \frac{180}{\pi} \quad \theta = -90 + 1.967i \times 10^3$$

Нет контакта.

					<i>150405.2017.375.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Расчет формообразования вершиной

$$R\phi := \frac{D_{vz}}{2} \quad p = 0.637$$

$$i := 0..9$$

$$\theta_{grad}_i := 270 + i \cdot 10 \quad \theta_{rad}_i := \theta_{grad} \cdot \pi \div 180$$

$$A := 0.5 \cdot (D_0 - D_{vz})$$

$$y_0 := 0$$

$$x_0 := R\phi \cdot \sin(\theta_{rad})$$

$$z_0 := R\phi \cdot \cos(\theta_{rad}) + A$$

$$\phi_{rad} := \operatorname{atan}\left(\frac{-z_0}{x_0}\right)$$

$$\phi_{grad} := \phi_{rad} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$x_1 := p \cdot \phi_{rad} - y_0$$

$$y_{1_i} := x_{0_i} \cdot \cos(\phi_{rad}_i) - z_{0_i} \cdot \sin(\phi_{rad}_i)$$

$$z_1 := 0$$

	0
0	270
1	280
2	290
3	300
4	310
5	320
6	330
7	340
8	350
9	360

$\theta_{grad} =$

	0
0	74.65
1	75.531
2	76.731
3	78.193
4	79.866
5	81.705
6	83.672
7	85.732
8	87.851
9	90

$\phi_{grad} =$

$x0 =$

	0
0	-7
1	-6.894
2	-6.578
3	-6.062
4	-5.362
5	-4.5
6	-3.5
7	-2.394
8	-1.216
9	$-1.714 \cdot 10^{-15}$

$x0 =$

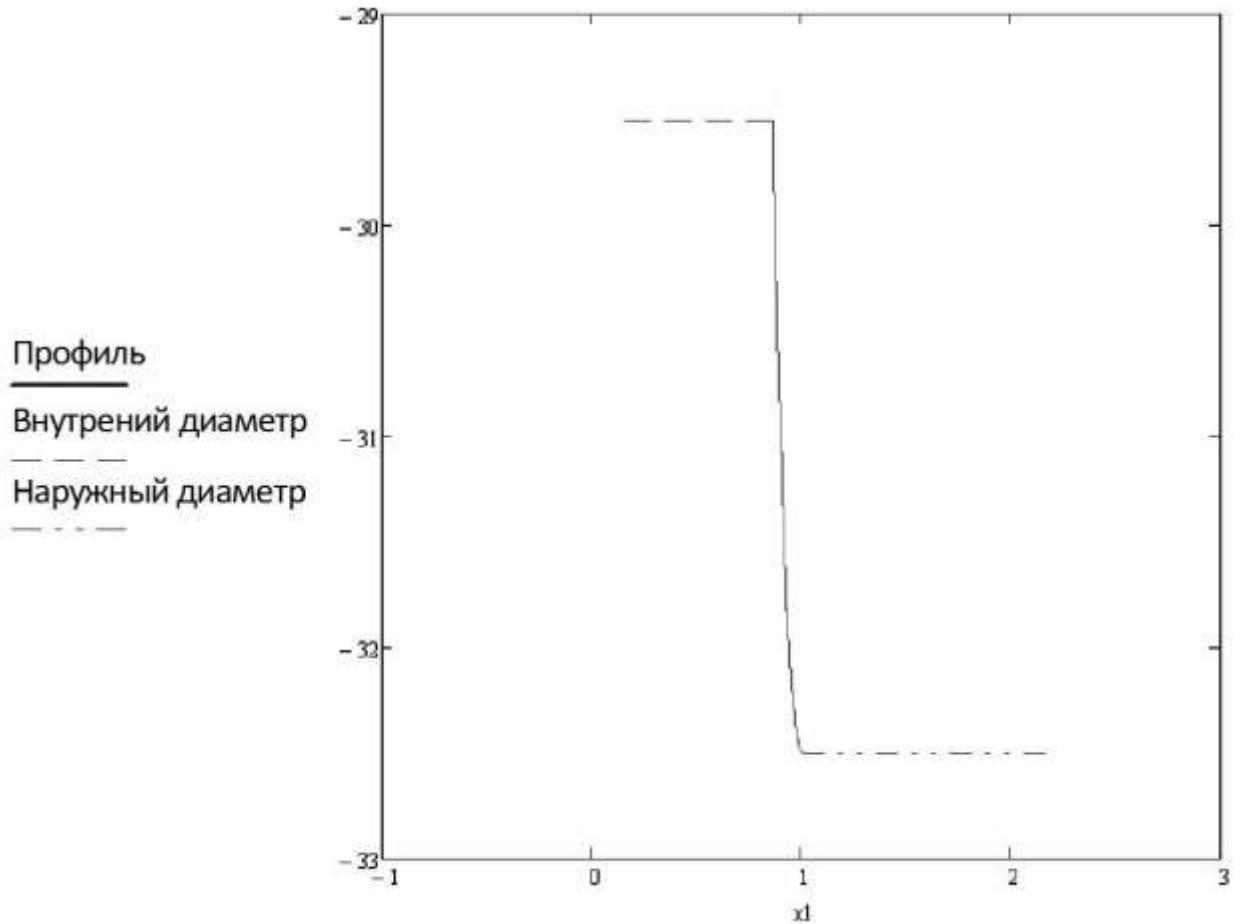
	0
0	25.5
1	26.716
2	27.894
3	29
4	30
5	30.862
6	31.562
7	32.078
8	32.394
9	32.5

$y1 =$

	0
0	-26.443
1	-27.591
2	-28.659
3	-29.627
4	-30.475
5	-31.189
6	-31.756
7	-32.167
8	-32.416
9	-32.5

$x1 =$

	0
0	0.829
1	0.839
2	0.853
3	0.869
4	0.887
5	0.908
6	0.93
7	0.953
8	0.976
9	1



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

150405.2017.375.00.00 ПЗ

Лист

78