

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

Направление 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Профиль «Технология машиностроения»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Разработка технологии изготовления ультразвуковых колебательных систем сложной формы

Студент(ка)	Е.В. Буцаев	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	А.С. Селиванов	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	Л.Н. Горина	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	Н.В. Зубкова	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	В.Г. Виткалов	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Допустить к защите

И.о. заведующего кафедрой
к.т.н, доцент

_____ А.В. Бобровский
(личная подпись)

« _____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы изготовления волноводов сложной геометрической формы для ультразвуковых колебательных систем. В проекте проанализированы основные типы волноводов, их роль и функции в ультразвуковых системах. Спроектированы технологические операции механической обработки на станках с ЧПУ, при этом особое внимание уделено вопросам проектирования токарных операций с ЧПУ, в частности организации циклов интерполяции.

Содержание

Аннотация	2
Содержание	3
Введение	5
1. Классификация и назначение волноводов для ультразвуковых колебательных систем	6
1.1 Назначение волноводов для ультразвуковых колебательных систем	6
1.2 Основные типы и классификация волноводов для ультразвуковых колебательных систем	7
2. Разработка технологии изготовления ультразвуковых волноводов сложной формы	10
2.1 Проектирование технологических операций механической обработки	10
3. Разработка циклов интерполяции в системе ЧПУ FlexNC для обеспечения точности обработки контура волноводов	20
3.1 Общие понятия о интерполяции в системах числового программного управления	20
3.2 Разработка цикла сплайн интерполяции в контроллере движения Turbo PMAC станка с ЧПУ 16Б16П	25
4. Моделирование точности обработки заданного контура волновода при обработке на станке с ЧПУ	30
4.1 Постановка задачи моделирования. Разработка расчетной схемы	30
4.2 Методика и результаты моделирования точности контура обработки детали	32
5. Безопасность и экологичность работы	34
5.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта	34
5.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков	35
5.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков	36
5.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)	36
5.4.1 Идентификация опасных факторов пожара	36
5.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического	

объекта	37
5.4.3. Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара	39
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта	39
5.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта	40
5.5.2 Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта	41
5.6 Заключение по разделу	41
6. Экономическая эффективность работы	43
6.1 Калькуляция себестоимости технологии ультразвуковой сборки	43
6.2. Расчет показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологии	44
Заключение	46
Список используемой литературы	47
Приложения	48

Введение

Одной из главных задач современного машиностроительного производства является совершенствование существующих технических решений и поиск новых для обеспечения качества выпускаемой продукции в постоянно изменяющихся внешних условиях.

В последнее время в технологиях механической обработки наметилась тенденция в разработке комбинированных методов обработки, при которых наряду с традиционной технологией вводится дополнительный источник концентрированной энергии. Одним из перспективных направлений комбинированной обработки являются ультразвуковые технологии. Для их эффективного внедрения требуется соответствующее техническое оснащение, в частности ультразвуковые колебательные системы различной мощности. При этом к таким системам предъявляются особые требования по точности их изготовления с которой связаны амплитудно-частотные характеристики системы в целом. Кроме того, учитывая, что для определенного технологического назначения требуется своя, настроенная на резонанс ультразвуковая система, что требует разработки некоторых общих принципов как проектирования таких систем, так и их изготовления.

Таким образом, целью работы является повышение эффективности изготовления ультразвуковых волноводов для ультразвуковых технологических систем.

1. Классификация и назначение волноводов для ультразвуковых колебательных систем

1.1 Назначение волноводов для ультразвуковых колебательных систем

Волноводы (концентраторы колебаний) являются неотъемлемой частью ультразвуковых колебательных систем и предназначены для передачи и усиления ультразвуковых колебаний в технологическую среду. На рис. 1.1 приведена типовая схема и составные части ультразвуковой колебательной системы (УЗКС).

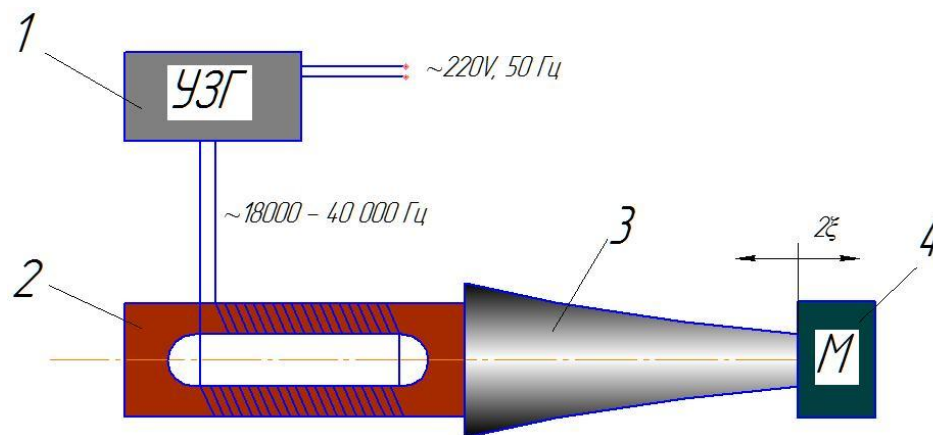


Рис. 1.1 Схема и составные части ультразвуковой колебательной системы

УЗКС состоит из ультразвукового генератора 1, предназначенного для преобразования электрического тока с промышленной частоты 50 Гц на частоту свыше 18 кГц (ультразвуковой диапазон частот); магнитострикционного или пьезокерамического преобразователя 2, предназначенного для электромеханического и механоакустического преобразования и собственно ультразвукового волновода 3 для трансформации ультразвуковой энергии в технологическую нагрузку 4. Вся ультразвуковая система настроена на резонансную частоту, т.е. все звенья системы работают на согласованной частоте, благодаря чему достигается высокая эффективность ввода ультразвуковой энергии в различного рода среды. Ультразвуковые волноводы в простейшем случае представляют собой однородные упругие стержни, в которых переда-

ются волны напряжений в одном направлении – по длине волновода, при этом в зависимости от формы волновода на выходе достигается более высокая интенсивность плотности упругой энергии, что выражается в увеличении амплитуды смещения и колебательной скорости.

Рассмотрим более подробно типовые формы ультразвуковых волноводов.

1.2 Основные типы и классификация волноводов для ультразвуковых колебательных систем

Ультразвуковые волноводы, как было отмечено выше, представляют собой однородные стержни кругового сечения, причем с необязательно постоянным сечением по его длине, т.е. имеют определенную образующую, как функцию по длине стержня. Наиболее типовые формы волноводов, встречающиеся в ультразвуковых технологических аппаратах: конические волноводы, экспоненциальные, катеноидальные, ступенчатые и каплевидные (рис. 1.2).

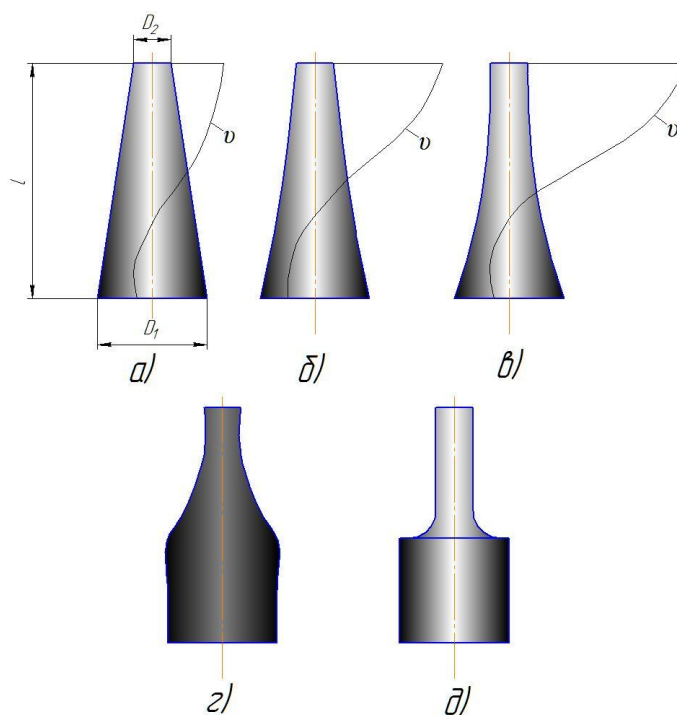


Рис. 1.2 Основные формы ультразвуковых волноводов

Различают также волноводы с более сложной формой образующей. На рис. 1.3 представлены некоторые 3D модели ультразвуковых волноводов, разрабатываемые фирмой Dukane (Германия)

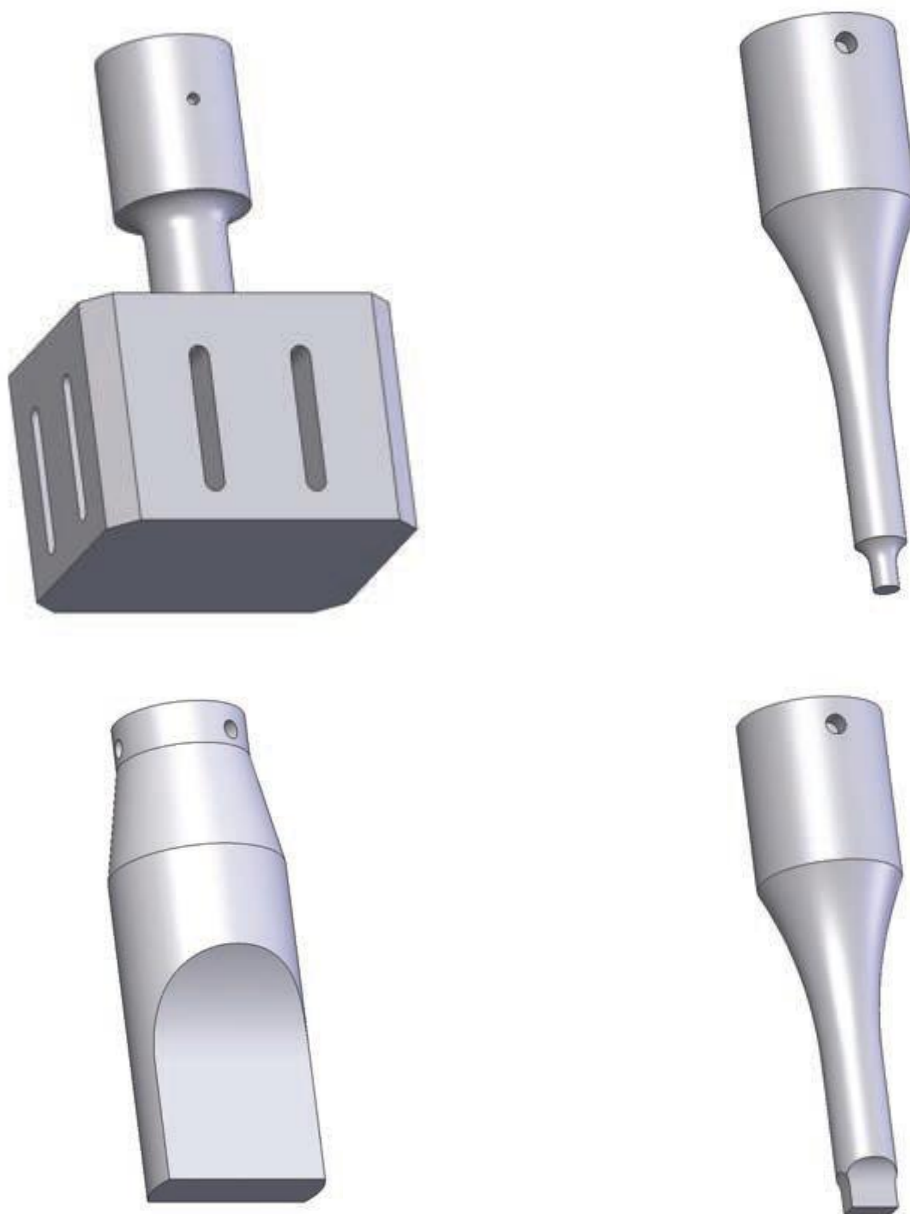


Рис. 1.3 Ультразвуковые волноводы фирмы Dukane (Германия)

Форма волновода в конечном итоге определяет выходные амплитудные характеристики ультразвуковой системы (амплитуда смещения и скорости). На рис. 1.4 приведены эпюры распределения амплитуды скорости и напряжений по длине некоторых типов волноводов по данным работы [].

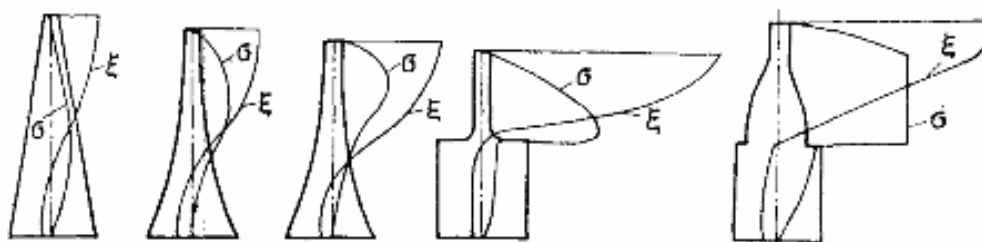


Рис. 1.4 Эпюры распределения амплитуды смещения ξ и механических напряжений σ в ультразвуковых волноводах: а) конического; б) экспоненциального; в) катеноидального; г) ступенчатого; д) ампульно-ступенчатого

Как можно заметить из рисунков амплитуда смещения и напряжений существенно зависят от формы волноводов. Более того, по эпюрам распределения напряжений видны потенциально слабые сечения волноводов, что требует разработки технологий механической обработки нивелирующих опасность разрушения в этих местах. Кроме того, определенное влияние на долговечность работы оказывает материал из которого изготовлен волновод. В практике изготовления волноводов большее распространение получили высокопрочные легированные стали, типа 30ХГС, титановые сплавы ВТЗ-1 и дюралюминиевые сплавы типа Д16Т.

2. Разработка технологии изготовления ультразвуковых волноводов сложной формы

2.1 Проектирование технологических операций механической обработки

Разработку технологии изготовления ультразвуковых волноводов рассмотрим на примере изготовления волновода экспоненциальной формы (рис. 2.1). Данная конструкция волновода используется в технологических аппаратах для ультразвуковой сварки пластиков и других ультразвуковых устройств, где требуется создать точечный контакт со средой. Волновод изготавливается из титанового сплава ВТЗ-1 ГОСТ 19807-74. Из анализа чертежа следует, что деталь полностью можно обработать на токарной операции в два технологических установа на станке с ЧПУ и фрезерной операции по обработке пазов и лысок.

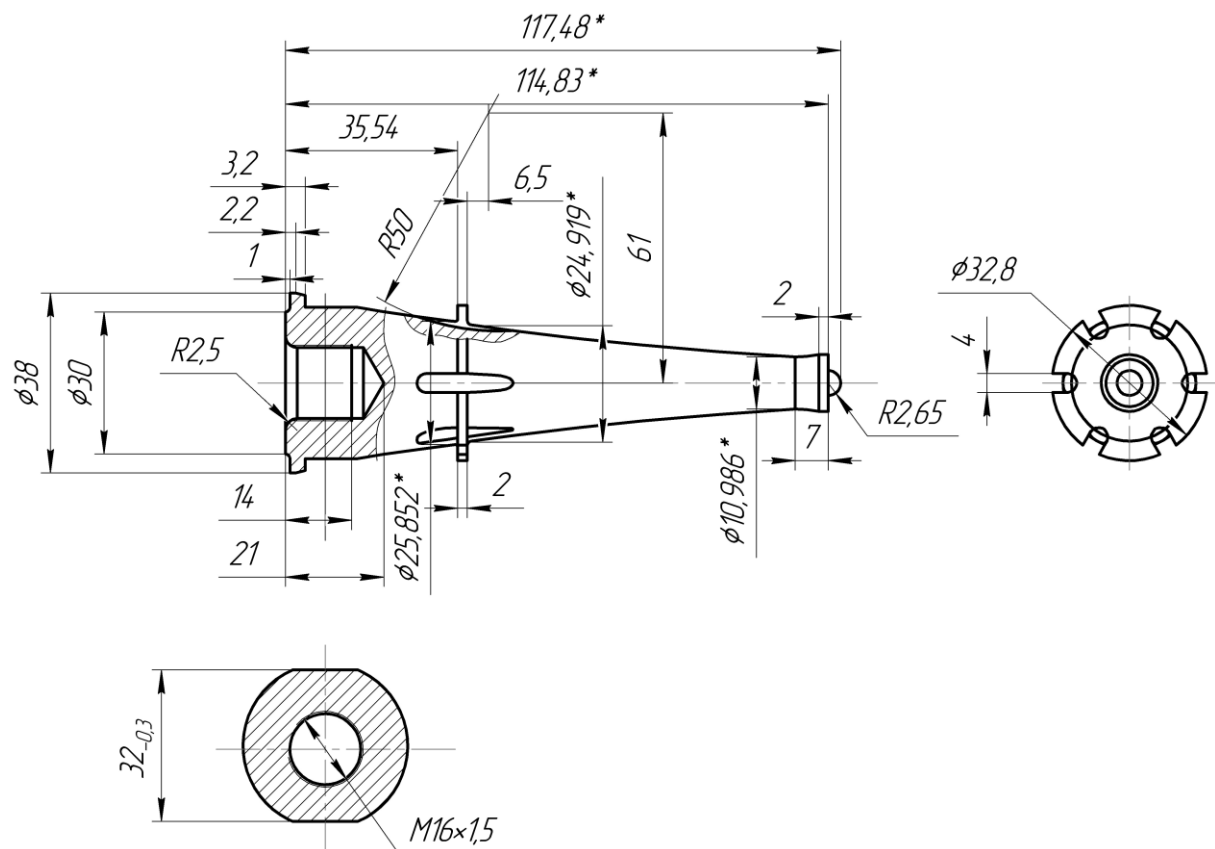


Рис. 2.1 Чертеж ультразвукового волновода
с экспоненциальным профилем

Учитывая, что фрезерные операции по обработке пазов и лысок являются типовыми, например, при обработке деталей типа тел вращения, то более подробно рассмотрим и спроектируем токарные операции.

В качестве заготовки используем сортовой прокат Ø 40 мм. В качестве технологического оборудования на токарной операции используем токарный станок с ЧПУ модели 16Б16П. Обработку детали осуществляем за два технологических установа в несколько позиций. В качестве станочных приспособлений на первом установе используем стандартный трехкулачковый самоцентрирующийся патрон с пневматическим приводом зажима/разжима заготовки (ГОСТ 24351-80).

Установ А. Позиция I. Подрезка торца.

Инструмент: резец токарный, державка PLCNR 25X25, режущая пластина S/CNMG 190616 SR Sandvik, твердый сплав H13A.

Режимы обработки назначаем в соответствие с рекомендациями Sandvik Coromant при титановых сплавах:

- скорость резания $V = 60$ м/мин;
- частота вращения шпинделя, $n = 480$ об/мин
- подача, $s = 0,2$ мм/об;
- глубина резания, $t = 0,3$ мм

Эскиз операции приведен на рис. 2.2

Код управляющей программы для стойки ЧПУ FlexNC

T1M06D1	;команда на вращение револьверной головки в позицию I, учитывать коррекцию в ячейке D1
M08	; обработка с СОЖ
S480M03	; команда на вращение шпинделя с частотой 480 об/мин, вращение против часовой стрелке
G95F0,2	; величина подачи 0,2 мм/об
G00X40,5Z9,65	;быстрый подвод инструмента в точку с координатами X=40 мм; Z=9,65
G01X-1	; рабочий ход (выполнение подрезки торца)
G00X60Z50	; быстрый отвод инструмента в исходную точку
M02	;конец программы

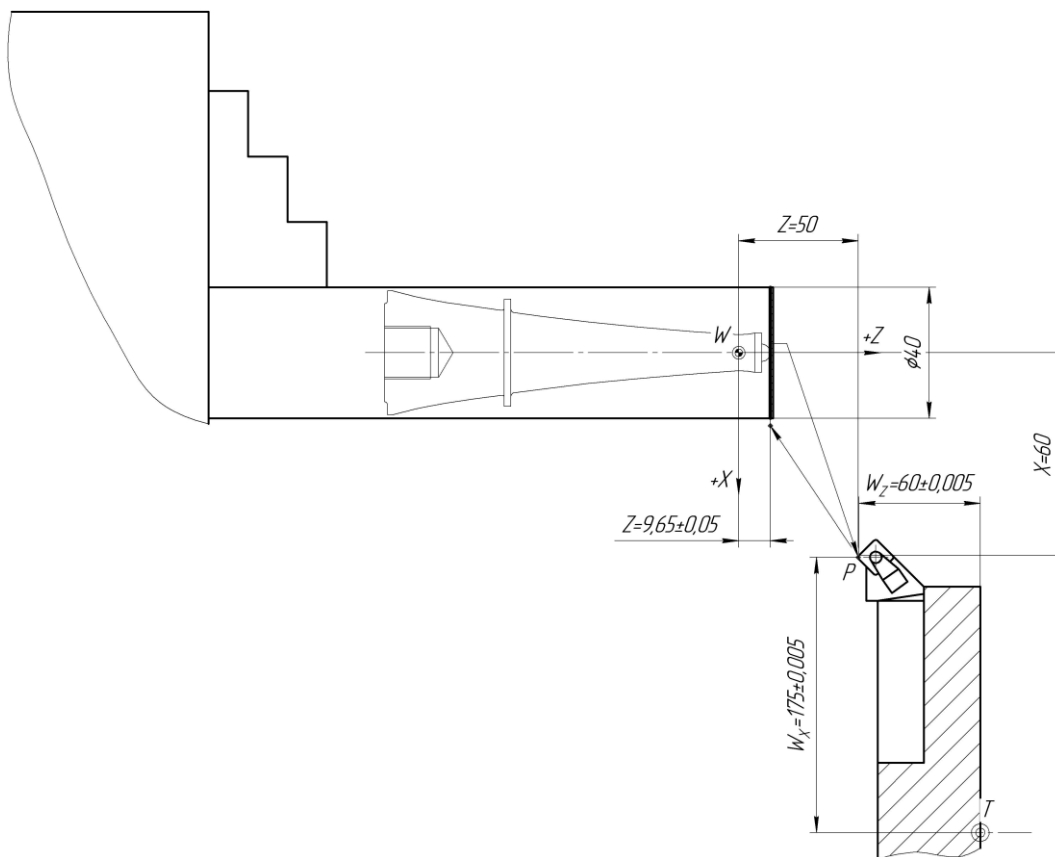


Рис. 2.2 Эскиз токарной операции. Позиция I – подрезка торца

Позиция II. Продольное черновое точение.

Инструмент: резец токарный, державка PLCNR 25X25, режущая пластина S/CNMG 190616-SM Sandvik, твердый сплав H13A

Режимы обработки:

- скорость резания $V = 60$ м/мин;
- частота вращения шпинделя, $n = 480$ об/мин
- подача, $s = 0,3$ мм/об;
- глубина резания, $t = 1,2$ мм

Эскиз операции приведен на рис. 2.3

Код управляющей программы для стойки ЧПУ FlexNC

T2M06D2	;команда на вращение револьверной головки в позицию II, учитывать коррекцию в ячейке D2
M08	; обработка с СОЖ
S480M03	; команда на вращение шпинделя с частотой 480 об/мин, вращение против часовой стрелке
G95F0,3	; величина подачи 0,3 мм/об
G00X38Z10	;быстрый подвод инструмента в точку с координатами X=38 мм; Z=10
/цикл многопроходной обработки (см. рис. 2.3)	
G01Z-123,22	; рабочий ход (продольное точение в размер 38 мм на длину 123,22 мм)
X38,5	
G00Z10	;быстрый отвод
X35,63	
G01Z-97,75	; рабочий ход (продольное точение в размер 35,63 мм на длину 97,75)
G00Z10	;быстрый отвод
X32,8	
G01Z-93,72	; рабочий ход (продольное точение в размер 32,8 мм на длину 93,72)
G00Z10	;быстрый отвод
X29,68	
G01Z-69,38	; рабочий ход (продольное точение в размер 29,68 мм на длину 69,38)
G00Z10	;быстрый отвод
X26,55	
G01Z-69,38	; рабочий ход (продольное точение в размер 26,55 мм на длину 69,38)
G00Z10	;быстрый отвод
X24,58	
G01Z-66,1	; рабочий ход (продольное точение в размер 24,58 мм на длину 66,1)
G00Z10	;быстрый отвод
X22,6	
G01Z-59,51	; рабочий ход (продольное точение в размер 22,6 мм на длину 59,51)
G00Z0	;быстрый отвод
X20,62	
G01Z-51,15	; рабочий ход (продольное точение в размер 20,62 мм на длину 51,15)
G00Z10	;быстрый отвод
X18,64	

G01Z-42,61	; рабочий ход (продольное точение в размер 18,64 мм на длину 42,61)
G00Z10	; быстрый отвод
X16,16	
G01Z-32,97	; рабочий ход (продольное точение в размер 16,16 мм на длину 32,97)
G00Z10	; быстрый отвод
X14,68	
G01Z-20,5	; рабочий ход (продольное точение в размер 14,68 мм на длину 20,5)
G00Z10	; быстрый отвод
X12	
G01Z-5,77	; рабочий ход (продольное точение в размер 12 мм на длину 5,77)
G00X60Z50	; быстрый отвод инструмента в исходную точку
M02	; конец программы

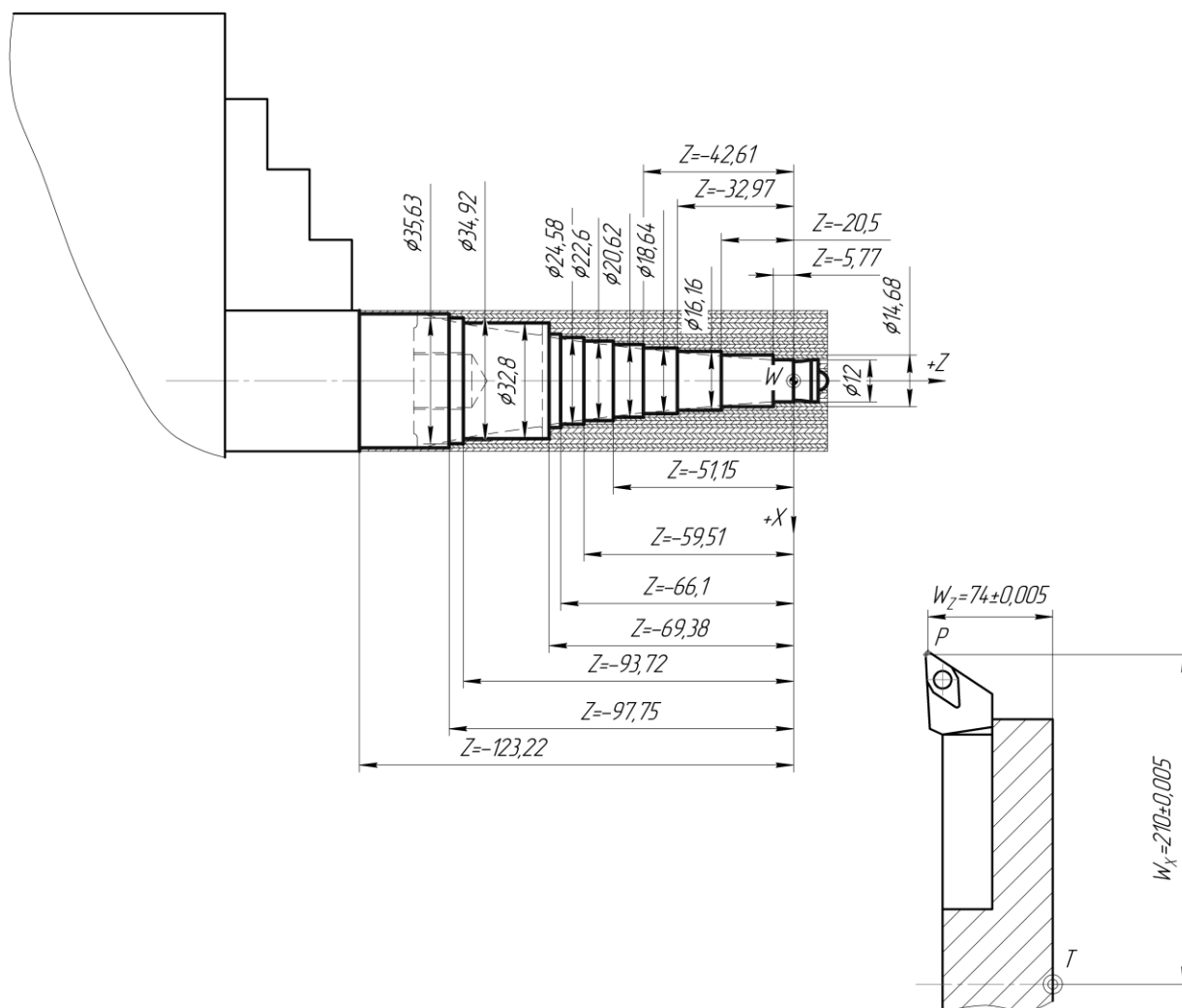


Рис. 2.3 Эскиз токарной операции. Позиция II – продольное точение

Позиция III. Обработка экспоненциального контура волновода.

На данной позиции осуществляется окончательная обработка контура волновода до узловой точки (бурт Ø 38 мм.). При обработке используется два типа интерполяции: круговая при обработки дуги окружности и сплайн интерполяция кубическим PVT сплайном (разработка сплайн интерполяции представлено в разделе 3)

Инструмент: резец токарный, державка PLCNR 25X25, режущая пластина S/CNMG 190616-SM Sandvik, твердый сплав H13A

Режимы обработки:

- скорость резания $V = 60$ м/мин;
- частота вращения шпинделя, $n = 480$ об/мин
- подача, $s = 0,1$ мм/об;
- глубина резания, $t = 0,8$ мм

Эскиз операции приведен на рис. 2.4

Код управляющей программы для стойки ЧПУ FlexNC

T2M06D2	;команда на вращение револьверной головки в позицию 2, учитывать коррекцию в ячейке D2
M08	; обработка с СОЖ
S480M03	; команда на вращение шпинделя с частотой 480 об/мин, вращение против часовой стрелке
G95F0,1	; величина подачи 0,2 мм/об

G00X13,26Z7,45	;быстрый подвод инструмента в точку с координатами X=13,2 мм; Z=7,45 (выход на начальную точку дуги)
----------------	--

G02X10,99Z0R24,9	; цикл круговой интерпорляции
SPLINE	; цикл сплайн интерполяции

Цикл сплайн интерполяции более подробно рассмотрен в разделе 3 вкр

G01X33	
G00X60Z50	; позиция смены инструмента
M02	;конец программы

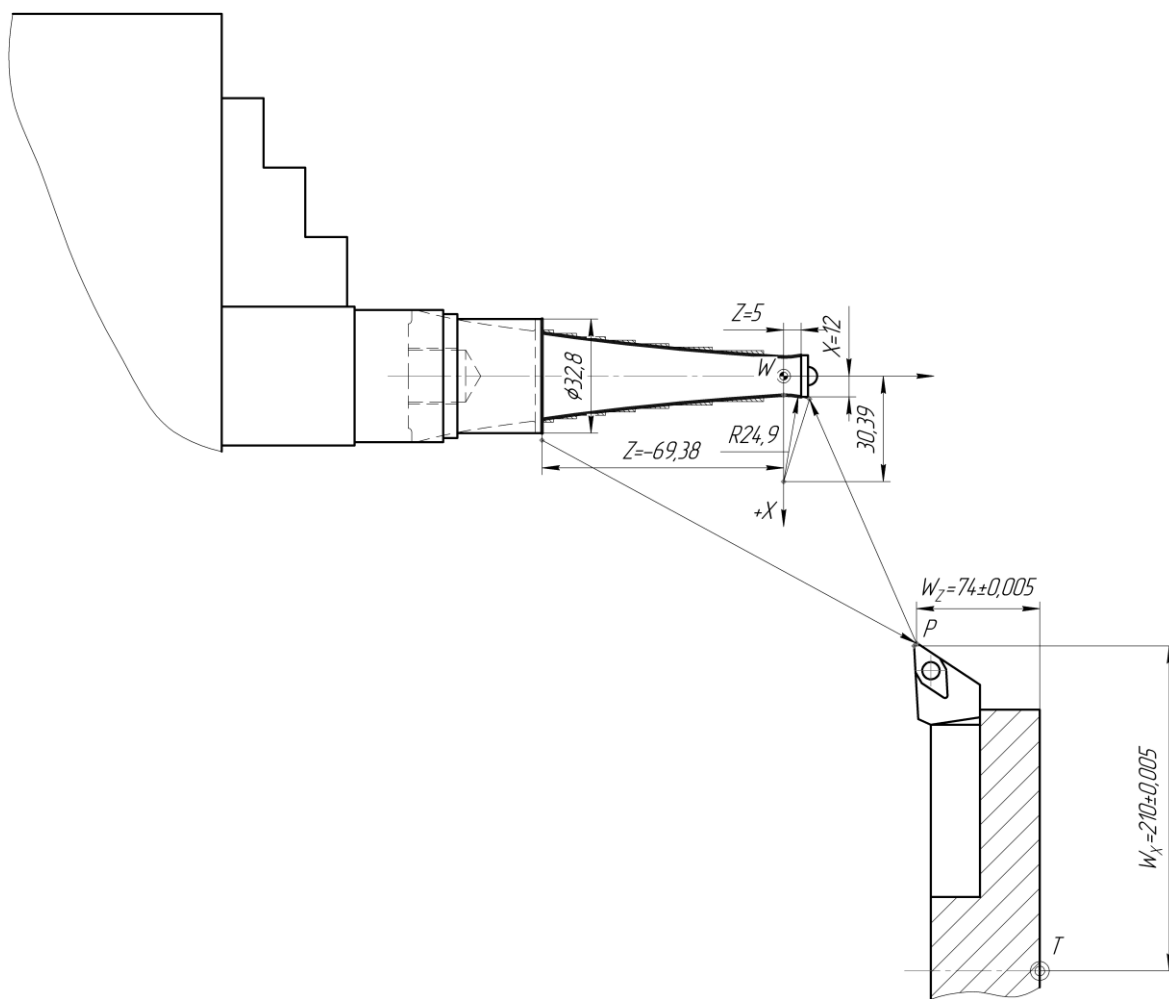


Рис. 2.4 Эскиз токарной операции. Позиция III – окончательная обработка экспоненциального контура волновода

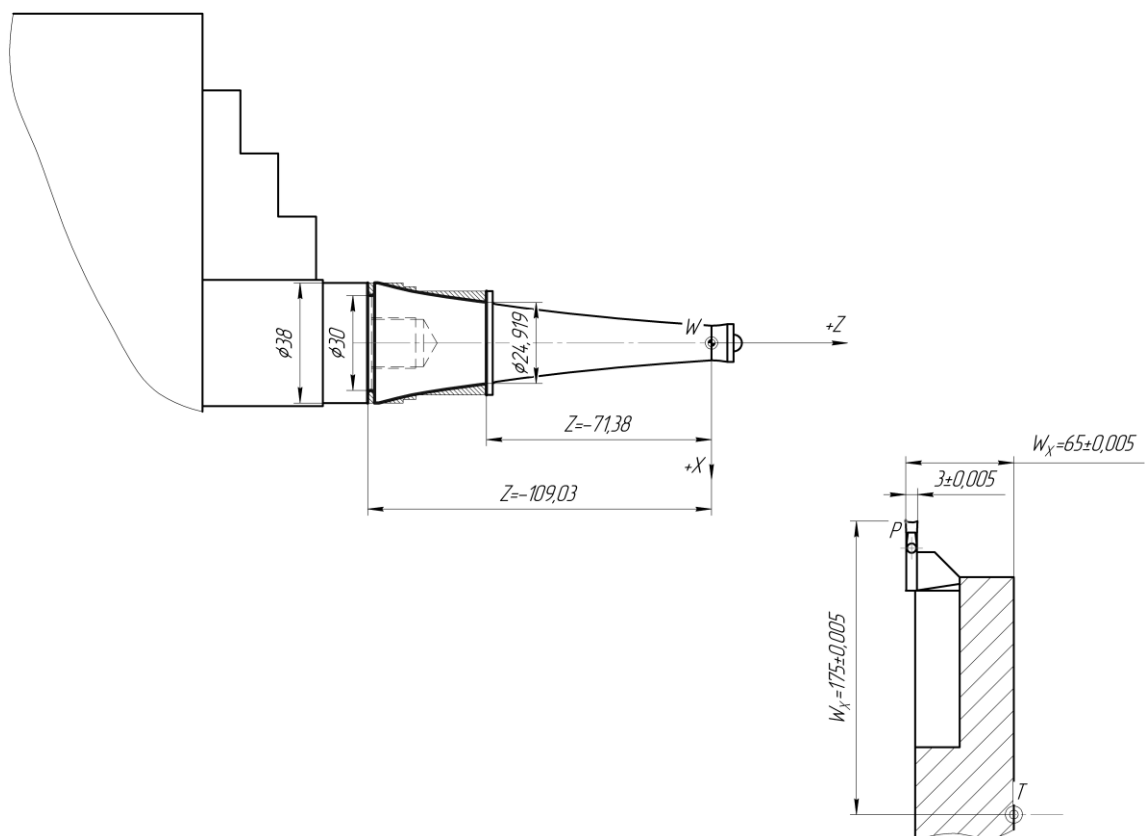
Позиция IV. Обработка экспоненциального контура волновода и отрезка детали.

Инструмент: резец токарный, державка PLCNR 25X25, режущая пластина для профильной обработки 4P Sandvik, твердый сплав H13A

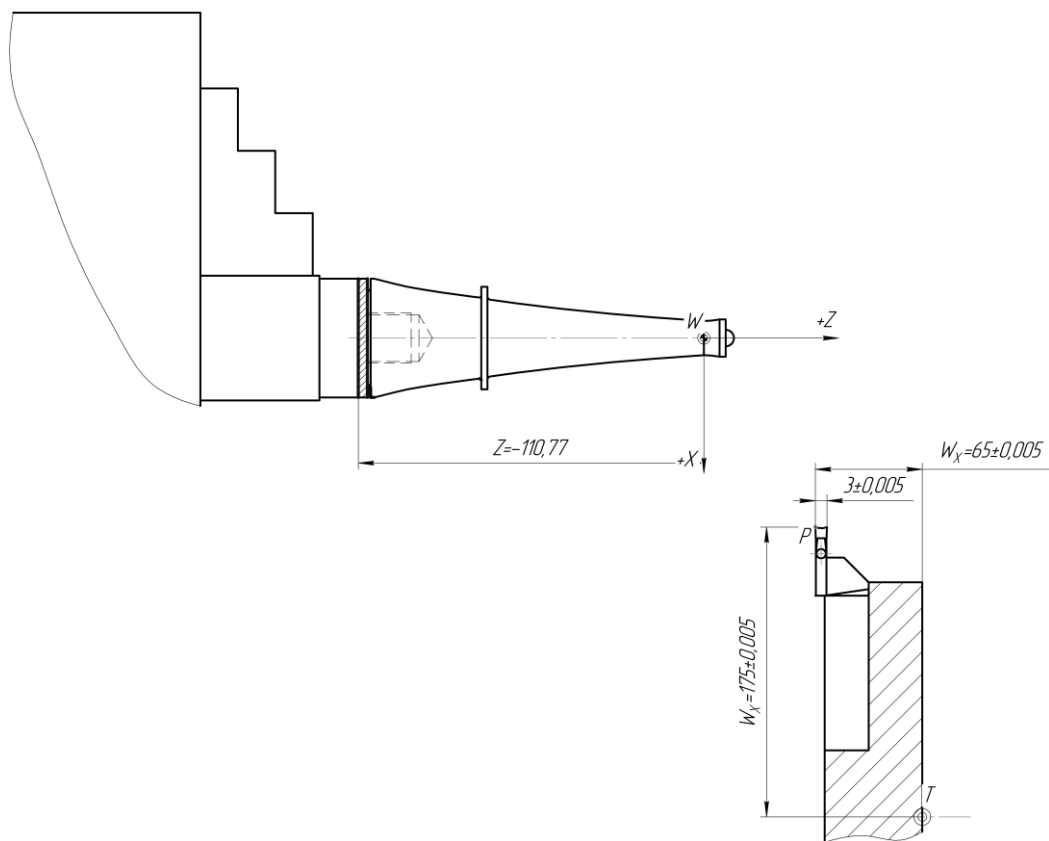
Режимы обработки:

- скорость резания $V= 80$ м/мин;
- частота вращения шпинделя, $n= 637$ об/мин
- подача, $s=0,1$ мм/об;
- глубина резания, $t=0,5$ мм

Эскиз операции приведен на рис. 2.5



Переход 1 – точение профиля



Переход 2 – отрезка детали

Рис. 2.5 Эскиз токарной операции. Позиция IV – окончательная обработка экспоненциального контура волновода

Код управляющей программы для стойки ЧПУ FlexNC

T3M06D3	;команда на вращение револьверной головки в позицию 3, учитывать коррекцию в ячейке D3
M08	; обработка с СОЖ
S637M03	; команда на вращение шпинделя с частотой 637 об/мин, вращение против часовой стрелке
G95F0,1	; величина подачи 0,1 мм/об
G00X40,1Z-110,77	;быстрый подвод инструмента в точку с координатами X=40,1 мм; Z=-110,77 (выход на начальную точку контура)
SPLINE	; цикл сплайн интерполяции
<i>Цикл сплайн интерполяции более подробно рассмотрен в разделе 3 вкр</i>	
G00X40,1Z-110,77	
G01X-1	; отрезка заготовки
G00X60Z50	; позиция смены инструмента
M02	;конец программы

Установ Б. Позиция I. Сверление отверстия Ø 14,5 мм

Инструмент: цельное твердосплавное сверло CoroDrill® Delta-C 846 Ø 14,5 мм, твердый сплав GC1220.

Режимы обработки:

- скорость резания $V = 40$ м/мин;
- частота вращения шпинделя, $n = 878$ об/мин
- подача, $s = 0,2$ мм/об;

Эскиз операции приведен на рис. 2.7

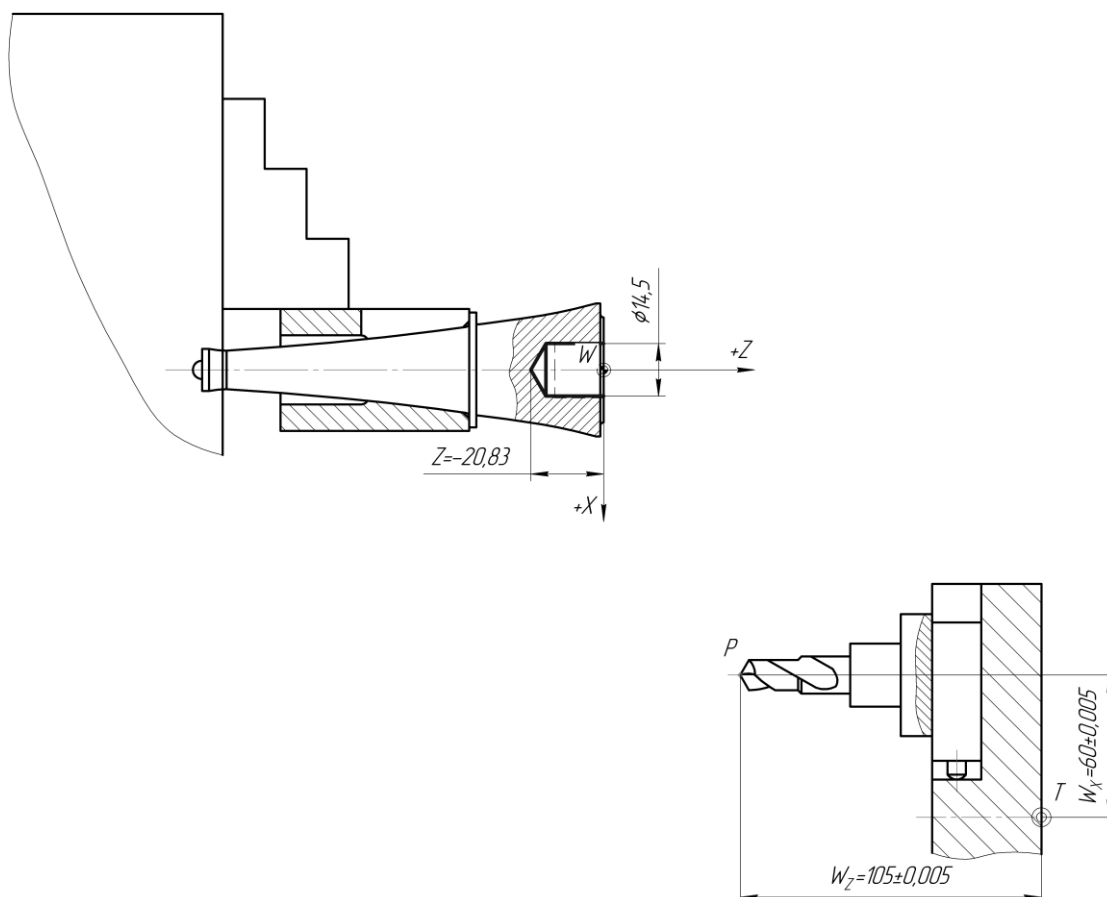


Рис. 2.6 Эскиз токарной операции. Установ Б.
Позиция I – сверление отверстия Ø 14,5 мм.

Код управляющей программы для стойки ЧПУ FlexNC

T4M06D4	;команда на вращение револьверной головки в по- зицию 4, учитывать коррекцию в ячейке D4
M08	; обработка с СОЖ
S878M03	; команда на вращение шпинделя с частотой 637 об/мин, вращение против часовой стрелке
G95F0,2	; величина подачи 0,2 мм/об
G00X0Z0,5	;подвод инструмента
G01Z-20,83	;сверление отверстия
Z0,5	; отвод инструмента на рабочей подачи
G00X60Z100	; быстрый отвод инструмента в точку смены
M02	; конец программы

3. Разработка циклов интерполяции в системе ЧПУ FlexNC для обеспечения точности обработки контура волноводов

3.1 Общие понятия о интерполяции в системах числового программного управления

Общее требование к системам позиционирования в станках с ЧПУ заключается в обеспечении координированных движений по отдельным управляемым осям станка. Это обеспечивается за счет определенного алгоритма расчета траектории движения для каждой оси, называемого интерполяцией. Интерполяция выполняется посредством специального блока системы ЧПУ, который через определенные промежутки времени производит командные сигналы для каждого сегмента интерполируемого контура. Расчет цикла интерполяции основан на определении начальной точки сегмента, конечной точки сегмента и расчета скорости позиционирования по координатам таким образом, чтобы можно было максимально точно воспроизвести этот сегмент. Типовые простейшие циклы интерполяции в станках с ЧПУ это линейная интерполяция и круговая интерполяция. Более продвинутые циклы представляют винтовую интерполяцию и сплайн интерполяцию. Рассмотрим структуру расчета простейших циклов интерполяции

Циклы линейной и круговой интерполяции. Принцип интерполяции заключается в циклическом алгоритме расчета траектории контура со временем сервоцикла «замыкания» петли обратной связи в контуре положения. Типичное значение времени сервоцикла в современных станках с ЧПУ составляет величину порядка 0,1...10 мс. В каждом цикле блок интерполяции рассчитывает требуемые приращения по координатам:

$$\Delta X = TV_x; \Delta Y = TV_y$$

где T – время сервоцикла, мс; V_x , V_y – скорости по координатам X , Y соответственно.

Вычисление требуемых скоростей по осям V_x , V_y основано на данных приращения контура по каждой оси L_x , L_y и обеспечения желаемой машинной скорости подачи вдоль линии контура V . Расчет скоростей блоком линейной интерполяции осуществляется по формулам:

$$V_x = V \frac{L_x}{L}; \quad V_y = V \frac{L_y}{L}$$

где L – длина сегмента вдоль обрабатываемого контура детали, мм.

Цикл круговой интерполяции основан на делении дуги на угловые сектора α и вычислении его минимально возможного значения. Минимальное возможное значение угла ограничено радиусом инструмента. Блок круговой интерполяции вычисляет угол деления дуги окружности по формуле:

$$\alpha = VT/R$$

В данной выпускной квалификационной работе одной из задач является разработка циклов сплайн интерполяции при обработке сложных контуров волноводов на токарном станке с ЧПУ FlexNC. В данной системе ЧПУ используется многоосевой программируемый контроллер движения Turbo PMAC фирмы Delta Tau. Рассмотрим организацию простейших циклов интерполяции (линейная и круговая) на базе контроллера Turbo PMAC.

В контроллере Turbo PMAC цикл линейной интерполяции заключается в расчете требуемого профиля скорости по одной или нескольким координатам (на токарном станке максимум по двум координатам). Требуемый профиль скорости в конечном итоге определяет заданную траекторию движения. Типовая форма профиля скорости (рис. 3.1 а) включает в себя участок разгона до необходимой скорости и участок на котором скорость поддерживается постоянной. Участок разгона может иметь как линейную форму как показано на рис. 3.1 а, так и S-образную форму (рис. 3.1 б)

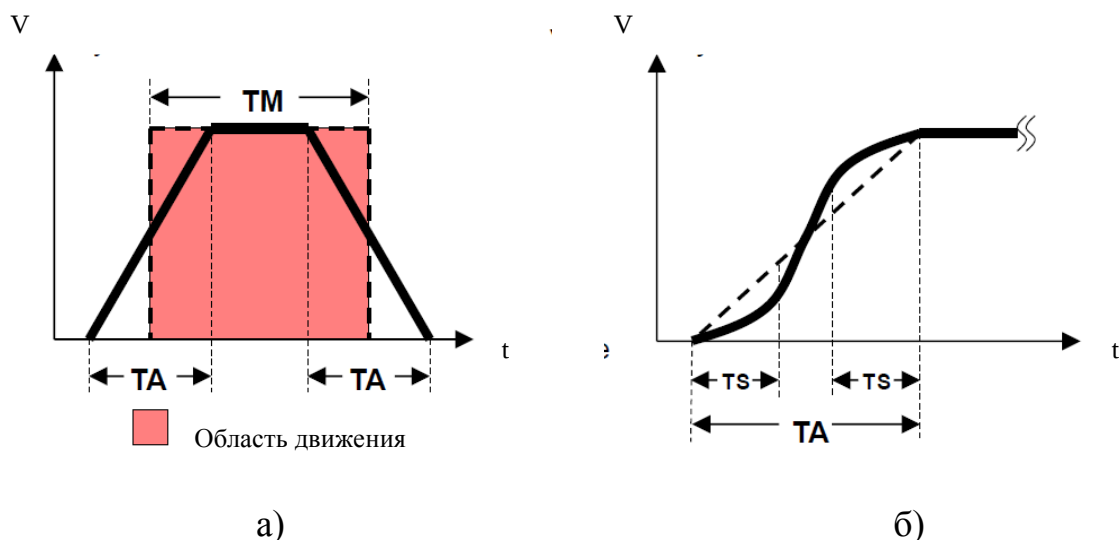


Рис. 3.1 Профиль скорости для линейной интерполяции
а) с линейным участком разгона; б) с S-образным участком разгона

Для создания цикла линейной интерполяции используется следующий алгоритм:

Команды:

Linear

TM {constant}

TA {constant}

TS {constant}

F {constant}

Abs / Inc

Описание:

Цикл линейной интерполяции

Время движения (мсек)

Время разгона (мсек)

Время S-кривой разгона (мсек)

Величина подачи

Абсолютная или относительная система координат

В качестве примера рассмотрим построения цикла интерполяции. Код программы представлен с комментариями:

Команды:

Linear

TM 1000 TA 500 TS 0

Abs

X 20 Y 10

Описание:

Цикл линейной интерполяции

Время движения 1000 мс, время разгона 500 мс, S-кривая разгона отключена

Абсолютная система координат

Команда на перемещение в точку с координатами X=20 мм; Y=10 мм

Для реализации цикла круговой интерполяции в контроллере Turbo PMAC используется следующий алгоритм:

1) Задание времени движения вдоль кругового сегмента с помощью команды `Isx {data}`, где переменные `data` – численные значения времени, задаваемое в мсек. Обычно принимается время в диапазоне 5...10 мс. Другими словами данная команда осуществляет как бы разбивку кругового сегмента в масштабе времени;

2) Выбор плоскости интерполяции с помощью команды `Normal {vector}{data}`, в которой в качестве переменных `{vector}` указываются задаются традиционные обозначения для систем ЧПУ *I* (плоскость *YZ*), *J* (плоскость *XZ*), *K* (плоскость *XY*); в переменных `{data}` задаются значения вектора нормали к выбранной плоскости. На рис. 3.2 представлены наиболее распространенные варианты задания плоскости интерполяции с помощью команды `Normal`;

3) Следующим этапом является выбор системы отсчета для конечного положения и центра дуги окружности. При этом командой `Abs` задается абсолютная система координат, т.е. вне привязки к детали, командой `Inc` задается относительная система координат (относительно конечной точки и центра дуги окружности);

4) Далее, командой `Circle` реализуется собственно цикл круговой интерполяции, причем `Circle 1` выполняет интерполяцию по часовой стрелке; `Circle 2` против часовой.

В качестве примера на рис. 3.3 представлены варианты организации циклов интерполяции различных круговых сегментов

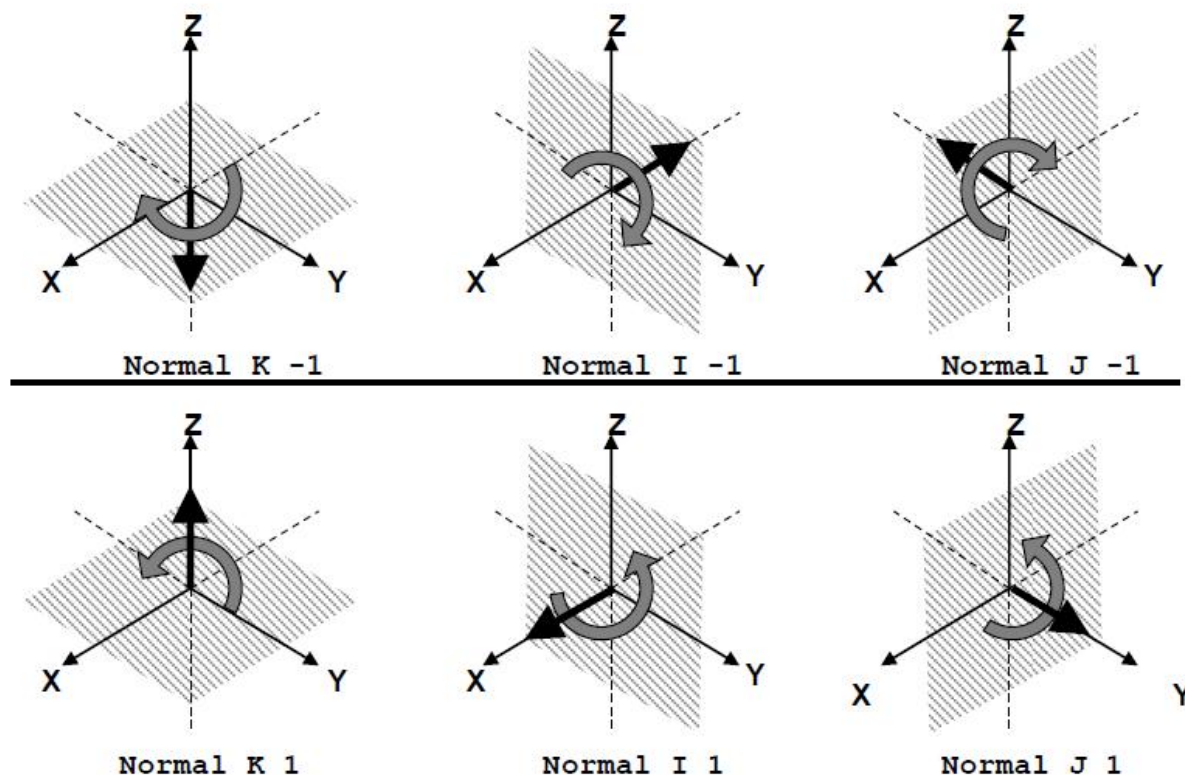


Рис. 3.2 Способы задания плоскости интерполяции в контроллере Turbo PMAC с помощью команды Normal

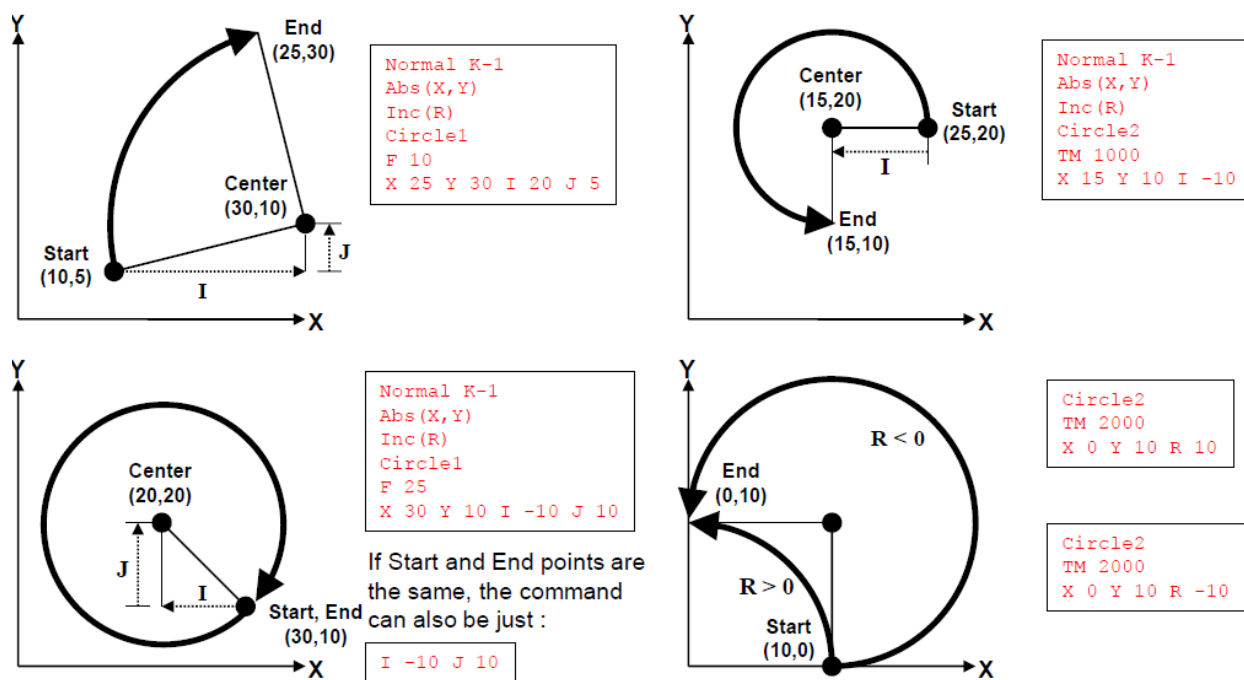


Рис. 3.3 Пример организации циклов круговой интерполяции в контроллере Turbo PMAC []

Более сложные циклы сплайн интерполяции рассмотрим на конкретном примере при разработки управляющей программы для обработки контура ультразвукового волновода.

3.2 Разработка цикла сплайн интерполяции в контроллере движения Turbo PMAC станка с ЧПУ 16Б16П

Сущность сплайн-интерполяции заключается в разбивке программируемой траектории на определенные сегменты, выраженные в масштабе времени, и расчете для каждого такого сегмента координат точек и скоростей.

Алгоритм построения сплайн интерполяции в контроллере Turbo PMAC представляется последовательностью следующих команд:

Команды:	Описание:
I42=0/1	Задание времени движения/разгона
TM/TA	Задание численных значений времени движения / разгона
Spline1 / Spline2	Выбор типа сплайн интерполяции
Abs / Inc	Абсолютная система координат/ относительная конечной точки система координат
X {data} Y {data}	Значения координат точек

В контроллере Turbo PMAC реализуется кубический сплайн (кубический с точки зрения кубического уравнения связи «положение – скорость – время»), т.е. при отработке такого сплайна профиль скорости по каждой координате имеет вид кривой показанной на рис. 3.4 а. А при программировании нескольких сегментов кривой, образующей профиль обрабатываемой поверхности, так как показано на рис. 3.5. При программирования сплайна необходимо учитывать «зануление» скорости при переходе от одного программируемого сегмента контура на другой.

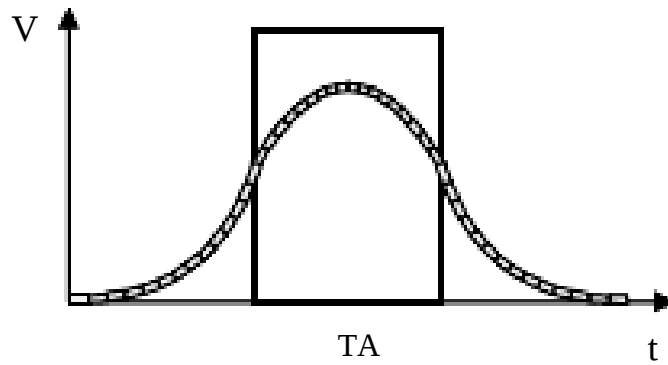


Рис. 3.5 Профиль скорости при обработке одного сегмента сплайна []

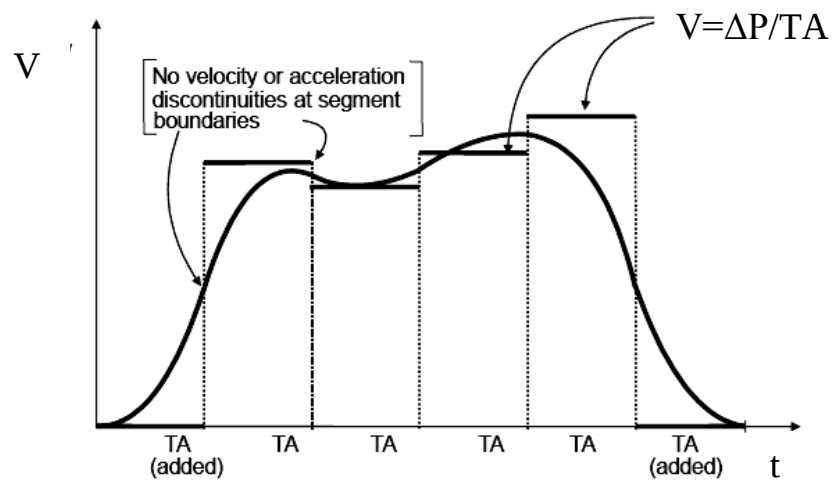


Рис. 3.6 Профиль скорости при обработке одного сегмента сплайна []

Рассмотри экспоненциальный профиль ультразвукового волновода (рис. 3.7) и разработаем алгоритм сплайн интерполяции для обеспечения заданного контура

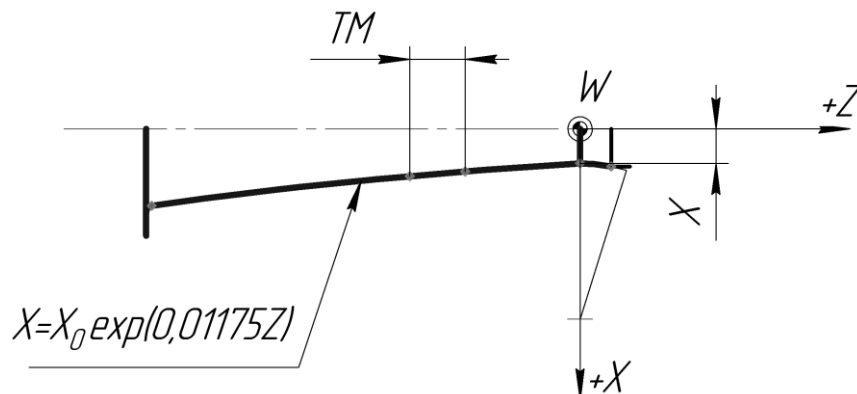


Рис. 3.7 Экспоненциальный профиль ультразвукового волновода

Программу сплайн интерполяции разработаем в системе ЧПУ FlexNC

```
Spline1
G94F100
Z0 X10,9855944
Z-1 X11,11543646
Z-2 X11,24681317
Z-3 X11,37974265
Z-4 X11,51424327
Z-5 X11,6503336
Z-6 X11,78803241
Z-7 X11,92735873
Z-8 X12,06833179
Z-9 X12,21097106
Z-10 X12,35529622
...
...
...
Dwell 1
```

С целью отработки алгоритма интерполяции были выполнены тестовые испытания программы на токарном станке с ЧПУ. При отработке программы с помощью диагностических возможностей ЧПУ осуществлялась запись траекторий, скоростей и ошибок позиционирования по каждой оси станка. На рис. 3.8. представлен фрагмент кода управляющей программы, отображаемой на окне стойки ЧПУ FlexNC. На рис. 3.9. показан результат отработки цикла интерполяции по разработанной программе. На рисунке показана траектория, сформированная синхронным движением по осям X и Z электроприводов станка. На рис. 3.10 представлены отдельные траектории позиционирования по осям X и Z станка. Как следует из анализа рисунков предлагаемый алгоритм сплайн интерполяции позволят точно отработать контур экспоненциального волновода.

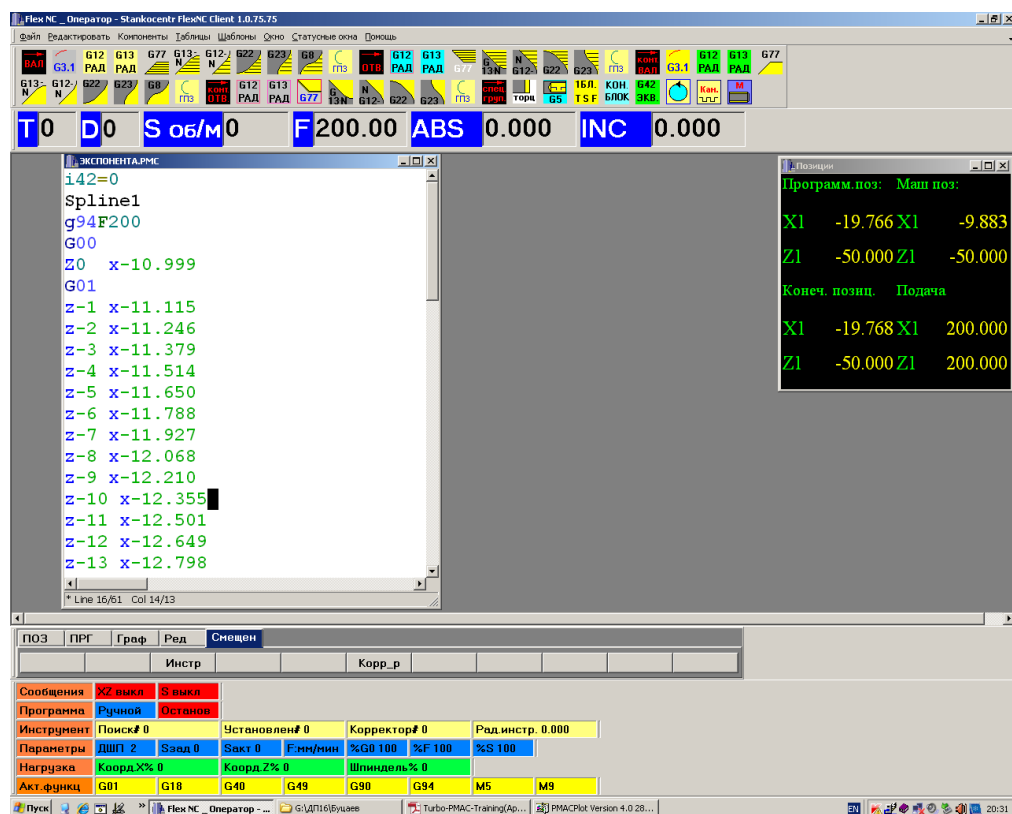


Рис. 3.8. Окно оператора стойки СЧПУ FlexNC с диалоговым окном редактора кода управляющей программы (в диалоговом окне видно использование команды SPLINE)

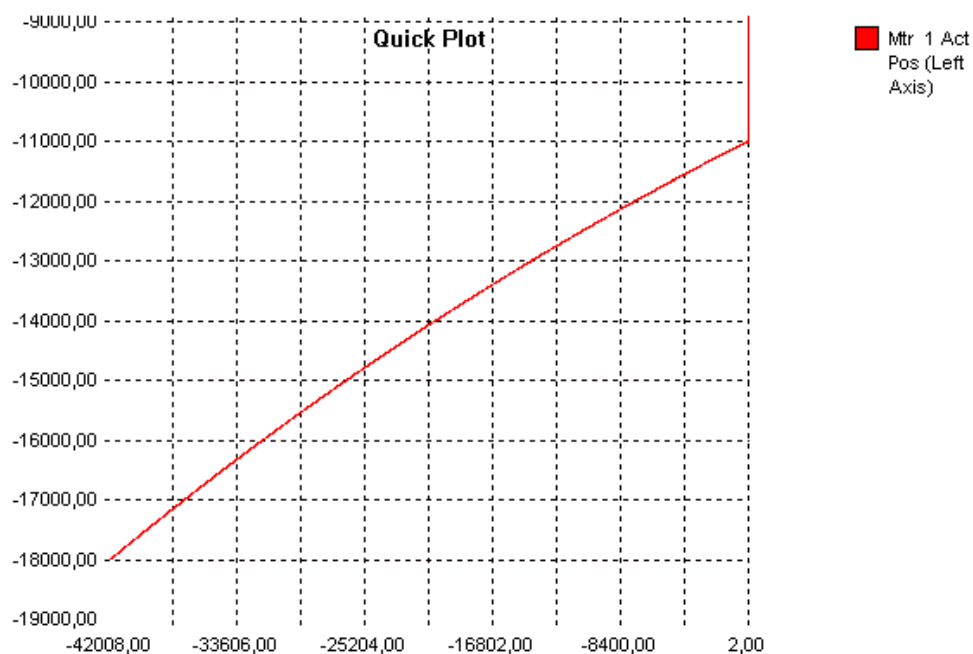


Рис. 3.9. Экспоненциальный профиль контура волновода – результат обработки управляющей программы с циклом интерполяции

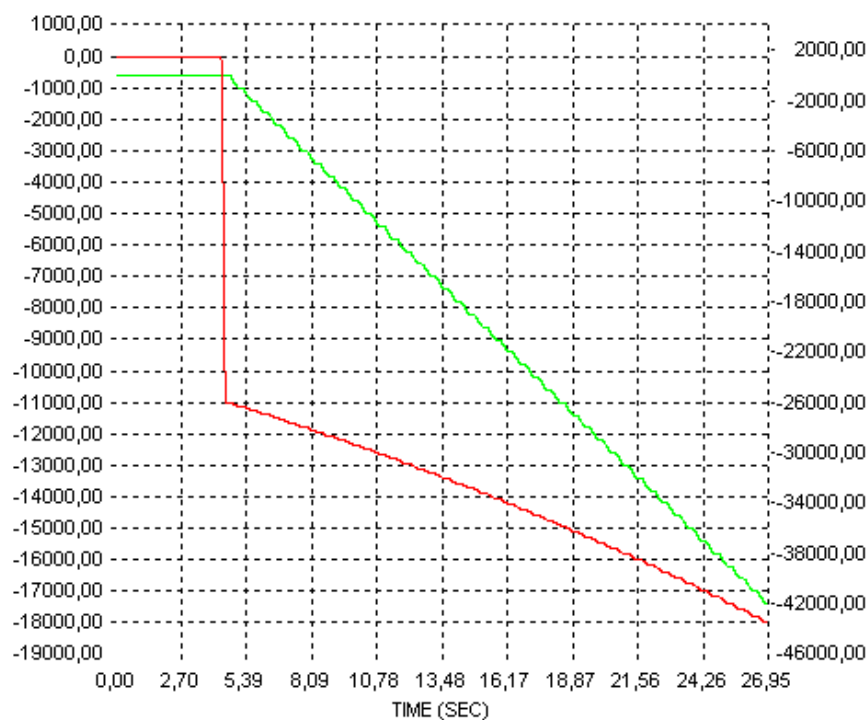


Рис. 3.10 Зависимости позиции по осям станка от времени для обеспечения требуемого профиля контура

Таким образом на основании тестовых испытаний можно сделать вывод о обеспечении заданного контура волновода с помощью сплайн интерполяции. Однако, необходимо заметить, что тестовые испытания на станке выполнялись на холостом ходу, т.е. без нагрузки. Действие сил резания в процессе обработки «отжимает» инструмент, что может отразиться на точности получаемого контура. Данный вопрос рассмотрен в следующем разделе.

4. Моделирование точности обработки заданного контура волновода при обработке на станке с ЧПУ

4.1 Постановка задачи моделирования. Разработка расчетной схемы.

В процессе механической обработки в результате действия сил резания обрабатываемая заготовка и режущий инструмент могут отжиматься друга относительно друга. Это может привести к погрешностям обработки. Задача контроллеров движения станков с ЧПУ заключается в минимизации ошибки положения приводов по координатам и как следствие ошибки контура. На рис. 4.1 представлена схема формирования ошибки при обработке произвольного контура.

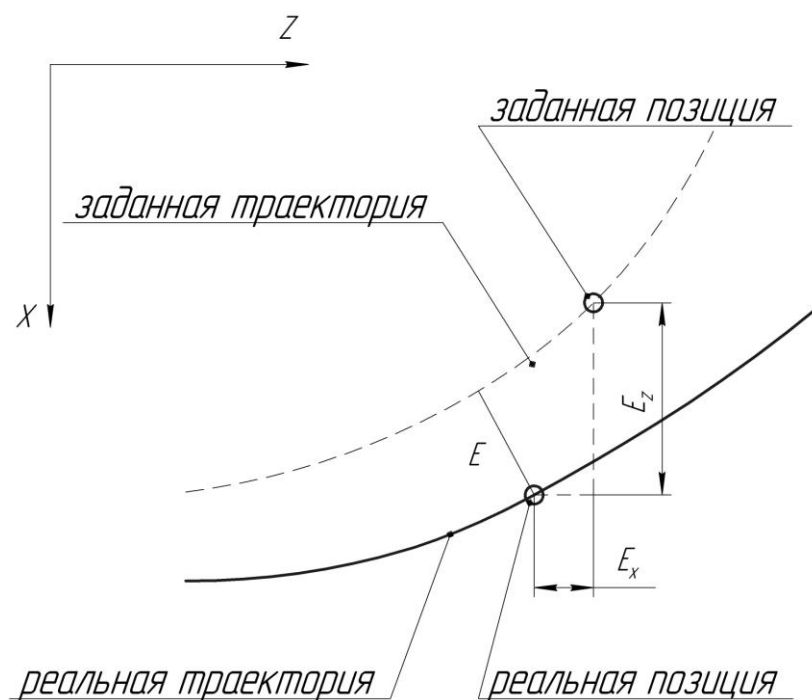


Рис. 4.1 Схема возникновения ошибки контура

Ошибка отклонения контура E является сложной функцией от ошибок позиционирования по координатам станка E_x , E_z и зависит не только от заданного контура траектории, но и режимов резания. Задача обеспечения точности обработки заключается в минимизации ошибок по координатам станка,

таким образом, чтобы обеспечить формирование желаемого контура детали. Рассмотрим типовую упрощенную (без учета блоков ШИМ, передаточной функции регулятора, ЦАП и АЦП) схему организации циклов управления движением в станках с ЧПУ на примере двух управляемых осей (координат) (рис. 4.2)

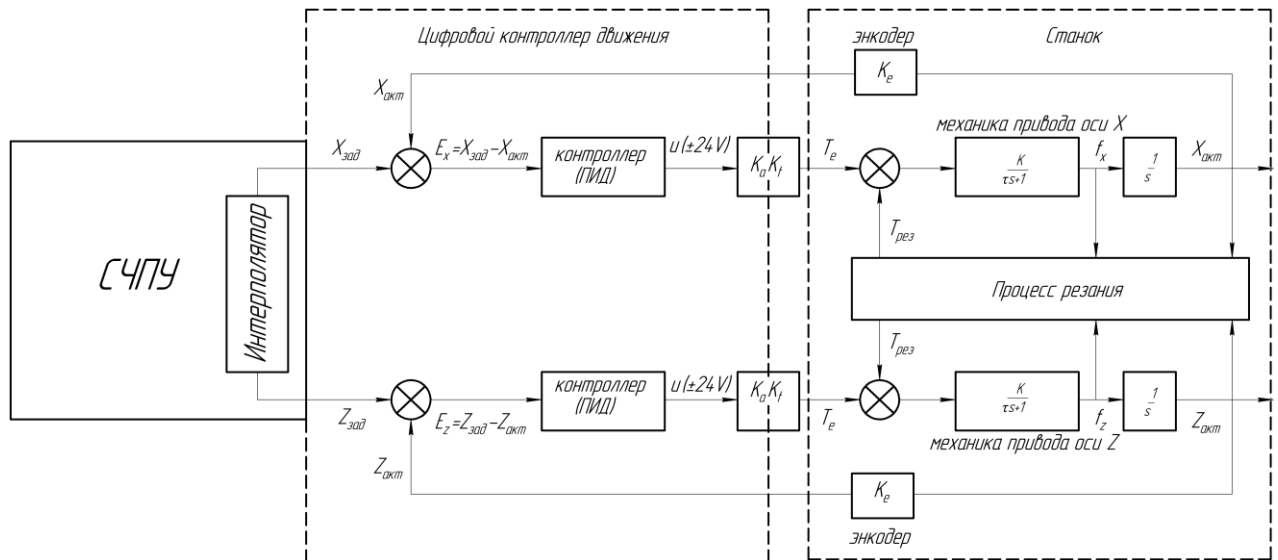


Рис. 4.2 Схема организации циклов управления электроприводами

Управляющая команда в системе ЧПУ блоком интерполяции преобразуется в рассчитанные (заданные) координаты перемещения для каждого привода станка. На вход регулятора, в большинстве систем ЧПУ классические ПИД регуляторы, подается сигнал ошибки позиционирования, т.е. разница между текущим значением координаты и заданным. С выхода регулятора подается команда на управление электроприводом станка по конкретной координате, как правило в большинстве случаев стандартный сигнал управления ± 24 V. Современные системы ЧПУ используют программные (цифровые) контроллеры движения, на выходе которых управляющее напряжение представлено в битах, которое далее конвертируется с помощью ЦАП в вольты. Это управляющее напряжение, называемое сервокомандой (т.к. вырабатывается за каждый сервоцикл опроса всех датчиков) подается в блок управления электродвигателями, которые обрабатывают поступившие команды. В процессе резания на динамику электропривода возмущающее воздействие

оказывает момент (нагрузка) от действия сил резания, что естественно к возникновению ошибки.

4.2 Методика и результаты моделирования точности контура обработки детали

Контроллер движения Turbo РМАС имеет открытую архитектуру, что позволяет изменять его настройки и моделировать работу привода станка. Структурная схема контроллера движения типа той, что показана на рис. 4.2 может быть реализована в программном пакете Simulink Matlab. Суть моделирования заключалась в следующем. На вход в блок сравнения контроллера движения подавали сигнал о заданной позиции по каждой координате, полученные в результате тестовых испытаний сплайн алгоритма (см. раздел 3, рис. 3.10.), т.е. графики (красного цвета – ось X; зеленого цвета – ось Z), выраженные в численных значениях (в виде «позиция-время») подавали на вход контроллера движения. Возмущающее воздействие от процесса резания моделировали наложением шума на величины управляющего напряжений с выхода контроллера. По результатам моделирования корректировали коэффициенты ПИД регулятора с целью обеспечения наименьшей ошибки позиционирования. Некоторые результаты моделирования приведены на рис. 4.3. Моделированием удалось добиться результата, при котором ошибка позиционирования по длине контура не увеличивается (не накапливается), а представлен более-менее однородно распределенной величиной с некоторым шумом.

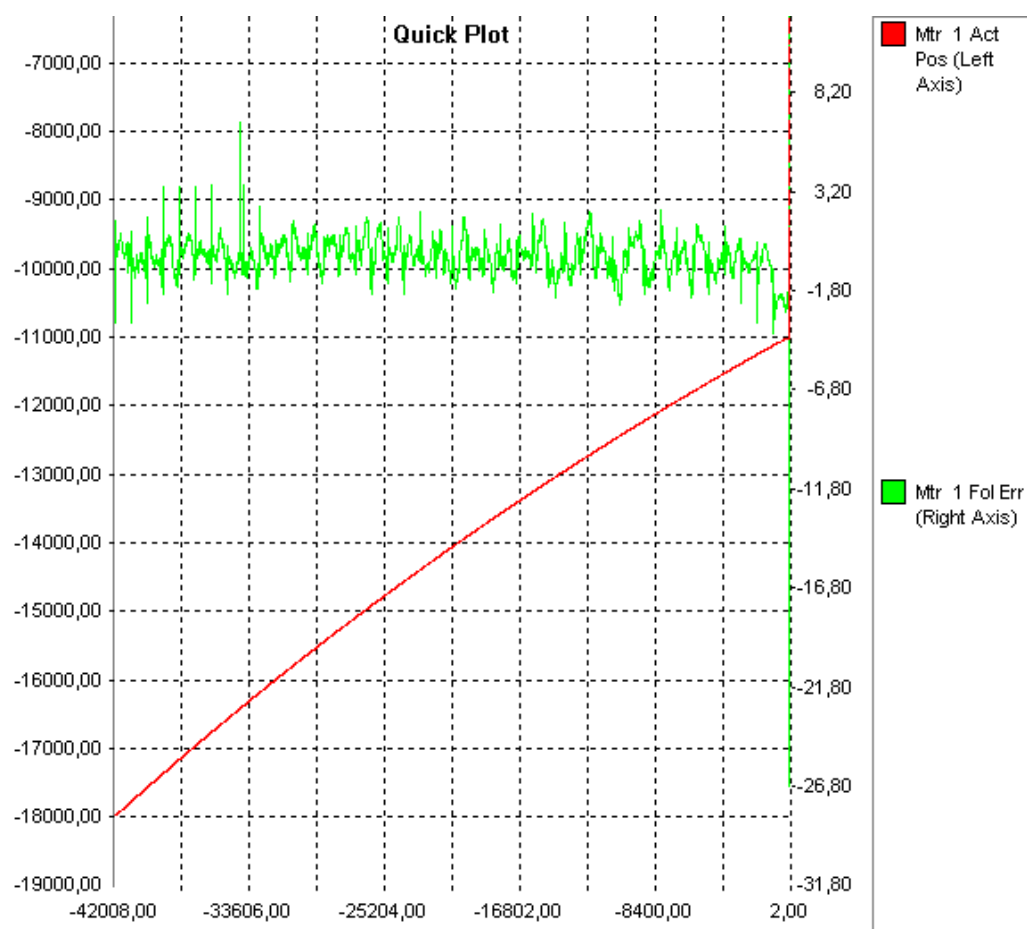


Рис. 4.3 Погрешность позиционирования, распределенная по длине контура

5.Безопасность и экологичность работы

5.1. Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Наименование технического объекта выпускной квалификационной работы – технологический процесс изготовления ультразвуковых волноводов сложной формы. В таблице 5.1 представлен технологический паспорт объекта. Учитывая, что в работе значительное внимание уделено разработке и проектированию механической обработки на токарном станке с ЧПУ, а также то, что значительная доля времени при изготовлении волноводов приходится на токарную обработку, выполним анализ безопасности и экологичности при изготовлении волноводов на токарном станке с ЧПУ.

Технологический паспорт объекта

Таблица 5.1

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию ³	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	Технологический процесс изготовления ультразвуковых волноводов сложной формы.	Токарная операция осуществляется в 2 технологических установа. На первом установе обработка осуществляется в несколько позиций, после выполнения кото-	Оператор станков с ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ Мод. 16Б16ПТ1С1, 3-х кулачковый самоцентрирующийся патрон с пневматическим зажимом; специальное приспособление	Смазочные материалы, гидравлические масла, сжатый воздух, эмульсия Велс 3 %; Обработка титанового сплава ВТЗ-1

		рых деталь отрезается и передается на второй установ, на котором в две позиции завершается обработка детали			
--	--	--	--	--	--

5.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков

Таблица 5.2

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
1	Токарная с ЧПУ: Обработка детали за два технологических установа	повышенный уровень шума на рабочем месте; подвижные части производственного оборудования; перемещающиеся изделия, заготовки, материалы; повышенный уровень вибрации; статические физические перегрузки	Токарный станок с ЧПУ Мод. 16Б16ПТ1С1, 3-х кулачковый самоцентрирующийся патрон с пневматическим зажимом; специальное приспособление

5.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков

Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Таблица 5.3

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы	Для защиты работающих на станке и людей, находящихся вблизи станка, от отлетающей стружки и СОЖ, необходимо оснащать станки защитными устройствами, ограждающими зону обработки или ее часть, в которой осуществляется процесс резания.	халаты; полуботинки; перчатки; очки защитные, профилактические пасты, мази, биологические перчатки по ГОСТ 12.4.068. от воздействия СОЖ
2	повышенный уровень шума на рабочем месте; повышенный уровень вибрации	Меры по снижению шума до норм по ГОСТ 12.1.003-83.	Бируши, наушники

5.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)

В данном разделе проведем идентификацию опасных факторов пожара (таблица 5.4)

5.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.

Идентификация классов и опасных факторов пожара

Таблица 5.4

№ п/п	Участок, подразде- ление	Оборудо- вание	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожа- ра
1	Участок механиче- ской об- работки	Токарный станок с ЧПУ	А	пламя и искры от возможного заго- рания стружки из титана; тепловой поток; повышенная тем- пература окружа- ющей среды;	опасные факто- ры взрыва, воз- никающие вследствие по- жара

5.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта

Технические средства обеспечения пожарной безопасности представ-
лены в таблице 5.5

Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Таблица 5.5

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Огнетушители типа ОП; УО	Пожарные машины и специализированная техника не требуется	системы пожаротушения автоматического срабатывания	извещатели пожарные;	Стенд с песком, пожарные рукава	средства защиты кожных покровов тела человека (специальные огнестойкие накидки).	топор, ведра, лом, кувалда, ножницы	Пожарная сигнализация; термоизвещатели

5.4.3. Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Таблица 5.6

Наименование технологического процесса	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Технология изготовления ультразвуковых волноводов сложной формы	-организация обучения рабочих, служащих, правилам пожарной безопасности; -разработка мероприятий и инструкций о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, о соблюдении противопожарного режима и о действиях людей при возникновении пожара; -разработка мероприятий по действиям администрации, рабочих, служащих на случай возникновения пожара и организации эвакуации людей;	

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

5.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта

Таблица 5.7

Наименование технического объекта, техноло- гического про- цесса	Структурные составляю- щие технологического процесса, технологиче- ские операции, оборудо- вание	Воздействие техниче- ского объекта на ат- мосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие техниче- ского объекта на гид- росферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие техниче- ского объекта на лито- сферу (почву, расти- тельный покров, недра) (образование отходов, выемка пло- дородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязне- ние растительного по- крова и т.д.)
Технология изго- товления ультра- звуковых волно- водов сложной формы	Токарная операция с ЧПУ	Пары СОЖ, масел, твердые частицы, стружка	Жидкие растворимые и нерастворимые со- единения, сток техни- ческих масел, СОЖ, титановая стружка	Стружка, твердые и жидкие отходы произ- водства

5.5.2 Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта

Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Таблица 5.8

Наименование технического объекта	Технология изготовления ультразвуковых волноводов сложной формы
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	-применение герметичных и закрывающихся емкостей для хранения производственных отходов; -регулярный профилактический осмотр и регулировка гидравлической и пневматической аппаратуры оборудования с ЧПУ -соблюдение регламента работы технологического оборудования; -контроль за состоянием воздушной среды с помощью газоанализаторов
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	установка контейнеров для сбора и отстаивания СОЖ
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	сбор и хранение стружки в специальных контейнерах, соблюдение регламента утилизации стружки и производственного шлама

5.6 Заключение по разделу

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведено описание технологии изготовления ультразвуковых волноводов

сложной формы. Особое внимание уделено обработке на токарном станке с ЧПУ, т.к. значительная часть технологических операций выполняется на данном оборудовании. Составлен технический паспорт объекта (таблица 4.1).

Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников.

Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности. Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте.

Идентифицированы экологические факторы и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте.

6. Экономическая эффективность работы

6.1 Калькуляция себестоимости технологии ультразвуковой сборки

В предлагаемом технологическом процессе изготовления ультразвуковых волноводов сложной формы предложен усовершенствованная технология токарной обработки сложного профиля за счет разработки алгоритма сплайн интерполяции, позволяющего как минимизировать ошибки контура обработки, так и в значительной степени снизить машинное время на обработку по сравнению с методом пробных ходов.

Расчет себестоимости обработки произведем для двух вариантов: для предлагаемого с сплайн интерполяцией и базового – классическая обработка. Калькуляция себестоимости представлена в таблице 6.1

Калькуляция себестоимости токарной обработки
по вариантам

Таблица 5.1

№	Статьи затрат	Затраты, руб.	
		Базовый	Проект
1	Заработная плата основных производственных рабочих	500	250
2	Дополнительная заработанная плата	125	62,5
3	Отчисления на социальные нужды	157,5	93,75
4	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: $P_{Э.ОБ}$	50	30
5	Итого технологическая себестоимость: $C_{ТЕХ} = Z_{ПЛ.ОСН} + Z_{ДОП} + O_{С.Н.} + P_{Э.ОБ}$	832,5	436,25
6	Общеховые накладные расходы: $P_{ЦЕХ} = Z_{ПЛ.ОСН} \cdot K_{ЦЕХ}$	575	287,5
7	Итого цеховая себестоимость: $C_{ЦЕХ} = C_{ТЕХ} + P_{ЦЕХ}$	906,31	732,75
8	Заводские накладные расходы: $P_{ЗАВ} = Z_{ПЛ.ОСН} \cdot K_{ЗАВ}$	50	25
	Итого заводская себестоимость $C_{ЗАВ} = C_{ЦЕХ} + P_{ЗАВ}$	956,31	757,75

7	Внепроизводственные расходы $P_{ВН} = C_{ЗАВ} \cdot K_{ВНП}$	143,44	113,66
	Всего полная себестоимость $C_{ПОЛ} = C_{ЗАВ} + P_{ВН}$	1099,75	871,41

Снижение себестоимости обработки детали рассчитываем по формуле:

$$\Delta C_{\text{полн.}} = \frac{C_{\text{полн.}}^{\text{баз.}} - C_{\text{полн.}}^{\text{пр.}}}{C_{\text{полн.}}^{\text{баз.}}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{1099,75 - 871,41}{1099,75} \cdot 100\% = 20,7\%$$

Снижение трудоемкости:

$$\Delta t_{\text{шт.}} = \frac{t_{\text{шт.}}^{\text{баз.}} - t_{\text{шт.}}^{\text{пр.}}}{t_{\text{шт.}}^{\text{баз.}}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{10,48 - 5,89}{10,48} \cdot 100\% = 44\%$$

6.2. Расчет показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологии

Ожидаемая прибыль (условно-годовая экономия) от снижения себестоимости обработки детали:

$$П_{ОЖ} = Э_{УГ} = (C_{\text{ПОЛ.БАЗ}} - C_{\text{ПОЛ.ПР}}) \cdot П_{Г} = (1099,75 - 871,41) \cdot 1000 = 228340 \text{ руб}$$

Налог на прибыль:

$$Н_{\text{ПРИБ}} = П_{ОЖ} \cdot K_{\text{НАЛ}} = 228340 \cdot 0,2 = 45668 \text{ руб}$$

Чистая прибыль:

$$П_{\text{ЧИСТ}} = П_{ОЖ} - Н_{\text{ПРИБ}} = 228340 - 45668 = 182675 \text{ руб}$$

Расчетный срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), необходимых для осуществления проектируемого варианта:

$$T_{\text{ОК.РАСЧ}} = \frac{K_{\text{ПР.ОБЩ}}}{П_{\text{Р.ЧИСТ}}} = \frac{200000}{182675} = 1,09 = 1 \text{ год}$$

Годовой экономический эффект от внедрения в технологический процесс более производительного оборудования рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{год.} &= \left[\left(C_{полн.}^{баз.} + E_n \cdot K_{уд.}^{баз.} \right) - \left(C_{полн.}^{пр.} + E_n \cdot K_{уд.}^{пр.} \right) \right] \cdot N_z = \\ &= [1099,75 + 0,33 \cdot 177,58 - (871,41 + 0,33 \cdot 200,47)] \cdot 1000 = 68149,8 \end{aligned}$$

Технико-экономические показатели эффективности введем в таблицу 5.2

Технико-экономические показатели эффективности проекта

Таблица 5.2

№	Наименование показателей	Условное обозначение, единица измерения	Значение показателей	
			Базовый	Проект.
Технические параметры проекта				
1	Количество оборудования	$C_{пр.общ}, шт$	1	1
3	Длительность производственного цикла	$T_{ц}, мин$	10,48	5,89
Экономические показатели проекта				
1	Годовая программа выпуска	$П_{Г}, шт$	1000	
2	Себестоимость единицы изделия	$C_{пол}, руб$	1099,75	871,41
5	Чистая прибыль	$П_{р.чист}, руб$	182675	
6	Налог на прибыль	$Н_{приб}, руб$	45668	
7	Срок окупаемости капитальных вложений	$T_{ок.расч}, лет$	1	

В результате усовершенствования технологии снизилась себестоимость обработки на 20,7 % и трудоемкость обработки на 44 %. Ожидаемая чистая прибыль от снижения себестоимости составила 182675 руб. Годовой экономический эффект от усовершенствования технологии составил 68149,8 руб. Срок окупаемости 1 года.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работе поставленная цель достигнута – разработан технологический процесс изготовления волноводов сложной формы. В рамках работы выполнена оптимизация циклов управления приводами станка с ЧПУ с целью обеспечения заданной точности воспроизводства контура волновода. Разработаны управляющие программы для обработки волноводов на токарных станках с ЧПУ.

Список используемой литературы

1. Основы физики и техники ультразвука: Учебн. пособие для вузов /Б.А. Агранат, М.Н. Дубровин, Н.Н. Хавский и др. – М.:Высш. шк., 1987. – 352 с.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Главн. ред. И.П. Голямина. – М.: «Советская энциклопедия». – 1979. – 400 с.
3. Физика и техника мощного ультразвука // Физические основы ультразвуковой технологии: в 3 т. / под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. – Т. 2. – 658 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т1./ Под ред. А.Г. Касиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и дор. – М.: Машиностроение, 1986 г. – 656 с., ил.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т2./ Под ред. А.Г. Касиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и дор. – М.: Машиностроение, 1986 г. – 496 с., ил.
6. Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник / Под ред. В.И. Гузеева – М.: Машиностроение, 2005 – 368 с.
7. Гжиров Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий, Изд.-во: Машиностроение, 1990. – 58 с.
8. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.: ил.
9. Руководство Turbo PMAC/ Delta TAU Data System. – 2008. – 440 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

T09	цельное твердосплавное сверло CoroDrill® Delta-C 846 Ø 14,5 мм, твердый сплав GC1220.													
A10	XXXXXX	040	4230	Фрезерная	2	312	1P	1	1	1	100	1	0,6	0,83
B11	00200 6M82Ш патрон четырехкулачковый, фреза ВК8, делительная головка, пробка предельная калибр													
A12	XXXXXX	050	4240	Резьбонарезная	2	312	1P	1	1	1	100	1	0,6	0,83
	00200 2H118 патрон трехкулачковый, метчик Р6М5, калибр													