

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(кафедра)

27.03.04 Управление в технических системах.

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы и технические средства автоматизации и управления
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: ГАУ механической обработки промежуточного вала

Студент

Шестаков В.О.

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Токарев Д.Г.

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Тольятти 2018

Аннотация

В бакалаврской работе рассмотрены аспекты проектирования технологического процесса механической обработки промежуточного вала с годовой программой выпуска 4000шт.

Ключевые слова: механическая обработка, заготовка, инструмент, оснастка, оборудование, припуск.

Работа содержит пять разделов, введение ,заключение.

Во введении сформулирована цель работы, а в заключении приводятся выводы по результатам произведенной работы.

При выполнении данной работы были получены следующие результаты:

- Разработана прогрессивная конструкция заготовки, позволяющая получить минимальные припуски на обработку.
- Исследована деталь, проведен анализ служебного назначения детали.
- Выбран метод получения заготовки, сделаны расчеты припусков, разработан чертеж заготовки.
- Выбраны детали-представители и групповая технология, на основе которых разработан перспективный технологический процесс на базе станков с ЧПУ изготовления вала промежуточного, базирующийся на современных достижениях в области методов обработки.
- Разработан технологический маршрут и операционная технология. Спроектированы технологические наладки.
- Выбрано современное оборудование, которое обеспечивает минимальные людские затраты. повышены коэффициенты загрузки оборудования.
- Решена проблема межоперационной транспортировки заготовок, загрузки, выгрузки и переустановки деталей на станках с помощью современных быстродействующих промышленных роботов. Разработано захватное устройство, для которого проведены расчеты и разработаны чертежи.
- Разработана блок-схема оперативного управления ГАУ с возможностью исполнения резидентных программ для выхода из нештатных ситуаций.

- Разработана двухуровневая система управления ГАУ с использованием интеллектуальных датчиков Siemens.

Бакалаврская работа содержит:

- пояснительную записку в размере 74 страницы, 20 таблиц и 20 рисунков.

- Графическую часть.

Содержание

Введение	5
1 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	7
2 ВЫБОР ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	25
3 РАЗРАБОТКА КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	33
4 РАЗРАБОТКА ШИРОКОДИАПАЗОННОГО ЦЕНТРИРУЮЩЕГО ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА.....	45
5 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАК.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	87
Список используемой литературы.....	88

Введение

Автоматизация технологических процессов является одним из решающих факторов повышения производительности и улучшения условий труда.

Автоматизация что обеспечивает стабилизацию (или регулирование) технологического и производственного процессов.

Наибольший эффект автоматизация дает, в основном, в массовом, крупносерийном и среднесерийном производстве.

В отраслях промышленности с различным характером производства методы и средства автоматизации процессов имеют различия, что влечет за собой разные подходы к решению проблемы.

Задачи автоматизации решаются наиболее эффективно тогда, когда они прорабатываются в процессе разработки технологического процесса. Создание эффективных систем автоматизации предопределяет необходимость глубокого изучения технологического процесса.

Автоматизированное производство организует различные варианты отдельных процессов и последовательности их выполнения. Автоматизация производства обеспечивает производство в непрерывном и поточном режиме и высокие скорости выполнения операций обработки.

Для производства массовой или серийной продукции необходим контроль всех операций технологического процесса и возможность, при необходимости, быстрого изменения параметров оборудования.

В этих условиях оператор с помощью автоматизированных средств получает информацию, обеспечивает ее обработку и воздействует на процесс. Роль человека сводится к наблюдению, наладке и регулированию.

Принципы унификации нашли широкое применение в станках с ЧПУ, на основе которых организуются гибкие автоматизированные комплексы. Такие комплексы позволяют повысить производительность и качество изготовления деталей. компоновка, размеры и оснащение комплекса формируются в соответствии с технологическими потребностями заказчика.

Таким образом, в производственных отраслях общая ситуация сводится к дальнейшему развитию, совершенствованию и внедрению в промышленность станков с ЧПУ и гибких автоматизированных комплексов (ГАК).

Выпускная работа по разработке ГАК механической обработки вала промежуточного направлена на разработку перспективного технологического процесса на базе станков с ЧПУ и с применением средств автоматизации, благодаря чему повысятся технико-экономические, временные показатели.

Целью данной работы является снижение трудоемкости изготовления вала промежуточного путем проектирования процесса обработки данной детали на основе его механизации и автоматизации.

В этих целях необходимо:

- провести тщательный анализ и расчет для определения типа производства, метода получения заготовки,
- произвести выбор оборудования,
- на основе этих расчетов спроектировать схему размещения оборудования, построить циклограмму переходов работы спроектированного участка,
- подобрать модель робота,
- спроектировать захватное устройство, провести геометрический, кинематический, силовой, прочностной и точностной расчеты для захватного устройства,
- для спроектированного ГАК разработать двухуровневую систему управления и блок-схему алгоритма управления ГАК.
- на основании расчетов выполнить графическую часть в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и ЕСТП.

1 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Анализ служебного назначения детали

Конструкция детали представлена на чертеже. На нем приведены все необходимые характеристики для изготовления данной детали: размеры, шероховатости, отклонения от номинальных размеров, несоосности в размерах и т.д.

Деталь – «вал промежуточный» – используется для передачи моментов в редукторе. Изготавливается из стали 40ХНМА ГОСТ 4543-71. Из данной стали изготавливают детали с повышенной прочностью, работающих при средних скоростях, и средних удельных давлениях. Производится термическая обработка стали (закалка в масле).

Деталь является телом вращения, поэтому обработка ведется относительно оси вала. Следовательно, ось вала – основная технологическая база. Основной конструкторской базой являются диаметры делительных окружностей шестерней. Для наиболее ответственных участков задана шероховатость Ra 2,5, остальные поверхности Rz20. Конструкция детали позволяет вести обработку нескольких поверхностей одновременно – минимизация рабочего времени изготовления изделия.

Таблица 1.1 включает виды поверхностей детали в соответствии с их номерами на рисунке 1.1.

Таблица 1.1 – Виды поверхностей

Поверхность	Номер
Основная конструкторская база.	8, 9, 13, 14
Вспомогательная конструкторская база	2, 3, 19, 20
Свободные поверхности	1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18

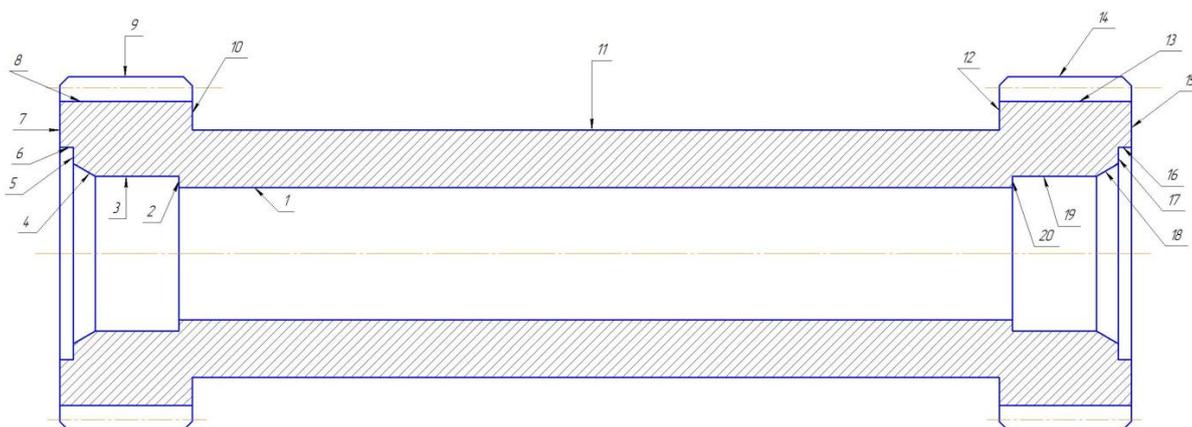


Рисунок 1.1 – Эскиз вала промежуточного

В соответствии со служебным назначением детали особое внимание уделяется выбору методов обработки поверхностей.

1.2 Выбор типа производства и формы организации технологического процесса

Годовая программа выпуска детали, согласно заданию составляет $N_T=4000$ шт. Тогда, тип производства – мелкосерийное производство. Предполагается использовать при разработке технологического процесса станки с ЧПУ, особое внимание уделять механизации и автоматизации основного и вспомогательного оборудования. Предполагается, что на данном оборудовании будет осуществляться обработка заготовок, имеющих общие конструктивно-технологические признаки и типоразмеры. По трудоёмкости деталь вал промежуточный относится к средней трудоёмкости, так как некоторые поверхности детали обрабатываются с применением точных операций. Поэтому, несмотря на то, что данная деталь небольшой массы (вес 2,98 кг) можно принять, что при $N=4000$ шт. в год – массовое производство. Массовое производство характеризуется поточной организацией технологических процессов.

Определим такт выпуска изделия, учитывая, что на данном участке будет обрабатываться не один вид деталей:

$$t_B = \frac{F_D \cdot 60}{\sum N_i}, \quad (1.1)$$

где: F_D – годовой фонд времени работы оборудования, для поточной линии $F_D=3987$ часов. Расчёты показали, что $t_B=7,3$ мин.

1.3 Выбор и проектирование заготовки

Заготовка разрабатываемой детали может получаться путем штамповки на ГКМ или прокатом. Исходные данные по детали:

Деталь – вал промежуточный;

Годовая программа выпуска – 4000 шт.

Отрасль – машиностроение;

Масса детали – 2,98 кг;

Материал – сталь 40ХНМА.

Технико-экономическое обоснование выбора заготовки.

Рассмотрим первый метод получения заготовки - поковка на ГКМ.

Согласно ГОСТ 7505-89 назначаем штамповочные уклоны и радиусы, учитывая, что внутренние радиусы согласно рекомендациям в 3 раза больше наружных, принимаем наружные радиусы закруглений $r=3$ мм; внутренние $R=9$ мм [5, табл. 7]; штамповочные уклоны: внешние – $\alpha=5^\circ$, внутренние – $\alpha=5^\circ$ [5, табл. 18]. Припуски штампуемой заготовки зависят от веса поковки, ее размеров и технических требований чертежа детали, имея в виду то, что поверхности, выполняемые по высокому качеству точности, требуют увеличенного припуска для исключения брака при мехобработке.

Таблица 1.2 – Припуски на мехобработку штампованной заготовки

Размер детали	Ra, мкм	Припуск на сторону, мм		Допуск, мм	
		табличный	расчетный	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение
Ø56	2,5	2·2	2·1,7	+1,5	-0,9

Ø80	2,5	2.2		+1,7	-1,0
243	2,5	2.5		+3,75	-3,25

Стоимость заготовки:

$$S_{\text{загшт}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_n \right) - Q - q \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000}, \quad (1.2)$$

где C_i – стоимость тонны заготовок, руб.

Для штамповок:

$$C_i = 20700 \text{ руб/т};$$

q – масса детали,

$$q = 2,98 \text{ кг.}$$

Q – масса заготовки, кг.

$$Q = 4,26 \text{ кг.}$$

$K_{\text{им}} = q/Q = 2,98/4,26 = 0,7$ – коэффициент использования материала для заготовки, получаемой штамповкой.

K_T – коэффициент, зависящий от класса точности заготовки.

Принимаем для штамповок нормальной точности $K_T = 1,0$;

K_M – коэффициент, учитывающий марку материала штамповки.

Для стали 40 ХНМА $K_M = 1,79$;

K_B – коэффициент, учитывающий массу штамповок.

Для заготовки из стали 40 ХНМА массой 2,98 кг $K_B = 1,0$;

K_C – коэффициент, учитывающий группу сложности отливок.

Для заготовки из стали 40 ХНМА 2 группы сложности $K_C = 0,9$ [1, табл. 2.12];

K_n – коэффициент, учитывающий объем производства; $K_n = 1$;

$S_{\text{отх}}$ – цена за 1 тонну отходов, руб. Для стальной стружки принимаем по [1, табл. 2.7] $S_{\text{отх}} = 1730 \text{ руб/т}$.

Подставив значения стоимостей и коэффициентов в формулу (1.2), получим:

$$S_{заг\text{шт}} = \left(\frac{20700}{1000} \cdot 4,26 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1,79 \cdot 1 \right) - (4,26 - 2,98) \cdot \frac{1730}{1000} = 139,85 \text{ руб/шт.}$$

Рассмотрим второй вариант изготовления заготовки – прокат.

Стоимость заготовки в этом варианте:

$$S_{заг\text{ пр}} = M + \Sigma C_{0,3} \quad (1.3)$$

где: M – материальные затраты, руб;

$\Sigma C_{0,3}$ – себестоимость предварительных технологических операций.

Материальные затраты:

$$M = QS - (Q - q) \frac{S_{отх}}{1000}, \quad (1.4)$$

где

S – стоимость 1 кг пруткового материала заготовки в рублях.

Для стали 40ХНМА S=17,65 руб. за кг.

Q – масса заготовки из прутка.

Q=9,3 кг.

q – масса готовой детали, кг.

q=2,98 кг.

$K_{им} = q/Q = 2,98/9,3 = 0,32$ – коэффициент использования материала для заготовки из проката.

$S_{отх}$ – цена 1 тонны отходов, руб.

$S_{отх} = 1730$ руб/т

Окончательно, материальные затраты

$$M = 9,3 \cdot 17,65 - (9,3 - 2,98) \frac{1730}{1000} = 153,3$$

Отрезка заготовки:

$$C_{0,3} = \frac{C_{п.з} \cdot T_{шт}}{60}, \quad (1.5)$$

где

$C_{п.з}$ – приведенные затраты, руб./час.

Затраты отрезки заготовки:

$C_{п.з.} = 6,98$ руб/час.

$T_{шт}$ – штучное время на операции заготовки, мин.

$$T_{шт} = \frac{d}{S_M}, \quad (1.6)$$

где d – диаметр разрезаемого прутка. В нашем случае $d=100$ мм;

S_M – минутная подача инструмента, которую можно принять равной 80 мм/мин.

Тогда $T_{шт}=1,25$ мин.

Таким образом, стоимость отрезки:

$$C_{0.3} = \frac{6,98 \cdot 1,25}{60} = 1,45 \text{ руб.}$$

Затраты на обработку заготовки определим по приближенным формулам.

Время снятия 1-го напуска:

$$T_0 = 0.17 \cdot 10^{-3} \cdot d \cdot l \cdot i \cdot K_x, \quad (1.7)$$

где

d – диаметр заготовки при каждом рабочем ходе, мм.

l – длина рабочего хода.

i – число рабочих ходов для снятия напуска

K_x – коэффициент холостых ходов, принимаем $K_x=1.5$

Чтобы удалить напуск с прутковой заготовки до размеров штампованной заготовки, необходимо уменьшить размер с диаметра с 100 до 84 мм, т. е. глубина будет равна $(100-84)/2=8$ мм.

При таких условиях на станке максимальная глубина резания составляет 3...5 мм.

Примем $t = 5$ мм, тогда $i = 8/5 \approx 2$ прохода. Длина рабочего хода равна $l = 253$ мм.

Подставив, данные в формулу (1.7), получим

$$T_0 = 10^{-3} \cdot 0,17 \cdot 84 \cdot 253 \cdot 2 \cdot 1,5 = 10,8 \text{ мин.}$$

Стоимость 1 станкоминуты составляет 12000 коп/час [4], тогда

$$T_0 = 10,8 \cdot 200 = 2160 \text{ коп.} = 21,60 \text{ руб.}$$

Полная стоимость прокатной заготовки с учетом последующих механических операций:

$$S_{\text{ЗАГ ПР}} = 153,3 + 1,45 + 21,6 = 176,35 \text{ руб.}$$

Окончательно принимаем метод получения заготовки поковкой, что дает экономию по сравнению с отрезкой из проката в размере

$$\Delta S_{\text{ЗАГ}} = (S_{\text{ЗАГ ПР}} - S_{\text{ЗАГ ШТ}}) \cdot N = (176,35 - 139,85) \cdot 4000 = 146000 \text{ руб.}$$

1.4 Расчёт припусков на механическую обработку

Определим припуски механической обработки поверхности Ø56. Последовательность обработки поверхности включает: однократное точение и шлифование.

Минимум припуска на обработку поверхности вала:

$$2Z_{i_{\min}} = 2((Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta \cdot \Sigma_{i-1} + \xi_i^2}), \quad (1.8)$$

где

Rz_{i-1} – профильная высота неровностей на предыдущем переходе;

h_{i-1} – величина дефекта поверхности, полученная на предыдущем переходе.

$\Delta \Sigma_{i-1}$ – отклонение положения поверхности обработки по отношению к технологическим базам, полученное на предшествующем переходе.

ξ_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Расчёт припусков при обработке поверхности Ø56 приведён в таблице 1.3.

Для заготовки, полученной штамповкой на ГКМ после пескоструйной очистки, обеспечивается шероховатость $Rz200$ при глубине дефектного слоя 200 мкм. При однократном точении соответствующие параметры равны $Rz32$ и 30 мкм. После шлифования шероховатость равна $Rz10$ (согласно чертежу).

Суммарное пространственное отклонение заготовки [1, стр. 186]:

$$\rho_{\Sigma} = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2}, \quad (1.9)$$

где: $\rho_{кор}$ – величина коробления, мкм;

$\rho_{см}$ – несоосность элементов из-за технологии штамповки, мкм.

Таблица 1.3 – Расчёт припусков на обработку поверхности Ø56

Технологические переходы	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $2Z_{min}$, мм	Расчетный размер d_p мм	Технологический допуск T_d , мм	Предельные размеры, мм		Предельные значения припусков, мм	
	Rz	h	$\Delta\Sigma$	ϵ				d_{min}	d_{max}	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Заготовка	200	200	734			58,466	1,5	58,5	60		
Однократное точение	32	30	37	0	2,268	56,198	0,3	56,2	56,5	2,3	3,5
Шлифование	10	10	15	0	0,198	56	0	56	56	0,2	0,5
Итого										2,5	4,0

$$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l = 1,8 \cdot 121,5 = 219 \text{ мкм} . \quad (1.10)$$

где: $\Delta_k=1,8$ мкм - удельная кривизна заготовки (мкм) на 1 мм [2, стр. 186]

$$l = \frac{L}{2} = \frac{243}{2} = 121,5 \text{ мм}.$$

$\rho_{см} = 700$ мкм, по [2, стр. 187].

$$\rho_{\Sigma} = \sqrt{0,219^2 + 0,7^2} \approx 0,734 \text{ мм} . \quad (1.11)$$

Пространственные отклонения на последующих переходах:

$$\rho_{\Sigma i} = K_y \cdot \rho_{\Sigma} , \quad (1.12)$$

где

K_y – коэффициент уточнения формы:

для однократного точения $K_y=0,05$;

для шлифования $K_y=0,02$.

После однократного точения: $\rho_{\Sigma 1} = 0,05 \cdot 0,734 = 0,0367$ мм;

после шлифования: $\rho_{\Sigma 2} = 0,02 \cdot 0,734 = 0,01468$ мм.

При установке на токарную и шлифовальную операции в центрах $\varepsilon=0$ мкм, т. к. установка в центрах не дает погрешности закрепления.

Минимальный припуск:

- под однократное обтачивание:

$$2z_{\min} = 2 \cdot \left(200 + 200 + \sqrt{734^2 + 0^2} \right) = 2268 \quad \text{мкм};$$

- под шлифование:

$$2z_{\min} = 2 \cdot \left(32 + 30 + \sqrt{37^2 + 0^2} \right) = 198 \quad \text{мкм}.$$

Расчётный размер определяется последовательным прибавлением припусков на технологических переходах:

$$d_{p2} = 56 + 0.198 \approx 56,198 \quad \text{мм};$$

$$d_{p1} = 56,198 + 2,268 = 58,466 \quad \text{мм}.$$

Наименьшие предельные размеры определяются путем округления расчетного размера в сторону увеличения.

Максимальные предельные размеры определяются суммированием допуска с округленным значением наименьшего предельного размера:

$$d_{\max 3} = 56 + 0 = 56 \quad \text{мм};$$

$$d_{\max 2} = 56,2 + 0,3 = 56,5 \quad \text{мм};$$

$$d_{\max 1} = 58,5 + 1,5 = 60 \quad \text{мм}.$$

Максимальная величина припусков рассчитывается разностью максимальных предельных размеров:

$$2Z_{\max i} = d_{\max i} - d_{\max i-1} \quad \text{мм}; \quad (1.13)$$

где

$d_{\max i}$ – наибольший предельный размер на текущем переходе, мм;

$d_{\max i-1}$ – наибольший предельный размер на предыдущем переходе,

мм.

$$2Z_{\max 2} = 56,5 - 56 = 0,5 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max 1} = 60 - 56,5 = 3,5 \text{ мм}.$$

Минимальные значения припусков:

$$2Z_{\min i} = d_{\min i} - d_{\min i-1} \text{ мм}; \quad (1.14)$$

где: $d_{\min i}$ – наименьший предельный размер на текущем переходе, мм;

$d_{\min i-1}$ – наименьший предельный размер на предыдущем переходе, мм.

$$2Z_{\min 2} = 56,2 - 56 = 0,2 \text{ мм};$$

$$2Z_{\min 1} = 58,5 - 56,2 = 2,3 \text{ мм}.$$

Номинальный припуск определяется с учетом несимметричного расположения поля допуска заготовки:

$$Z_{\text{ном}} = Z_{0 \min} + H_z - H_d \text{ мм};$$

$$Z_{\text{ном}} = 2500 + 800 - 20 = 3280 \text{ мкм};$$

$$d_{\text{ном}} = 56 + 3,28 = 59,28 \approx 59,3 \text{ мм};$$

Операционные размеры на переходы:

заготовка $\varnothing 58,5^{+1,5} \text{ мм};$

однократное точение $\varnothing 56,2^{+0,3} \text{ мм};$

чистовое шлифование $\varnothing 56 \text{ мм}.$

1.5 Выбор метода обработки поверхностей детали

Последовательность обработки поверхностей детали соответствует их заданной точности и шероховатости.

Таблица 1.4 - Последовательность методов обработки поверхностей детали

Номер поверхности	Квалитет точности	Шероховатость	Методы обработки
-------------------	-------------------	---------------	------------------

7, 15		Ra2.5	Фрезерование
1	12	Ra5	Сверление
2,3,4,5,6,16,17, 18,19,20		Ra2,5	Зенкерование
10, 11, 12	12	Ra6,3	Однократное точение
11		Ra2,5	шлифование
9,8,13,14		Ra2.5	Точение, зубофрезерование, зубошлифование

Разрабатывая технологический маршрут обработки, учитываем следующее:

1. Операции разрабатываем с учетом выполнения переходов на одном станке с одного устройства.
2. Желательно использовать станки типа обрабатывающий центр.
3. Желательно использовать комбинированный режущий инструмент, оснащённый многогранными сменными пластинками, изготовленными из твердого сплава.
4. Станочные приспособления использовать с механизированными зажимными устройствами.

Разработанный технологический процесс включает следующие технологические операции:

000 – заготовительная, 005 – фрезерно-центровальная, 010 – токарная, 015 – токарная, 020 – сверлильная, 025 – зенкерная, 030 – сверлильная, 035 – зенкерная, 040 – зубофрезерная, 045 – зубофрезерная, 050 – термическая, 055 – шлифовальная, 060 – зубошлифовальная, 065 – контрольная

При выборе оборудования будем руководствоваться принципами, изложенными выше и обеспечивающими наибольшую производительность, гибкость и экологическую безопасность. При выборе конкретных моделей станков учитывалась обязательная возможность работы их по программе, т.е. наличие у станка числового программного управления (ЧПУ).

Для операций 005 был выбран станок МР-77 – горизонтальный фрезерно-центровальный станок.

План обработки детали представлен на рисунке 1.2.

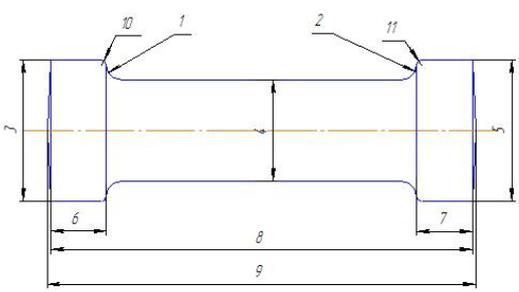
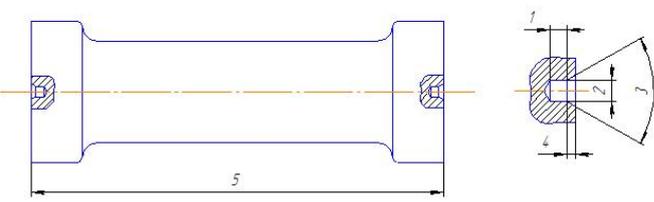
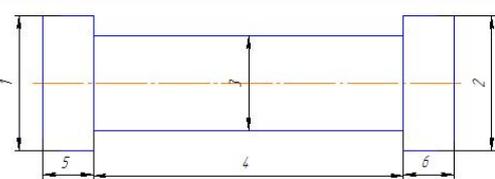
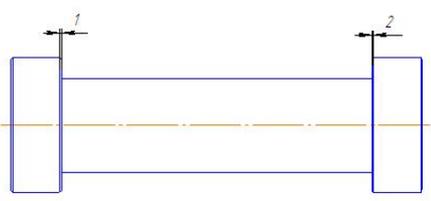
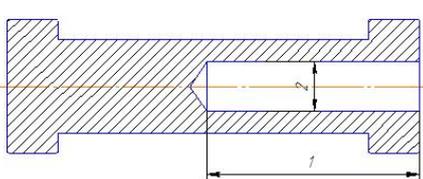
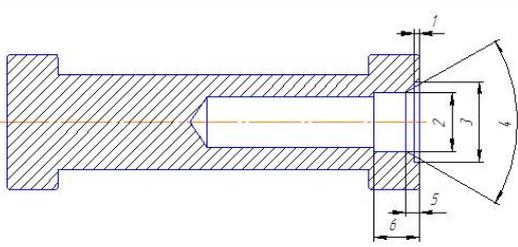
<i>План обработки вала компрессора "Татка" 545/348</i>			
<i>Номер, код, наименование операции</i>	<i>Наименование модель станка</i>	<i>Операционный эскиз</i>	<i>Размеры</i>
1	2	3	4
000 <i>Заготовительная</i>			1,2-9 3,5- $\phi 84$ ^(+0,1) _(-0,1) 4- $\phi 60$ ^(+0,1) _(-0,1) 6,7-33 ^(+0,5) _(-0,5) 8-249 ^(+0,1) _(-0,1) 9-253 10,11-3
005 <i>Фрезерно-центральная</i>	<i>Фрезерно-центровальный полуавтомат модели МР-77</i>		1-5 2- $\phi 6,3$ 3-60° 4-2,54 5-243
010 <i>Токарная</i>	<i>Токарный станок с ЧПУ 16А20БФ3</i>		1,2- $\phi 80$ 3- $\phi 56,2$ ^(+0,3) _(-0,0) 4-183 5,6-30
015 <i>Токарная</i>	<i>Токарный станок с ЧПУ 16А20БФ3</i>		1,2-2x45°
020 <i>Сверлильная</i>	<i>Токарный станок с ЧПУ 1716ПФ4</i>		1-125 2- $\phi 30$
025 <i>Зенкерная</i>	<i>Токарный станок с ЧПУ 1716ПФ4</i>		1-3 2- $\phi 35$ ^{+0,025} 3- $\phi 4,8$ 4-60° 5-8 6-27

Рисунок 1.2 – План обработки

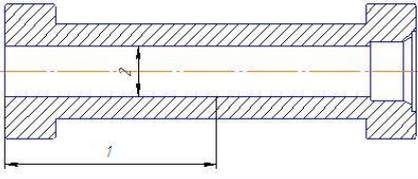
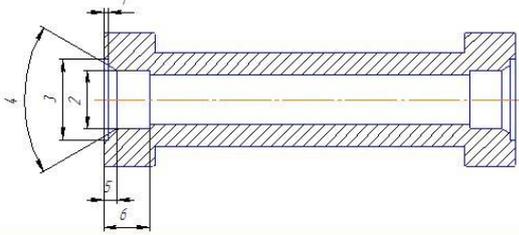
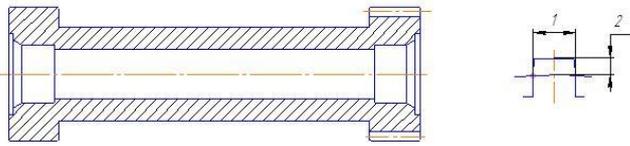
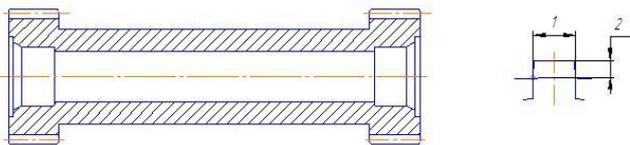
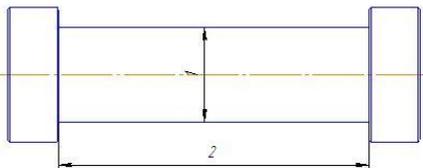
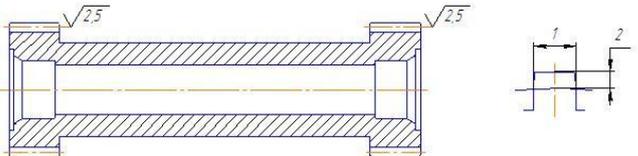
<i>План обработки вала компрессора "Татка" ь545/348</i>			
1	2	3	4
030 <i>Сверлильная</i>	<i>Токарный станок с ЧПУ 1716ПФ4</i>		1-125 2- $\phi 30$
035 <i>Зенкерная</i>	<i>Токарный станок с ЧПУ 1716ПФ4</i>		1-3 2- $\phi 35^{+0.025}$ 3- $\phi 48$ 4- 60° 5-8 6-27
040 <i>Зубофрезерная</i>	<i>Зубофрезерный станок с ЧПУ 53A32Ф6</i>		1-3,17 2-2,5
045 <i>Зубофрезерная</i>	<i>Зубофрезерный станок с ЧПУ 53A32Ф6</i>		1-3,17 2-2,5
050 <i>Термическая</i>		<i>Закалка 840-860° С, масло</i> <i>Отпуск 600-650° С, масло</i>	
055 <i>Шлифовальная</i>	<i>Круглошлифовальный станок с ЧПУ MKS1320H</i>		1- $\phi 56$ 2-183
060 <i>Зубошлифовальная</i>	<i>Зубошлифовальный станок модели VAS 385</i>		1-3,14 2-2,5
065 <i>Контрольная</i>	<i>Контрольный стенд</i>	<i>Контроль точностных размеров</i>	

Рисунок 1.2 (продолжение) – План обработки

Для операций 010-015 был выбран станок 16A20БФ3 – токарный горизонтальный станок с числовым программным управлением.

Для операций 020-035 был выбран станок 1716ПФ4 – токарный горизонтальный станок с числовым программным управлением.

Для операции 040-045 был выбран станок 53A32Ф6 – горизонтальный зубофрезерный станок с числовым программным управлением.

Для операции 055 был выбран станок MKS1320H – горизонтальный круглошлифовальный станок с числовым программным управлением.

Для операции 060 был выбран станок CNCKAPPVAS 385 – горизонтальный зубошлифовальный станок с числовым программным управлением.

1.6 Расчеты режимов обработки

Разработка токарной операции

Выбор режущего инструмента и оснастки

Для выполнения токарной операции 010 предполагается использовать резец лопаточный специальный T15K6 ГОСТ 20872-80.

Деталь устанавливается в центрах.

Расчет режимов обработки

Проведем расчет режимов резания для поверхностей 10, 11, 12.

Согласно технологическому процессу, глубину резания принимаем равной $t=2$ мм. Подача S при диаметре детали 40...60 мм, державке резца 16×25 и глубине резания $t \leq 3$ мм рекомендуется принять равной 0,5...0,9 мм/об. Принимаем $S=0,7$ мм/об.

При этом скорость резания:

$$V = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}, \quad (1.15)$$

где: C_V – поправочный коэффициент, равный $C_V=350$ для подач в пределах $S=0.3-0.7$ мм/об;

T – стойкость инструмента. Средняя стойкость инструмента при одноинструментной обработке равна 30-60 мин. Принимаем $T=60$ мин.

m, x, y – показатели степени, равные соответственно 0.20, 0.15, 0.35 для подач в пределах $S=0.3-0.7$ мм/об.

K_v – коэффициент, являющийся произведением коэффициентов материала заготовки $K_{mv}=0,75$, поверхностного состояния заготовки $K_{pv}=0,8$, качество материала инструмента $K_{uv}=1$, для данной операции $K_v=0,6$.

Подставив найденные коэффициенты в формулу 1.15, найдем скорость резания:

$$V = \frac{350 \cdot 0,6}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,7^{0,35}} = 94,5 \quad \text{м/мин}$$

Частота вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 94,5}{3,14 \cdot 56} = 537,4 \text{ об/мин}, \quad (1.16)$$

Сила резания:

для конструкционных сталей, обрабатываемых твердосплавным инструментом при наружном продольном и поперечном точении для:

тангенциальной P_z	$C_p=300$	$x=1.0$	$y=0.75$	$n=-0.15$
радиальной P_y	$C_p=243$	$x=0.9$	$y=0.6$	$n=-0.3$
осевой P_x	$C_p=339$	$x=1.0$	$y=0.5$	$n=-0.4$

Найдем тангенциальную составляющую по формуле:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (1.17)$$

Поправочный коэффициент K_p представляет произведение следующих коэффициентов:

$$K_{mp} = 1,05$$

$$K_{\phi p} = 0,89 \text{ для главного угла в плане } \phi_0 = 90^\circ$$

$$K_{\gamma p} = 1,1 \text{ для переднего угла } \gamma = 0^\circ$$

$$K_{\lambda n} = 1 \text{ для угла наклона главного лезвия } \lambda = -5^\circ$$

$$K_{rp} = 0,93 \text{ для радиуса при вершине } 1,0 \text{ мм}$$

$$Kp = 0.89 \cdot 1.1 \cdot 1 \cdot 0.93 = 0.91$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^1 \cdot 0.7^{0.75} \cdot 94,5^{-0.15} \cdot 0.91 = 2112,1H$$

Мощность резания определяется по формуле:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (1.18)$$

$$N = \frac{2112,1 \cdot 94,5}{1020 \cdot 60} = 3,26 \text{ кВт.}$$

1.7 Расчет норм времени

Токарная операция

Время выполнения операции оценивается штучным временем, которое рассчитывается по формуле:

$$T_{шт} = T_o + T_{вс} + T_{об} + T_{от}, \quad (1.19)$$

где

T_o – основное время, мин.

$T_{вс}$ – вспомогательное время, мин.

$T_{об}$ – техническое время обслуживания станка, мин.

$T_{от}$ – личное время, мин.

Станочное время точения:

$$\dot{O}_o = \frac{L}{n \cdot S_o} i, \quad (1.20)$$

где

L – расчетная величина рабочего хода инструмента, мм.

n – частота вращения шпинделя, об/мин.

S_o – подача на оборот шпинделя, мм/об.

i – количество проходов инструмента.

Величина рабочего хода рассчитывается так:

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (1.21)$$

где

l – длина обрабатываемой поверхности. Для данного перехода $l=183$ мм.

l_1 – расстояние врезания инструмента, мм. $l_1=2$ мм.

l_2 – расстояние перебега инструмента, мм. $l_2=0$ мм.

Значения подставляем в формулу (1.21). В результате получаем:

$$L = 183 + 2 = 185 \text{ мм.}$$

По данным, рассчитанным ранее: $n=537,4$ об/мин, $S_o=0,7$ мм/об, $i=1$.

$$T_o = \frac{185}{537,4 \cdot 0,7} \cdot 1 = 0,49 \text{ мин.}$$

Вспомогательное время в данном переходе включает составляющие:

$$T_{ec} = T_{yc} + T_{yn}$$

где

T_{yc} – время на установку, закрепление, переустановку и снятие заготовки:

$$T_{yc} = 0,08 \text{ мин.}$$

T_{yn} – управляющее время станка:

$$T_{yn} = 0,05 \text{ мин.}$$

Тогда $T_{ec} = 0,08 + 0,05 = 0,13$ мин.

Время на обслуживание рабочего местарассчитаем по формуле:

$$T_{OB} = T_{TEX} + T_{ОРГ}, \quad (1.22)$$

где

T_{TEX} – техническое время обслуживания, мин;

$T_{ОРГ}$ – организационное время обслуживания, мин.

Для токарных операций техническое время обслуживания:

$$T_{TEX} = \frac{T_O \cdot t_{CM}}{T}, \quad (1.23)$$

где

t_{CM} – время на наладку настройку станка, мин;

T – период работы одним инструментом, мин.

Принимаем $t_{CM} = 1,5$ мин.

$$T_{TEX} = \frac{0,49 \cdot 1,5}{60} = 0,012 \text{ мин.}$$

Организационное время обслуживания:

$$T_{ОРГ} = \frac{T_{ОП} \cdot П_{ОРГ}}{100}, \quad (1.24)$$

где

$T_{ОП}$ – оперативное время, мин.

$T_{ОП}$ находится по формуле:

$$T_{ОП} = T_{О} + T_{ВС}.$$

$$T_{ОП} = 0,49 + 0,13 = 0,62 \text{ мин.}$$

где

$П_{ОРГ}$ – затраты на организационное обслуживание рабочего места, %.

Принимаем $П_{ОРГ} = 1,7\%$.

$$T_{ОРГ} = \frac{0,62 \cdot 1,7}{100} = 0,011 \text{ мин.}$$

По формуле (1.22) вычисляем время на обслуживание рабочего места:

$$T_{ОБ} = 0,012 + 0,011 = 0,023 \text{ мин.}$$

Личное время составляет 6% от суммы основного и вспомогательного времени:

$$T_{ОТ} = 0,06 \cdot (T_{о} + T_{сc}) = 0,06 \cdot (0,49 + 0,13) = 0,04 \text{ мин.}$$

Найдем штучное время операции по формуле (1.19):

$$T_{шт} = 0,49 + 0,13 + 0,023 + 0,04 = 0,68 \text{ мин.}$$

Аналогично проводится выбор рабочего инструмента и оснастки, расчет режимов обработки и времени выполнения остальных операций, на основе чего разрабатывается операционная технология.

2 ВЫБОР ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Выбор и обоснование технологических операций для автоматизации

Технология обработки детали включает десять технологических операций (таблица 2.1).

Таблица 2.1 Технологические операции обработки детали

№ операции	Наименование	Оборудование
005	Одновременное двухстороннее фрезерование торцов, центрование	Фрезерно-центровальный полуавтомат МР-77.
010	Обтачивать деталь по контуру	Токарный станок 16А20БФ3
015	Снимать фаски	Токарный станок 16А20БФ3
020	Сверление отверстия	Токарный полуавтомат 1716ПФ4
025	Зенкерование отверстия	Токарный полуавтомат 1716ПФ4
030	Сверление отверстия	Токарный полуавтомат 1716ПФ4
035	Зенкерование отверстия	Токарный полуавтомат 1716ПФ4
040	Фрезеровать зубья первой шестерни	Зубофрезерный станок с ЧПУ 53А32Ф6
045	Фрезеровать зубья второй шестерни	Зубофрезерный станок с ЧПУ 53А32Ф6
050	Термообработка.	Термический цех
055	Шлифовать цилиндрические поверхности.	Круглошлифовальный станок с ЧПУ МКС1320Н
060	Шлифовать зубья шестерен	Зубошлифовальный полуавтомат с ЧПУ CNCKAPPVAS 385.
065	Контрольная	Контрольный стол.

Автоматизировать можно все операции, предусмотренные по технологическому маршруту, но выбрана и подробно проработана часть маршрута, включающая следующие операции: 010 – токарная, 015 – токарная, 020 – сверлильная, 025 – зенкерочная, 030 – сверлильная, 035 – зенкерочная, 040 – зубофрезерная, 045 – зубофрезерная. Данные операции

составляют наиболее существенную часть технологического маршрута. После операции 045 изделие отправляется в термический цех, а затем обрабатывается на отдельном участке.

2.2 Выбор основного и вспомогательного технологического оборудования

Выбор основного оборудования

Для выполнения технологических операций было выбрано основное оборудование:

- операции 010-015 – токарный станок 16К20БФ3;
- операции 020-035 – токарный полуавтомат 1716ПФ4 (таблица 2.2);
- операции 040-045 – зубофрезерный станок 53А32Ф6.

Токарный станок 16А20БФ3

Токарный станок 16А20БФ3 предназначен для токарной обработки в полуавтоматическом режиме различных типа тел вращения различного профиля.

Высокопрочная станина, прецизионная термokonстантная шпиндельная бабка. Зона обработки может быть оснащена как линейной наладкой, так и револьверной головкой.

Токарный полуавтомат 1716ПФ4

Полуавтомат модели 1716ПФ4 (SAMAT 160NC4) предназначен для высокопроизводительной обработки деталей типа тел вращения из любых материалов. Оснащен 12-позиционной головкой с вращающимся инструментом. Класс точности-П.

Таблица 2.2 – Технические характеристики станка 1716ПФ4

Наибольший диаметр устанавливаемого изделия	
над станиной и суппортом, мм	384 и 160
Диаметр отверстия в шпинделе, мм	63
Длина устанавливаемого изделия, мм	750
Количество позиций инструментальной головки	12
в том числе с приводным инструментом	6

Мощность приводов, кВт:	
главного движения	11 или 15
вращающегося инструмента	2,1
Частоты вращения шпинделя, об/мин:	
главного	10-4000
фрезерно-сверлильного	5-2000
Количество управляемых осей координат:	
всего/одновременно	3/3
Дискретность перемещения по координатам	0,001
Диапазон программируемых подач:	
по осям "Z" и "X", мм/об.	0,001-20
по оси "С", град/об.	0,001-50
Вид ЧПУ	Контурноесобратной связью
Масса, кг.	4600
Габариты станка, мм:	
длина	3650
ширина	1850
высота	2000

Зубофрезерный станок с ЧПУ53А32Ф6

Данный станок выполняет фрезерование зубчатых колес в условиях серийного и массового производства.

Изготовление колес выполняется обкаткой червячной фрезы и обрабатываемой заготовки.

Система ЧПУ для станков 53А32Ф6-Siemens, Fagor , Fanuc-по желанию заказчика

Выбор вспомогательного оборудования

Использование промышленных роботов в ГАК необходимо для:

- загрузки заготовок на технологическую позицию станков;
- снятия изготовленных деталей и помещения их в выходное устройство (накопитель);
- перемещения деталей между основным технологическим оборудованием.

В качестве межоперационного транспорта были выбраны следующие роботы: РПМ-25.03 и Универсал – 5.02.

Промышленный робот модульной конструкции типа РМП-25 выполняет автоматизацию транспортных операций для обслуживания различного

технологического оборудования, а также технологических операций (сварка, окраска, сборка).

Техническая характеристика промышленного робота РМП-25.03 приведена в таблице 2.3. Общий вид промышленного робота РМП-25.03 приведен на рис. 2.1.

Таблица 2.3 – Технические характеристики робота РМП-25.03

Техническая характеристика	Значение
Грузоподъемность, кг	25
Число степеней подвижности	7
Наибольшие перемещения по координатным осям:	
X, мм	500
A, °	300
Y, мм	1000
B ₁ , °	90
B ₁ , °	75
C, °	300
D, °	350
E, °	180
Максимальная скорость перемещения вдоль осей:	
X, м/с	0,5
Y, м/с	1,5
A, °/с	150
B ₁ , °/с	65
B ₂ , °/с	32,5
C, °/с	135
D, °/с	200
E, °/с	100
Максимальная точность позиционирования, рад (мм):	
с аналоговыми датчиками	$\pm 0,4 \times 10^{-3}$ ($\pm 0,5$)
с кодовыми датчиками	$\pm 0,1 \times 10^{-3}$ ($\pm 0,125$)
Масса (вместе с устройством управления), кг	690

Длина монорельсов может быть выполнена по требованию заказчика.

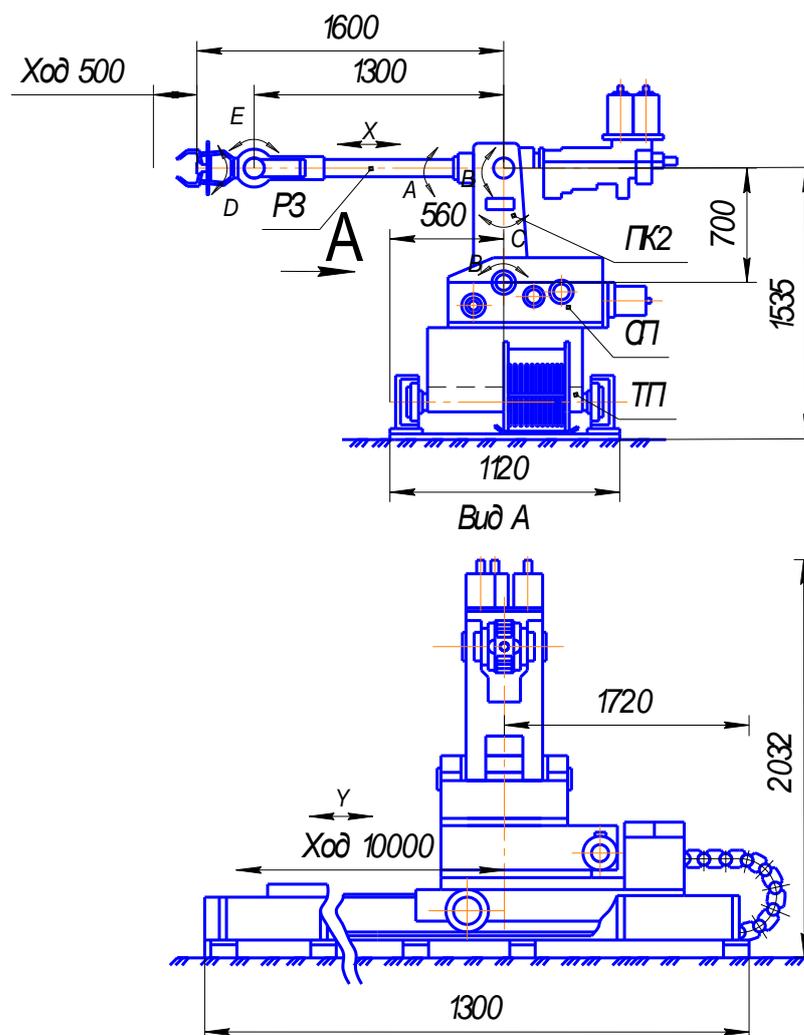


Рисунок 2.1 – Общий вид робота РРМ-25.03

Многоцелевой промышленный робот Универсал 5.02 используется при автоматизации транспортных работ, связанных с обслуживанием транспортно-складских систем и технологического оборудования, в том числе при перемещении деталей между технологическим оборудованием.

Общий вид и параметры рабочей зоны промышленного робота Универсал 5.02 приведены на рис. 2.2.

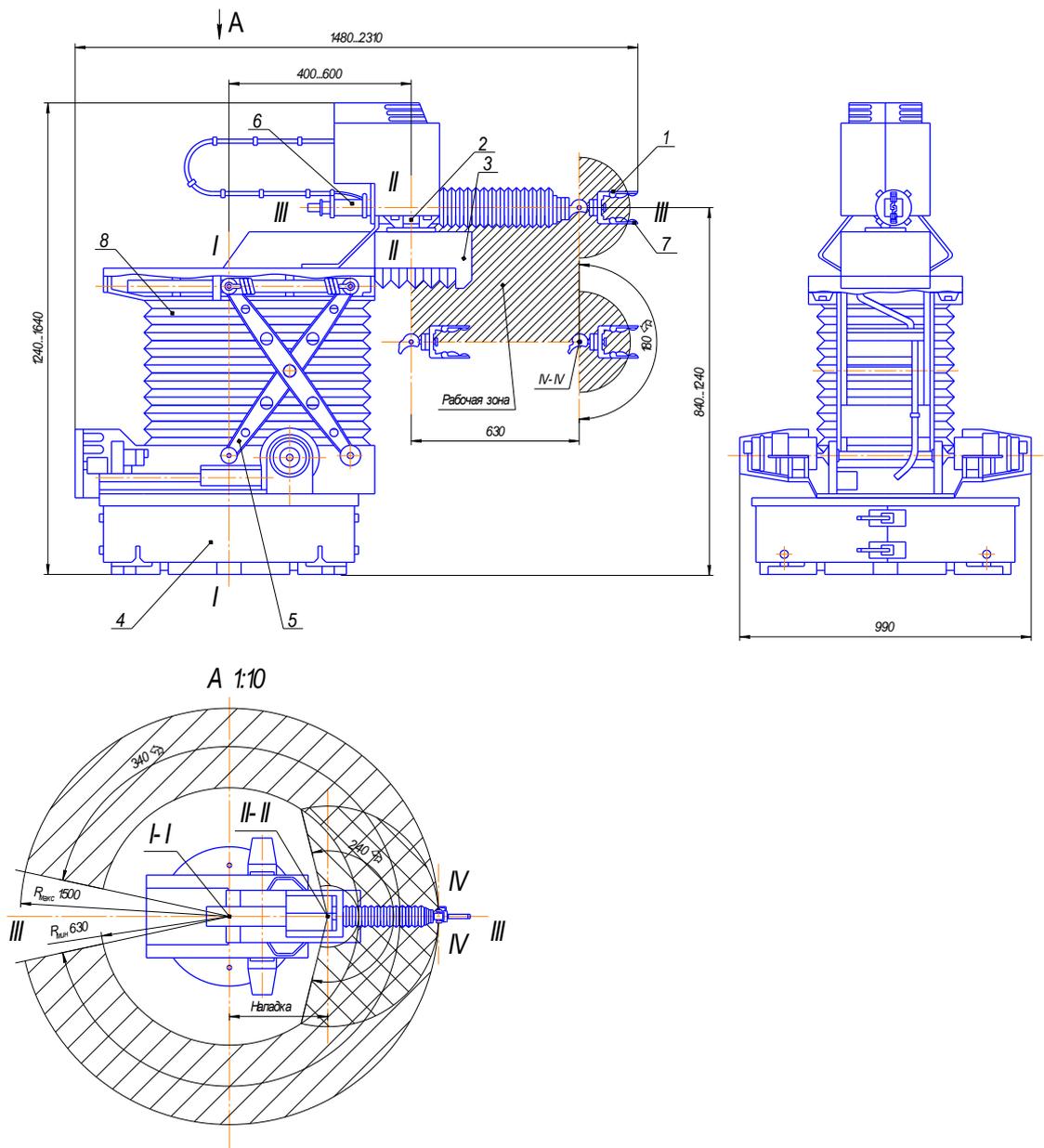


Рисунок 2.2 – Общий вид робота Универсал-5.02 и параметры его рабочей зоны

Выбор транспортной системы и тары

Оборудование ГАК обеспечивает автоматизацию операций изготовления детали. Среди этих операций нет заготовительной и фрезерно-центровальной. Эти операции происходят в другом цехе и заготовка должна подаваться на проектируемый участок. Это будет происходить путем подвоза погрузчиком заготовок в кассете. Робот будет разгружать кассету и перемещать заготовку далее по оборудованию.

Для перемещения изделий между роботами применяется транспортирование самотечным способом – под действием силы тяжести, с помощью транспортных лотков, выполняющих направляющую и несущую функции.

Параметры лотков: предельная скорость – 0,85 м/с, рекомендуемый угол наклона лотка – 5°.

После процесса обработки на ГАК получается полуфабрикат. Для дальнейшей обработки необходимо транспортировать деталь в другой цех. Для этой цели используются контейнеры.

Система удаления стружки

Стружкоуборочные конвейеры монтируются под оборудованием в виде каналов или на полу с учетом стружкоуборочных возможностей оборудования.

На токарном станке 16А20БФ3 стружкоуборка производится при помощи транспортера (рис. 2.3).

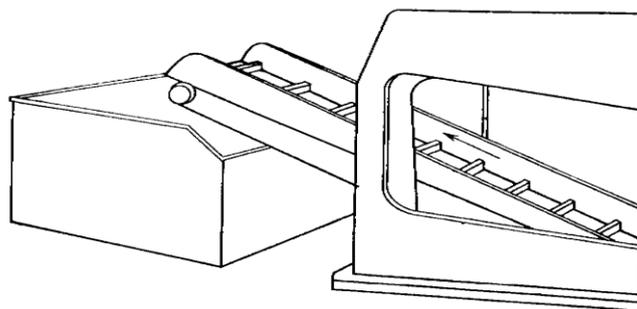


Рисунок 2.3 – Стружкоуборочный транспортер

На токарном (1716ПФ4) и зубофрезерном (53А32Ф6) станках стружка удаляется с помощью винтового конвейера (рис. 2.4), а затем выводится из зоны ГАК и накапливается в контейнере.

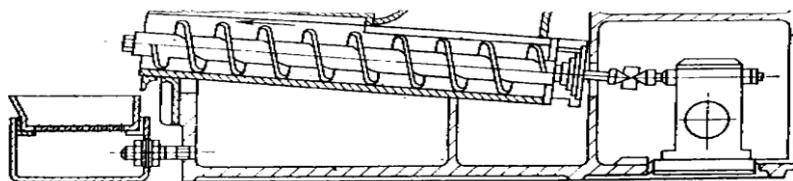


Рисунок 2.4 – Винтовой конвейер

Обеспечение безопасности ГАК

Выбранное оборудование ГАК размещено с учетом необходимых требований, учитывающих удобство и безопасность обслуживания: ограничен доступ к работающему оборудованию, рабочее место оператора оснащено кнопкой общей остановки.

Система лотков и конвейеров не представляет серьезной опасности для человека и поэтому специальное ограждение не требуется. По периметру ГАК оснащен ограждением. Высота ограждения превышает максимальную высоту точек рабочей зоны роботов и составляет 2 м.

Также предусмотрена аварийная сигнализация в случае нештатных ситуаций.

3 РАЗРАБОТКА КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Для того чтобы выбрать оптимальную компоновочную схему, необходимо иметь несколько вариантов размещения оборудования. Составим две компоновочные схемы с применением двух различных роботов, а затем сравним варианты и выберем рациональный.

3.1 Первая компоновочная схема

Структура ГАК:

1. Токарный станок, модель: 16А20БФ3 (Ст₁) .
- 2, 3. Токарный полуавтомат, модель: 1716ПФ4 (Ст₂, Ст₃).
4. Зубофрезерный станок с ЧПУ, модель: 53А32Ф6 (Ст₄).
5. Напольный промышленный робот на рельсах, модель: РПМ-25.03.
6. Кассета с заготовками (К₁).
7. Выходная тара (К₂) .

Станок 1 выполняет токарную операцию 010, станки 2,3 – сверлильно-зенкерные операции 015-020, станок 4 – зубофрезерную операцию 025-030. Работу всех станков и входных и выходных кассет обслуживает робот 5.

Порядок работы робота, обслуживающего ГАК приведен в таблице 3.1:

S_1 – состояние схвата:

$S_1 = 0$ – пустой схват,

$S_1 = 1$ – заготовка в схвате.

S_2 – состояние оборудования:

$S_2 = 0$ – простой оборудования,

$S_2 = 1$ – работа оборудования.

L – длина траектории,

t – время перемещения робота.

При загрузке станка выполняются следующие действия:

- схват с заготовкой перемещается на технологическую позицию станка,
- фиксация приспособлением станка заготовки,

- раскрытие схвата,
- отвод схвата.

При разгрузке станка выполняются следующие действия:

- подвод схвата к заготовке,
- захват заготовки,
- снятие заготовки с приспособления.

Таблица 3.1 – Порядок работы робота для первого варианта компоновки

№	Действие	Состояние схвата	Состояние оборудования				Перемещение L, мм.	Время t, с
			Ст ₁	Ст ₂	Ст ₃	Ст ₄		
			C1	C2 ₁	C2 ₂	C2 ₃		
Вход в цикл								
1	Поворот робота	0	0	0	0	0	90°	0,7
2	Зона К1 (вход)	0	0	0	0	0	300	0,6
3	Захват заготовки	1	0	0	0	0	200	2
4	Зона К1 (выход)	1	0	0	0	0	300	0,6
5	Поворот к Ст1	1	0	0	0	0	180°	1,4
6	Зона Ст1 (вход)	1	0	0	0	0	450	0,9
7	Загрузка Ст1	1	0	0	0	0	200	3
8	Зона Ст1 (выход)	0	0	0	0	0	450	0,9
9	Ожидание обработки	0	1	0	0	0	-	47,4
10	Зона Ст1 (вход)	0	0	0	0	0	450	0,9
11	Разгрузка Ст1	1	0	0	0	0	200	3
12	Зона Ст1 (выход)	1	0	0	0	0	450	0,9
13	Поворот	1	0	0	0	0	90°	0,7
14	Переход к Ст2	1	0	0	0	0	4675,2	3,1
15	Поворот к Ст2	1	0	0	0	0	90°	0,7
16	Зона Ст2 (вход)	1	0	0	0	0	350	0,7
17	Загрузка Ст2	1	0	0	0	0	200	3
18	Зона Ст2 (выход)	0	0	0	0	0	350	0,7
19	Ожидание обработки	0	0	1	0	0	-	208,2
20	Зона Ст2 (вход)	0	0	0	0	0	350	0,7
21	Разгрузка Ст2	1	0	0	0	0	200	3
22	Ротация заготовки	1	0	0	0	0	180°	0,9
23	Загрузка Ст2	1	0	0	0	0	200	3
24	Выход из зоны Ст2	0	0	0	0	0	350	0,7
25	Поворот	0	0	1	0	0	90°	0,7
26	Переход к К1	0	0	1	0	0	4675,2	3,1
27	Поворот к К1	0	0	1	0	0	90°	0,7
28	Зона К1 (вход)	0	0	1	0	0	300	0,6
29	Захват заготовки	1	0	1	0	0	200	2
30	Зона К1 (выход)	1	0	1	0	0	300	0,6
31	Поворот к Ст1	1	0	1	0	0	180°	1,4

32	Вход в зону Ст1	1	0	1	0	0	450	0,9
33	Загрузка Ст1	1	0	1	0	0	200	3
34	Зона Ст1 (выход)	0	0	1	0	0	450	0,9
35	Ожидание обработки	0	1	1	0	0	-	47,4
36	Вход в зону Ст1	0	0	1	0	0	450	0,9
37	Разгрузка Ст1	1	0	1	0	0	200	3
38	Выход из зоны Ст1	1	0	1	0	0	450	0,9
39	Поворот	1	0	1	0	0	90°	0,7
40	Переход к Ст3	1	0	1	0	0	4675,2	3,1
41	Поворот к Ст3	1	0	1	0	0	90°	0,7
42	Вход в зону Ст3	1	0	1	0	0	350	0,7
43	Загрузка Ст3	1	0	1	0	0	200	3
44	Выход из зоны Ст3	0	0	1	0	0	350	0,7
45	Поворот к Ст2	0	0	1	1	0	180°	1,4
46	Ожидание	0	0	1	1	0	-	131,8
47	Вход в зону Ст2	0	0	0	1	0	350	0,7
48	Разгрузка Ст2	1	0	0	1	0	200	3
49	Выход из зоны Ст2	1	0	0	1	0	350	0,7
50	Поворот	1	0	0	1	0	90°	0,7
51	Переход к Ст4	1	0	0	1	0	4575,2	3,1
52	Поворот к Ст4	1	0	0	1	0	90°	0,7
53	Вход в зону Ст4	1	0	0	1	0	500	1
54	Загрузка Ст4	1	0	0	1	0	200	3
55	Выход из зоны Ст4	0	0	0	1	0	500	1
56	Поворот	0	0	0	1	1	90°	0,7
57	Переход к Ст3	0	0	0	1	1	4575,2	3,1
58	Поворот к Ст3	0	0	0	1	1	90°	0,7
59	Ожидание обработки	0	0	0	1	1	-	56,6
60	Вход в зону Ст3	0	0	0	0	1	350	0,7
61	Разгрузка Ст3	1	0	0	0	1	200	3
62	Ротация заготовки	1	0	0	0	1	180°	0,9
63	Загрузка Ст3	1	0	0	0	1	200	3
64	Выход из зоны Ст3	0	0	0	0	1	350	0,7
65	Поворот	0	0	0	1	1	90°	0,7
66	Переход к К1	0	0	0	1	1	4675,2	3,1
67	Поворот к К1	0	0	0	1	1	90°	0,7
68	Зона К1 (вход)	0	0	0	1	1	300	0,6
69	Захват заготовки	1	0	0	1	1	200	2
70	Зона К1 (выход)	1	0	0	1	1	300	0,6
71	Поворот к Ст1	1	0	0	1	1	180°	1,4
72	Зона Ст1 (вход)	1	0	0	1	1	450	0,9
73	Загрузка Ст1	1	0	0	1	1	200	3
74	Зона Ст1 (выход)	0	0	0	1	1	450	0,9
75	Ожидание обработки	0	1	0	1	1	-	47,4
76	Зона Ст1 (вход)	0	0	0	1	1	450	0,9
77	Разгрузка Ст1	1	0	0	1	1	200	3
78	Зона Ст1 (выход)	1	0	0	1	1	450	0,9
79	Поворот	1	0	0	1	1	90°	0,7
80	Переход к Ст2	1	0	0	1	1	4675,2	3,1

81	Поворот к Ст2	1	0	0	1	0	90°	0,7
82	Вход в зону Ст2	1	0	0	1	0	350	0,7
83	Загрузка Ст2	1	0	0	1	0	200	3
84	Выход из зоны Ст2	0	0	0	1	0	350	0,7
85	Поворот	0	0	1	1	0	90°	0,7
86	Переход к Ст4	0	0	1	1	0	4575,2	3,1
87	Поворот к Ст4	0	0	1	1	0	90°	0,7
88	Вход в зону Ст4	0	0	1	1	0	500	1
89	Разгрузка Ст4	1	0	1	1	0	200	3
90	Ротация заготовки	1	0	1	1	0	180°	0,9
91	Загрузка Ст4	1	0	1	1	0	200	3
92	Зона Ст4 (выход)	0	0	1	1	0	500	1
93	Ожидание обработки	0	0	1	1	1	-	136,8
94	Зона Ст4 (вход)	0	0	1	0	0	500	1
95	Разгрузка Ст4	1	0	1	0	0	200	3
96	Зона Ст4 (выход)	1	0	1	0	0	500	1
97	Поворот к К2	1	0	1	0	0	180°	1,4
98	Зона К2 (вход)	1	0	1	0	0	350	0,7
99	Схват (разгрузка)	1	0	1	0	0	200	2
100	Зона К2 (выход)	0	0	1	0	0	350	0,7
101	Поворот работа	0	0	1	0	0	90°	0,7
102	Переход к Ст3	0	0	1	0	0	4575,2	3,1
103	Поворот к Ст3	0	0	1	0	0	90°	0,7
104	Вход в зону Ст3	0	0	1	0	0	350	0,7
105	Разгрузка Ст3	1	0	1	0	0	200	3
106	Выход из зоны Ст3	1	0	1	0	0	350	0,7
107	Поворот	1	0	1	0	0	90°	0,7
108	Переход к Ст4	1	0	1	0	0	4575,2	3,1
109	Поворот к Ст4	1	0	1	0	0	90°	0,7
110	Вход в зону Ст4	1	0	1	0	0	500	1
111	Загрузка Ст4	1	0	1	0	0	200	3
112	Выход из зоны Ст4	0	0	1	0	0	500	1
113	Поворот	0	0	1	0	1	90°	0,7
114	Переход к Ст2	0	0	1	0	1	4575,2	3,1
115	Поворот к Ст2	0	0	1	0	1	90°	0,7

5								
11 6	Ожидание	0	0	1	0	1	-	25,3
11 7	Вход в зону Ст2	0	0	0	0	1	350	0,7
11 8	Разгрузка Ст2	1	0	0	0	1	200	3
11 9	Ротация заготовки	1	0	0	0	1	180°	0,9
12 0	Загрузка Ст2	1	0	0	0	1	200	3
12 1	Выход из зоны Ст2	0	0	0	0	1	350	0,7
12 2	Поворот	0	0	1	0	1	90°	0,7
12 3	Переход к К1	0	0	1	0	1	4675,2	3,1
12 4	Поворот к К1	0	0	1	0	1	90°	0,7
12 5	Зона К1 (вход)	0	0	1	0	1	300	0,6
12 6	Захват заготовки	1	0	1	0	1	200	2
12 7	Зона К1 (выход)	1	0	1	0	1	300	0,6
12 8	Поворот к Ст1	1	0	1	0	1	180°	1,4
12 9	Вход в зону Ст1	1	0	1	0	1	450	0,9
13 0	Загрузка Ст1	1	0	1	0	1	200	3
13 1	Зона Ст1 (выход)	0	0	1	0	1	450	0,9
13 2	Ожидание обработки	0	1	1	0	1	-	47,4
13 3	Зона Ст1 (вход)	0	0	1	0	1	450	0,9
13 4	Разгрузка Ст1	1	0	1	0	1	200	3
13 5	Выход из зоны Ст1	1	0	1	0	1	450	0,9
13 6	Поворот	1	0	1	0	1	90°	0,7
13 7	Переход к Ст3	1	0	1	0	1	4675,2	3,1
13 8	Поворот к Ст3	1	0	1	0	1	90°	0,7
13 9	Вход в зону Ст3	1	0	1	0	1	350	0,7
14 0	Загрузка Ст3	1	0	1	0	1	200	3

14	1	Выход из зоны Ст3	0	0	1	0	1	350	0,7
14	2	Поворот	0	0	1	1	1	90°	0,7
14	3	Переход к Ст4	0	0	1	1	1	4575,2	3,1
14	4	Поворот к Ст4	0	0	1	1	1	90°	0,7
14	5	Ожидание	0	0	1	1	1	-	19,2
14	6	Вход в зону Ст4	0	0	1	1	0	500	1
14	7	Разгрузка Ст4	1	0	1	1	0	200	3
14	8	Ротация заготовки	1	0	1	1	0	180°	0,9
14	9	Загрузка Ст4	1	0	1	1	0	200	3
15	0	Зона Ст4 (выход)	0	0	1	1	0	500	1
15	1	Ожидание обработки	0	0	1	1	1	-	136,8
15	2	Зона Ст4 (вход)	0	0	0	1	0	500	1
15	3	Разгрузка Ст4	1	0	0	1	0	200	3
15	4	Зона Ст4 (выход)	1	0	0	1	0	500	1
15	5	Поворот к К2	1	0	0	1	0	180°	1,4
15	6	Зона К2 (вход)	1	0	0	1	0	350	0,7
15	7	Схват (разгрузка)	1	0	0	1	0	200	2
15	8	Зона К2 (выход)	0	0	0	1	0	350	0,7
15	9	Поворот работа	0	0	0	1	0	90°	0,7
16	0	Переход к Ст2	0	0	0	1	0	4575,2	3,1
16	1	Поворот к Ст2	0	0	0	1	0	90°	0,7
Цикл: выполнение переходов 47-161.									

3.2 Вторая компоновочная схема

Структура ГАК:

1. Токарный станок, модель: 16А20БФ3 (Ст₁).

2, 3. Токарный полуавтомат, модель: 1716ПФ4 (Ст₂, Ст₃).

4. Зубофрезерный станок с ЧПУ, модель: 53А32Ф6 (Ст₄).

5, 6, 7. Напольный робот Универсал–5.02.

8. Кассета для заготовок (К₁).

9. Тара выхода (К₂) .

10,11. Лоток (Л₁, Л₂).

Станок 1 выполняет токарную операцию 010, станки 2,3 – сверлильно-зенкерные операции 015-020, станок 4 – зубофрезерные операции 025-030. Работу 1 станка, кассету К₁ и лоток Л₁ обслуживает робот 5; работу 2, 3, лоток Л₁ и лоток Л₂ обслуживает робот 6; работу 4, тару К₂ и лоток Л₂ обслуживает робот 7.

Приведем порядок работы роботов (таблицы 3.2, 3.3, 3.4), где:

C_1 – состояние схвата:

$C_1 = 0$ – пустой схват,

$C_1 = 1$ – заготовка в схвате.

C_2 – состояние оборудования:

$C_2 = 0$ – простой оборудования,

$C_2 = 1$ – работа оборудования.

L – длина траектории

t – время перемещения робота

При загрузке станка выполняются следующие действия:

- схват с заготовкой перемещается на технологическую позицию станка,
- фиксация приспособлением станка заготовки,
- раскрытие схвата,
- отвод схвата.

При разгрузке станка выполняются следующие действия:

- подвод схвата к заготовке,
- захват заготовки,
- снятие заготовки с приспособления.

Таблица 3.2 – Порядок работы робота 5 для второго варианта компоновки

№	Действие	Состояние схвата	Состояние оборудования		Расстояние L, мм.	Время t, с
			Ст ₁	С2 ₁		
			С1	С2 ₁		
Вход в цикл						
1	поворот к К1	0	0	0	90°	1,1
2	Зона К1 (вход)	0	0	0	350	0,3
3	Захват заготовки	1	0	0	200	2
4	Зона К1 (выход)	1	0	0	350	0,3
5	Поворот робота к Ст1	1	0	0	180°	2,2
6	Вход в зону Ст1	1	0	0	500	0,5
7	Загрузка Ст1	1	0	0	200	3
8	Зона Ст1 (выход)	0	0	0	500	0,5
9	Ожидание обработки	0	1	1	-	47,4
10	Зона Ст ₁ (вход)	0	0	0	500	0,5
11	Разгрузка Ст ₁	1	0	0	200	3
12	Зона Ст ₁ (выход)	1	0	0	500	0,5
13	Поворот к Л1	1	0	0	90°	1,1
14	Зона Л1 (вход)	1	0	0	250	0,2
15	Укладка изделия на Л1	1	0	0	200	2
16	Зона Л1 (выход)	0	0	0	250	0,2
17	поворот к К1	0	0	0	90°	1,1
18	Вход в зону К1	0	0	0	350	0,3
19	Захват заготовки	1	0	0	200	2
20	Зона К1 (выход)	1	0	0	350	0,3
21	Поворот к Ст1	1	0	0	180°	2,2
22	Вход в зону Ст1	1	0	0	500	0,5
23	Загрузка Ст1	1	0	0	200	3
24	Зона Ст1 (выход)	0	0	0	500	0,5
25	Ожидание обработки	0	1	1	-	283,8
26	Зона Ст ₁ (вход)	0	0	0	500	0,5
27	Разгрузка Ст ₁	1	0	0	200	3
28	Зона Ст ₁ (выход)	1	0	0	500	0,5
29	Поворот к Л1	1	0	0	90°	1,1
30	Зона Л1 (вход)	1	0	0	250	0,2
31	Укладка изделия на Л1	1	0	0	200	2
32	Зона Л1 (выход)	0	0	0	250	0,2
33	поворот к К1	0	0	0	90°	1,1
34	Вход в зону К1	0	0	0	350	0,3

35	Захват заготовки	1	0	200	2
36	Выход из зоны К1	1	0	350	0,3
37	Поворот к Ст1	1	0	180°	2,2
38	Вход в зону Ст1	1	0	500	0,5
39	Загрузка Ст1	1	0	200	3
40	Зона Ст1 (выход)	0	0	500	0,5
41	Ожидание обработки	0	1	-	279,4
42	Зона Ст ₁ (вход)	0	0	500	0,5
43	Разгрузка Ст ₁	1	0	200	3
44	Зона Ст ₁ (выход)	1	0	500	0,5
45	Поворот к Л1	1	0	90°	1,1
46	Зона Л1 (вход)	1	0	250	0,2
47	Укладка изделия на Л1	1	0	200	2
48	Зона Л1 (выход)	0	0	250	0,2

Таблица 3.3 – Порядок работы робота 6 для второго варианта компоновки

№	Действие	Состояние схвата	Состояние оборудования		Расстояние L, мм.	Время t, с
			Ст ₂	Ст ₃		
			С1	С2 ₂		
Вход в цикл						
1	Вход в зону Л1	0	0	0	250	0,2
2	Захват заготовки	1	0	0	200	2
3	Выход из зоны Л1	1	0	0	250	0,2
4	Поворот к Ст2	1	0	0	90°	1,1
5	Вход в зону Ст2	1	0	0	500	0,5
6	Загрузка Ст2	1	0	0	200	3
7	Зона Ст2 (выход)	0	0	0	500	0,5
8	Ожидание обработки	0	1	0	-	284,6
9	Зона Ст2 (вход)	0	0	0	500	0,5
10	Разгрузка Ст2	1	0	0	200	3
11	Ротация схвата	1	0	0	180°	1
12	Загрузка Ст2	1	0	0	200	3
13	Зона Ст2 (выход)	0	0	0	500	0,5
14	Поворот к Л1	0	1	0	90°	1,1
15	Зона Л1 (вход)	0	1	0	250	0,2
16	Захват заготовки	1	1	0	200	2
17	Зона Л1 (выход)	1	1	0	250	0,2
18	Поворот к Ст3	1	1	0	90°	1,1
19	Вход в зону Ст3	1	1	0	500	0,5
20	Загрузка Ст3	1	1	0	200	3
21	Выход из зоны Ст3	0	1	0	500	0,5
22	Поворот к Ст2	0	1	1	180°	2,2
23	Ожидание	0	1	1	-	267,2
24	Вход в зону Ст2	0	0	0	500	0,5
25	Разгрузка Ст2	1	0	0	200	3
26	Зона Ст2 (выход)	1	0	0	500	0,5
27	Поворот к Л2	1	0	0	270°	3,3

28	Зона Л2 (вход)	1	0	0	250	0,2
29	Укладка изделия на Л2	1	0	0	200	2
30	Выход из зоны Л2	0	0	0	250	0,2
31	Поворот к Ст3	0	0	0	90°	1,1
32	Вход в зону Ст3	0	0	0	500	0,5
33	Разгрузка Ст3	1	0	0	200	3
34	Ротация схвата	1	0	0	180°	1
35	Загрузка Ст3	1	0	0	200	3
36	Зона Ст3 (выход)	0	0	0	500	0,5
37	Поворот к Л1	0	0	1	90°	1,1
38	Зона Л1 (вход)	0	0	1	250	0,2
39	Захват заготовки	1	0	1	200	2
40	Зона Л1 (выход)	1	0	1	250	0,2
41	Поворот к Ст2	1	0	1	90°	1,1
42	Вход в зону Ст2	1	0	1	500	0,5
43	Загрузка Ст2	1	0	1	200	3
44	Выход из зоны Ст2	0	0	1	500	0,5
45	Поворот к Ст3	0	0	1	180°	2,2
46	Ожидание	0	1	1	-	271,6
47	Вход в зону Ст3	0	0	0	500	0,5
48	Разгрузка Ст3	1	0	0	200	3
49	Поворот к Л2	1	0	0	90°	1,1
50	Вход в зону Л2	1	0	0	250	0,2
51	Укладка изделия на Л2	1	0	0	200	2
52	Выход из зоны Л2	0	0	0	250	0,2
53	Поворот к Ст2	0	0	0	270°	3,3
55	Вход в зону Ст2	0	0	0	500	0,5
56	Разгрузка Ст2	1	0	0	200	3
57	Ротация схвата	1	0	0	180°	1
58	Загрузка Ст2	1	0	0	200	3
59	Зона Ст2 (выход)	0	0	0	500	0,5
60	Поворот к Л1	0	1	0	90°	1,1
61	Зона Л1 (вход)	0	1	0	250	0,2
62	Захват заготовки	1	1	0	200	2
63	Зона Л1 (выход)	1	1	0	250	0,2
64	Поворот к Ст3	1	1	0	90°	1,1
65	Вход в зону Ст3	1	1	0	500	0,5
66	Загрузка Ст3	1	1	0	200	3
67	Выход из зоны Ст3	0	1	0	500	0,5
68	Поворот к Ст2	0	1	1	180°	2,2
69	Ожидание	0	1	1	-	267,2
Цикл: выполнение переходов 14-60.						

Таблица 3.4 – Порядок работы робота 7 для второго варианта компоновки

№	Действия	Состояние схвата	Состояние оборудования		Расстояние L, мм.	Время t, с
			Ст4	С24		
		С1				

Вход в цикл					
1	Вход в зону Л2	0	0	250	0,2
2	Захват заготовки	1	0	200	2
3	Выход из зоны Л2	1	0	250	0,2
4	Поворот к Ст4	1	0	90°	1,1
5	Вход в зону Ст4	1	0	500	0,5
6	Загрузка Ст4	1	0	200	3
7	Зона Ст4 (выход)	0	0	500	0,5
8	Ожидание обработки	0	1	-	136,8
9	Зона Ст4 (вход)	0	0	500	0,5
10	Разгрузка Ст4	1	0	200	3
11	Ротация схвата	1	0	180°	1
12	Загрузка Ст4	1	0	200	3
13	Зона Ст4 (выход)	0	0	500	0,5
14	Ожидание обработки	0	1	-	136,8
15	Зона Ст4 (вход)	0	0	500	0,5
16	Разгрузка Ст4	1	0	200	3
17	Зона Ст4 (выход)	1	0	500	0,5
18	Поворот к К2	1	0	180°	2,2
19	Зона К2 (вход)	1	0	350	0,3
20	Освобождение схвата	1	0	200	2
21	Зона К2 (выход)	0	0	350	0,3
22	Поворот к Л2	0	0	90°	1,1
23	Зона Л2 (вход)	0	0	250	0,2
24	Захват заготовки	1	0	200	2
Цикл: выполнение переходов 1-22.					

3.3 Сравнение вариантов компоновочных схем

После завершения проектирования всех компоновок, выберем одну, рациональную. Результаты построения компоновочных схем сведем в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Сравнение параметров компоновок

	Схема №1	Схема №2
Площадь ГАУ, м ²	248,9	234,5
Время цикла, с	T _ц =621.4	T _ц =598
Коэффициент загрузки станка 1	0.15	0.16
Коэффициент загрузки станка 2	0.67	0.70
Коэффициент загрузки станка 3	0.67	0.70
Коэффициент загрузки станка 4	0.88	0.92
Коэффициент загрузки робота 1	0.25	0.06
Коэффициент загрузки робота 2	-	0.1
Коэффициент загрузки робота 3	-	0.09

Проведем анализ полученных результатов. Компоновки имеют приблизительно равные показатели коэффициентов загрузки станков и производительности. Первая компоновка занимает незначительно большую площадь и имеет большее время цикла. Во второй компоновке используется три робота, в первой – один. При этом их коэффициенты загрузки значительно меньше. Исходя из экономической целесообразности при прочих приблизительно равных условиях, выбираем в качестве базового варианта схему первой компоновки.

4 РАЗРАБОТКА ШИРОКОДИАПАЗОННОГО ЦЕНТРИРУЮЩЕГО ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА

В связи с использованием роботов на проектируемом ГАК возникает необходимость в использовании захватного устройства, которое могло бы обеспечить захват всего спектра деталей, обрабатываемых на участке и их установку на станки с необходимой точностью. Для этого спроектируем и рассчитаем однопозиционное широкодиапазонное центрирующее захватное устройство клещевого типа с реечной передачей для гладких и ступенчатых валов. К данной конструкции захватного устройства предъявляются требования к центрированию валов при различных диаметральных размерах. Для этого захватное устройство должно быть оснащено поворотными губками криволинейной формы, профилированными так, чтобы обеспечить центрирование деталей в заданном диапазоне диаметров. Исходные данные:

- 1) минимальный диаметр вала – 35 мм, максимальный – 65 мм;
- 2) погрешность центрирования 0,02 мм;
- 3) тип привода – гидравлический.

4.1 Геометрический расчет широкодиапазонного центрирующего захватного устройства

Губки профилируются для обеспечения центрирования валов различного диаметра. Верх губок имеют одинаковую ширину, низ срезается для

обеспечения захода одной губки за другую (как ножницы). Такая схема позволяет обеспечить надежное центрирование валов различного диаметра.

Для расчёта основных геометрических параметров, определяющих погрешность центрирования Δ , строим расчётную схему (рис.4.1).

Построение профиля губок

а) из конструктивных соображений и пропорционально применяются размеры пальца AC , половины расстояния AE , радиусы губок $O_1C = R_1$, $O_2C = R_2$, расстояние O_1O_2 и угол φ ;

б) проводим вертикально ось симметрии BB ;

в) перпендикулярно к BB откладываем половину расстояния AE ;

г) под произвольным углом γ_i проводим линию пальца AC ;

д) из точки C радиусами R_1 и R_2 проводим дуги окружностей 1-1 и 2-2 соответственно;

е) под углом φ к пальцу AC проводим отрезок O_1O_2 заданной длины так, чтобы точки O_1 и O_2 лежали на дугах окружностей 1-1 2-2 соответственно.

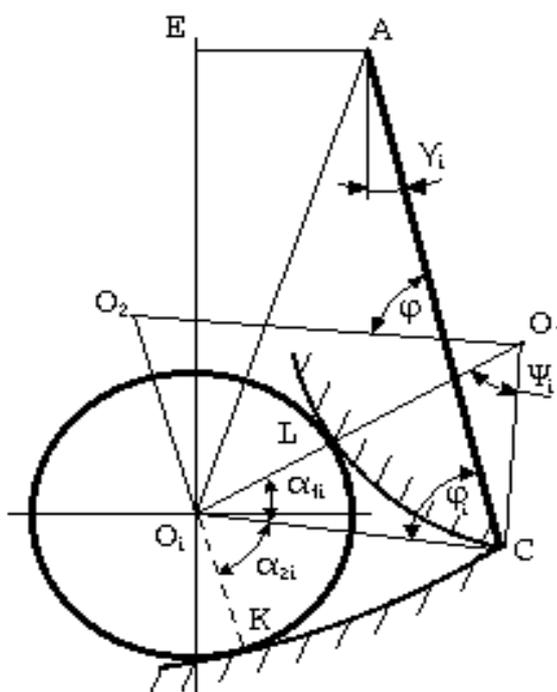


Рисунок 4.1 – Расчетная схема губок

Найдем значение угла φ положения O_1O_2 , относительно пальца АС, когда погрешность центрирования будет нулевой.

Вычислим оптимальный угол φ_{opt} :

$$\cos \varphi_{opt} = A - B * \sin \varphi_{opt}, \quad (4.1)$$

где А, В – коэффициенты, рассчитываемые уравнениями:

$$A = \frac{CO_{max}^2 - CO_{min}^2}{2 * AC * (CO_{max} * \cos \beta_{max} - CO_{min} * \cos \beta_{min})}, \quad (4.2)$$

$$B = \frac{CO_{max} * \sin \beta_{max} - CO_{min} * \sin \beta_{min}}{CO_{max} * \cos \beta_{max} - CO_{min} * \cos \beta_{min}}, \quad (4.3)$$

В уравнениях CO_{min} , CO_{max} и β_{min} , β_{max} являются вспомогательными параметрами, которые определяются, исходя из уравнений (4.4) и (4.6):

$$CO_i = \sqrt{R_1(2R_1 + D_i)(1 - \cos \psi_i) + 0.25D_i^2}, \quad (4.4)$$

где: ψ_i – вспомогательный угол, равный

$$\psi_i = \arccos \frac{R_1^2 + O_1O_2^2 - R_2^2}{2 * R_1 * O_1O_2} - \arccos \frac{(R_1 + R_2) * (R_1 - R_2 + D_i) + O_1O_2^2}{(2 * R_1 + D_i) * O_1O_2^2}, \quad (4.5)$$

Подставляя исходные данные в формулу (4.5), получаем:

$$\psi_{min} = \arccos \frac{26^2 + 61^2 - 61^2}{2 * 26 * 61} - \arccos \frac{(26 + 61) * (26 - 61 + 35) + 61^2}{(2 * 26 + 35) * 61} = 32.214^\circ,$$

$$\psi_{cp} = \arccos \frac{26^2 + 61^2 - 61^2}{2 * 26 * 61} - \arccos \frac{(26 + 61) * (26 - 61 + 50) + 61^2}{(2 * 26 + 50) * 61} = 41.575^\circ,$$

$$\psi_{max} = \arccos \frac{26^2 + 61^2 - 61^2}{2 * 26 * 61} - \arccos \frac{(26 + 61) * (26 - 61 + 65) + 61^2}{(2 * 26 + 65) * 61} = 50.202^\circ.$$

По формуле (4.4) находим:

$$CO_{min} = \sqrt{26 * (2 * 26 + 35) * (1 - \cos 32.214^\circ) + 0.25 * 35^2} = 25.582 \text{ мм},$$

$$CO_{cp} = \sqrt{26 * (2 * 26 + 50) * (1 - \cos 41.575^\circ) + 0.25 * 50^2} = 35.959 \text{ мм},$$

$$CO_{max} = \sqrt{26 * (2 * 26 + 65) * (1 - \cos 50.202^\circ) + 0.25 * 65^2} = 46.38 \text{ мм}.$$

Вспомогательные углы β_i найдем по формуле:

$$\beta_i = \arccos \frac{R_2^2 - R_1^2 + O_1O_2^2}{2 * R_2 * O_1O_2} - \arccos \frac{R_2 * D_i - 0.25 * D_i^2 + CO_i^2}{2 * R_2 * CO_i}, \quad (4.6)$$

$$\beta_{\min} = \arccos \frac{61^2 - 26^2 + 61^2}{2 * 61 * 61} - \arccos \frac{61 * 35 - 0.25 * 35^2 + 25.582^2}{2 * 61 * 25.582} = -12.675^\circ$$

$$\beta_{cp} = \arccos \frac{61^2 - 26^2 + 61^2}{2 * 61 * 61} - \arccos \frac{61 * 50 - 0.25 * 50^2 + 35.959^2}{2 * 61 * 35.959} = -7.448^\circ$$

$$\beta_{\max} = \arccos \frac{61^2 - 26^2 + 61^2}{2 * 61 * 61} - \arccos \frac{61 * 65 - 0.25 * 65^2 + 46.38^2}{2 * 61 * 46.38} = -1.981^\circ$$

Найдем значения коэффициентов А и В по формулам (4.2) и (4.3):

$$A = \frac{46.38^2 - 25.582^2}{2 * 63.8 * (46.38 * \cos(-1.981^\circ) - 25.582 * \cos(-12.675^\circ))} = 0.548$$

$$B = \frac{46.38 * \sin(-1.981^\circ) - 25.582 * \sin(-12.675^\circ)}{46.38 * \cos(-1.981^\circ) - 25.582 * \cos(-12.675^\circ)} = 0.187$$

По формуле (4.1) рассчитаем угол $\varphi_{\text{опт}}$ методом последовательных приближений, приняв в качестве 1-го шага $\varphi_1 = \arccos(A) = \arccos(0,548) = 56,752^\circ$. Получаем значение $\varphi = 67,993^\circ$.

Переменный угол φ_i положения АС и CO_i определяются из выражения:

$$\varphi_i = \varphi - \arccos \frac{R_2^2 - R_1^2 + O_1 O_2^2}{2 * R_2 * O_1 O_2} + \arccos \frac{R_2 D_i - 0.25 * D_i^2 + CO_i^2}{2 * R_2 * CO_i}, \quad (4.7)$$

Подставляя в формулу (4.7) числовые значения получаем:

$$\varphi_{\min} = 67,993^\circ - \arccos \frac{61^2 - 26^2 + 61^2}{2 * 61 * 61} + \arccos \frac{61 * 35 - 0,25 * 35^2 + 25,582^2}{2 * 61 * 25,582} = 80,668^\circ$$

$$\varphi_{cp} = 67,993^\circ - \arccos \frac{61^2 - 26^2 + 61^2}{2 * 61 * 61} + \arccos \frac{61 * 50 - 0,25 * 50^2 + 35,959^2}{2 * 61 * 35,959} = 75,441^\circ$$

$$\varphi_{\max} = 67,993^\circ - \arccos \frac{61^2 - 26^2 + 61^2}{2 * 61 * 61} + \arccos \frac{61 * 65 - 0,25 * 65^2 + 46,38^2}{2 * 61 * 46,38} = 69,974^\circ$$

Погрешность центрирования с учетом значений D_{\min} и D_{\max} определяется разностью EO_i захвата заготовки с D_i и детали с D_{\min} , т.е.

$$\Delta = EO_i - EO_{\min}, \quad (4.8)$$

где: $EO_{\min} < EO_i < EO_{\max}$.

$$EO_i = \sqrt{AC^2 + CO_i^2 - 2 * AC * CO_i * \cos \varphi_i} - AE^2, \quad (4.9)$$

Учитывая значение угла φ_i , получим:

$$EO_{\min} = \sqrt{63.8^2 + 25.582^2 - 2 * 63.8 * 25.582 * \cos 80.668^\circ} - 24^2 = 60.163 \text{ мм},$$

$$EO_{cp} = \sqrt{63.8^2 + 35.959^2 - 2 * 63.8 * 35.959 * \cos 75.441^\circ} - 24^2 = 60.173 \text{ мм},$$

$$EO_{\max} = \sqrt{63.8^2 + 46.38^2 - 2 * 63.8 * 46.38 * \cos 69.974^\circ} - 24^2 = 60.158 \text{ мм}.$$

Определим погрешность центрирования (формула 4.8):

$$\Delta_{cp} = EO_{cp} - EO_{min} = 0.01 \text{ мм},$$

$$\Delta_{max} = EO_{max} - EO_{min} = 0.005 \text{ мм}$$

Углы контакта α_1 и α_2 вычисляются относительно горизонтальной оси детали по формулам:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{R_1 * D_i + 0.25 * D_i^2 + CO_i^2}{(2 * R_1 + D_i) * CO_i} + \varphi_i + \gamma_i - 90^\circ, \quad (4.10)$$

$$\alpha_2 = 270^\circ - \arccos \frac{CO_i^2 - R_2 * D_i + 0.25 * D_i^2}{(2 * R_2 - D_i) * CO_i} - \varphi_i - \gamma_i, \quad (4.11)$$

где γ_i – угол разжима губок, определяемый относительно вертикали.

$$\gamma_i = 90^\circ - \arctg \frac{EO_i}{AE} - \arccos \frac{AC^2 + AE^2 + EO_i^2 - CO_i^2}{2 * AC * \sqrt{AE^2 + EO_i^2}}, \quad (4.12)$$

$$\gamma_{min} = -90^\circ + \arctg \frac{60.163}{24} + \arccos \frac{63.8^2 + 24^2 + 60.163^2 - 25.582^2}{2 * 63.8 * \sqrt{24^2 + 60.163^2}} = 1.19^\circ,$$

$$\gamma_{cp} = -90^\circ + \arctg \frac{60.283}{24} + \arccos \frac{63.8^2 + 24^2 + 60.283^2 - 35.959^2}{2 * 63.8 * \sqrt{24^2 + 60.283^2}} = 10.73^\circ,$$

$$\gamma_{max} = -90^\circ + \arctg \frac{60.158}{24} + \arccos \frac{63.8^2 + 24^2 + 60.158^2 - 46.38^2}{2 * 63.8 * \sqrt{24^2 + 60.158^2}} = 20.534^\circ.$$

Угол контакта губок с деталью:

$$\alpha_{1min} = \arccos \frac{26 * 35 + 0.25 * 35^2 + 25.582^2}{(2 * 26 + 35) * 25.582} + 80.668^\circ + 1.19^\circ - 90^\circ = 24.663^\circ,$$

$$\alpha_{1cp} = \arccos \frac{26 * 50 + 0.25 * 50^2 + 35.959^2}{(2 * 26 + 50) * 35.959} + 75.441^\circ + 10.73^\circ - 90^\circ = 24.844^\circ,$$

$$\alpha_{1max} = \arccos \frac{26 * 65 + 0.25 * 65^2 + 46.38^2}{(2 * 26 + 65) * 46.38} + 69.974^\circ + 20.534^\circ - 90^\circ = 26.02^\circ.$$

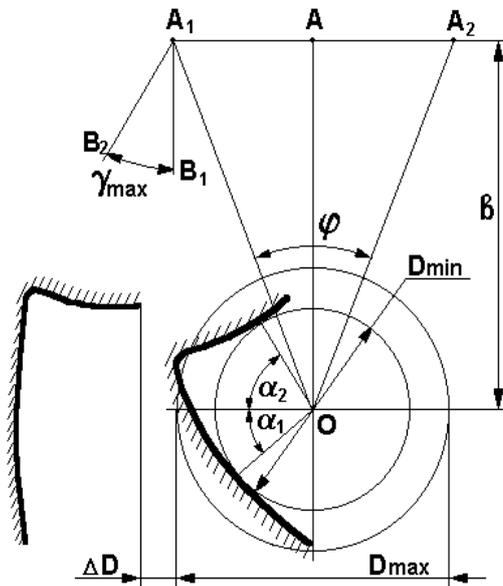
$$\alpha_{2min} = 270^\circ - \arccos \frac{25.582^2 - 61 * 35 + 0.25 * 35^2}{(2 * 61 - 35) * 25.582} - 80.668^\circ - 1.19^\circ = 66.297^\circ,$$

$$\alpha_{2cp} = 270^\circ - \arccos \frac{35.959^2 - 61 * 50 + 0.25 * 50^2}{(2 * 61 - 50) * 35.959} - 75.441^\circ - 10.73^\circ = 67.903^\circ,$$

$$\alpha_{2max} = 270^\circ - \arccos \frac{46.38^2 - 61 * 65 + 0.25 * 65^2}{(2 * 61 - 65) * 46.38} - 69.974^\circ - 20.534^\circ = 72.838^\circ.$$

Полученные погрешности центрирования незначительны по сравнению с заданной погрешностью $\Delta = 0.02$ мм, поэтому можно приступить к дальнейшему расчету.

Графически определим максимальный угол поворота губок γ_{\max} , необходимый для расчета хода рейки (рисунок 4.2). Зазор ΔD в диапазоне $\Delta D =$



$(0.1 \dots 0.2)D_{\text{cp}}=7,5$. Графически находим $\gamma_{\max} = 40^{\circ}$.

Рисунок 4.2 – Схема расчета угла поворота губок

Расчет реечной передачи

Модуль зацепления

$$m = \frac{2 * a}{z_1 + q}, \quad (4.13)$$

где: $a = AE$ – межцентровое расстояние передачи;

z_1 – количество зубьев шестерни, принимаем $z_1 = 25$;

q – коэффициент толщины зубчатой рейки, принимаем $q = 13$.

$$m = \frac{2 * 24}{25 + 13} = 1,26$$

Модуль зубчатой передачи округляем до ближайшего большего стандартного значения. Таким образом, $m = 1,5$ мм.

Таблица 4.1 – Расчет геометрии зубчатого колеса захватного устройства

Параметр	Обозначения и расчетные формулы	Численно е
----------	---------------------------------	---------------

		значение
Число зубьев сектора колеса	z_1	25
Модуль зацепления	m	1.5
Шаг зацепления, мм	$p_n = \pi m$	4.71
Количество зубьев сектора	$z_C = z_1 \gamma_{\max} / 360^\circ$	5
Делительный диаметр, мм	$d = m z_1$	37.5
Диаметр вершин, мм	$d_a = d + 2m$	40.5
Диаметр впадин, мм	$d_f = d - 2(c^* + m)$	34
Постоянная хорда, мм	$s_C = 1.387m$	2.081
Высота до постоянной хорды, мм	$h_C = 0.748m$	1.122
Высота зуба, мм	$h = (2 h_a^* + c^*)m$	3.375
Высота головки зуба, мм	$h_a = h_a^* m$	1.5
Толщина зуба, мм	$s_y = 0.5 \pi m$	2,355
Измерительная высота, мм	$h_{ay} = m$	1,5

Таблица 4.2 – Расчет геометрии рейки захватного устройства

Параметр	Обозначения и расчетные формулы	Численное значение
Сечение рейки	-	Прямоугольное
Ширина рейки, мм	B	20
Высота рейки, мм	H	45
Длина нарезанной части, мм	L	30
Нормальный шаг, мм	$p_n = \pi m$	4.71
Число зубьев	$z = L / p_n + 0.5$	7
Уточненная длина нарезанной части, мм	$L = (z - 0.5) p_n$	30.62
Высота зуба, мм	$h = (2 h_a^* + c^*)m$	3.375
Высота головки зуба, мм	$h_a = h_a^* m$	1.5
Толщина зуба, мм	$s_y = 0.5 \pi m$	2.335
Измерительная высота, мм	$h_{ay} = m$	1.5

4.2 Кинематический расчет широкодиапазонного центрирующего захватного устройства

Кинематика схема захвата клещевого типа с реечной передачей (рисунок 4.3) включает две губки 1, зубчатые колеса 2 с пальцами, поворачиваемыми зубчатой рейкой 3, приводимой в движение поршнем 4.

Механизм захватного устройства работает следующим образом: при движении поршня вниз под действием поршня гидропривода рейка опускается, что вызывает раскрытие губок. При обратном движении поршня под действием пружины губки прижимаются друг другу, захватывая деталь.

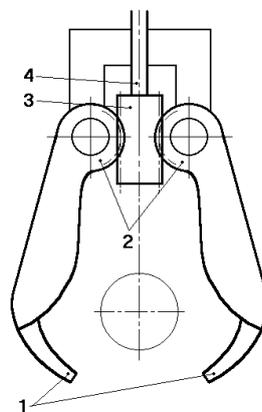


Рисунок 4.3 – Чертёж захватного устройства клещевого типа

Оценим зависимость перемещения губки от положения поршня. Основной системой координат является система ХОУ (рисунок 4.4), обобщенная координата – перемещение $x_C = x(t)$ поршня.

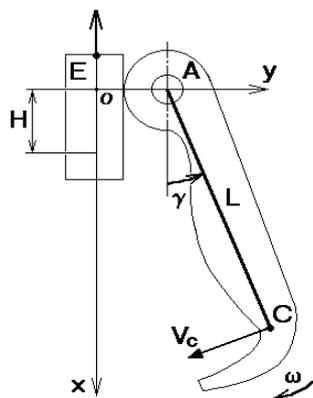


Рисунок 4.4 – Кинематическая схема захватного устройства

Координаты точки С в системе координат xOy:

$$x_C = L * \cos(\gamma), \quad (4.14)$$

$$y_C = AE + L * \sin(\gamma), \quad (4.15)$$

где:

γ – угол поворота зубчатых колес;

L – длина звена AC = 63,8 мм.

Учитывая, что $x_D = \gamma * d / 2$, где d – делительный диаметр зубчатых колес, d = 37,5 мм, находим:

$$x_C = L * \cos\left(\frac{2 * x_D}{d}\right), \quad (4.16)$$

$$y_C = AE + L * \sin\left(\frac{2 * x_D}{d}\right) \quad (4.17)$$

Для определения линейной скорости перемещения точки С, дифференцируем по времени эту формулу:

$$V_{x_C} = L * x_D * \frac{2}{d} * \sin\left(\frac{x_D}{d}\right), \quad (4.18)$$

$$V_{y_C} = L * x_D * \frac{2}{d} * \cos\left(\frac{x_D}{d}\right), \quad (4.19)$$

Зная скорость в проекциях, найдем абсолютную скорость:

$$V_C = \sqrt{V_{x_C}^2 + V_{y_C}^2} = \frac{2 * x_D * L}{d}, \quad (4.20)$$

Пусть скорость перемещения поршня гидроцилиндра не более 0,5 м/с, тогда максимальная скорость линейного перемещения точки С губки:

$$V_C = \frac{2 * 0,5 * 0,0638}{0,0375} = 1,7 \text{ м/с}$$

Максимальная угловая скорость:

$$\omega = V / L = 26,7 \text{ рад/с}$$

4.3 Силовой расчет широкодиапазонного центрирующего захватного устройства

При расчете захватного устройства учитывают максимальный вес детали G_{\max} при максимальном диаметре D_{\max} . Максимальный вес вала найдем по формуле:

$$G_{\max} = \frac{\pi * D_{\max}^2 * L * \rho}{4} * g, \quad (4.21)$$

где: D_{\max} – максимальный диаметр вала, $D_{\max} = 65$ мм;

L – длина вала, $L = 260$ мм;

ρ – плотность материала детали, $\rho = 7,7 * 10^3$ кг/м³.

$$G_{\max} = \frac{3,14 * 65^2 * 260 * 7,7 * 10^{-6}}{4} * 9,8 \approx 65H$$

Рассчитаем нагрузку Q от веса детали $G = 65$ Н [2]:

$$Q = G * K_0 * K_3, \quad (4.22)$$

где:

K_0 – инерционный коэффициент манипулирования, $K_0 = 1,5$;

K_3 – коэффициент запаса удержания детали, $K_3 = 1,6$.

$$Q = 65 * 1,5 * 1,6 = 156H.$$

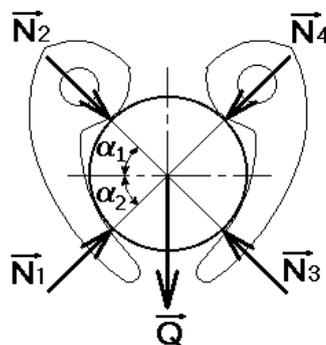


Рисунок 4.5-Расчетная схема к определению реакций губок.

Реакции губок от действия нагрузки Q (рис. 4.5)

$$R_1 = \frac{l-c}{l} * Q; \quad R_2 = \frac{c}{l} * Q, \quad (4.23)$$

где: l – расстояние между губками, $l = 90$ мм;

c – расстояние между точкой приложения нагрузки и губкой захвата, $c = 45$ мм.

Подставив значения в формулы (4.23), получим:

$$R_1 = \frac{90 - 40}{90} * 65 = 32,5H ; \quad R_2 = \frac{40}{90} * 65 = 32,5H$$

Силы, действующие в местах контакта детали и губок, находятся из уравнений статики с учетом схемы захвата:

1) деталь удерживается при ограниченном влиянии сил трения запирающим губок захвата (рисунок 4.6)

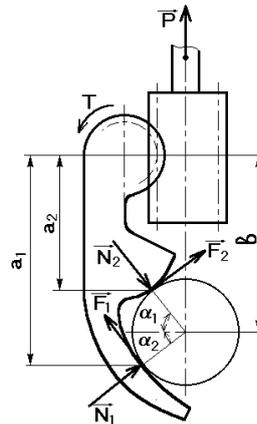


Рисунок 4.6 – Расчетная схема

Если нагружение губок симметрично ($N_2 = N_4 = 0$):

$$N_1 = N_3 = N = \frac{R}{2 * (\sin(\alpha_1) + \mu * \cos(\alpha_1))}, \quad (4.24)$$

где: μ – коэффициент трения губка-деталь, $\mu = 0,12 \dots 0,15$ для стали 45, принимаем $\mu = 0.15$;

α_1 и α_2 – углы контакта нижней и верхней губки.

Подставив значения в формулу (4.24), получим:

$$N_{1л} = 28,336 \text{ Н};$$

$$N_{2л} = 0 \text{ Н};$$

$$N_{1п} = 28,336 \text{ Н};$$

$$N_{2п} = 0 \text{ Н}.$$

2) деталь удерживается силами трения (ось детали вертикальна).

$$N_1 = N_3 = \frac{R_1}{2 * \mu * \left(1 + \frac{\sin(\alpha_2)}{\sin(\alpha_1)} \right)}, \quad (4.25)$$

$$N_2 = N_4 = \frac{R_2}{2 * \mu * \left(1 + \frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\alpha_2)}\right)}, \quad (4.26)$$

$$N_1 = N_3 = 34,088 \text{ Н},$$

$$N_2 = N_4 = 72,245 \text{ Н},$$

Найдем крутящий момент на зубчатом секторе (рис 4.6). В захватных устройствах с реечным передаточным механизмом крутящий момент, действующий на зубчатый сектор:

$$T = N_1 * a_1 * (\cos \alpha_1 - \mu * \sin \alpha_1) + N_2 * a_2 * (\cos \alpha_2 - \mu * \sin \alpha_2), \quad (4.27)$$

где a_1, a_2 – вертикальные расстояния между точками действия сил N_1 и N_2 и центром зубчатого сектора. Здесь

$$a_1 = b + \frac{D_{\max}}{2} * \sin \alpha_1, \quad (4.28)$$

$$a_2 = b - \frac{D_{\max}}{2} * \sin \alpha_2, \quad (4.29)$$

Подставив значения в уравнение (4.27), (4.28), (4.29) получим:

$$a_1 = 84,257 \text{ мм}; \quad a_2 = 38,947 \text{ мм};$$

$$T_{\text{л}} = 2819,03 \text{ Н*мм}.$$

Для выбора гидроцилиндра определим усилие привода P и ход зубчатой рейки H .

$$P \geq \frac{4 * (T_{\text{л}} + T_{\text{п}})}{m * z * \eta}, \quad (4.30)$$

где: $T_{\text{п}}$ – крутящий момент зубчатого сектора правой пары губок,

$$T_{\text{п}} = 2819,03 \text{ Н};$$

$T_{\text{л}}$ – крутящий момент зубчатого сектора левой пары губок,

$$T_{\text{л}} = 2819,03 \text{ Н};$$

η – коэффициент полезного действия передаточного механизма, $\eta = 0,94$.

$$P = \frac{4 * (2 * 2819,03)}{1,5 * 25 * 0,94} = 639,8 \text{ Н}$$

Перемещение рейки:

$$H \geq \pi * m * z_c, \quad (4.31)$$

$$H = 3,14 * 1 * 5 = 15,7 \text{ мм}.$$

Определим диаметр поршня по формуле:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{4 * F}{\pi * d^2}, \quad (4.32)$$

Отсюда

$$d = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * p}}, \quad (4.33)$$

где: F – усилие привода, F = 1000 Н;

p – давление в гидроцилиндре, p = 0,51 МПа.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1000}{3,14 * 0,51}} = 60 \text{ мм}.$$

4.4 Прочностной расчет широкодиапазонного центрирующего захватного устройства

Иногда контактные усилия с захватом значительны, что повреждает поверхность детали или губок.

Напряжения контакта для губок клещевого захвата:

$$\sigma_H = 0,418 * \sqrt{\frac{N * E_{\text{ПР}}}{h} \left(\frac{2}{D} \pm \frac{1}{r} \right)}, \text{ Н/см}^2, \quad (4.34)$$

где знак + для контакта с выпуклыми поверхностями; знак - – с выпуклыми и вогнутыми поверхностями;

r – радиус;

E_{ПР} – приведенный модуль упругости, Н/см²:

$$E_{\text{ПР}} = \frac{2 * E_{\text{заг}} * E_{\text{ЗУ}}}{E_{\text{заг}} + E_{\text{ЗУ}}}, \quad (4.35)$$

где

E_{заг} – модуль упругости заготовки, E_{заг} = 2,0 * 10⁵ Н/см²;

E_{ЗУ} – модуль упругости губок захвата, E_{ЗУ} = 2,1 * 10⁵ Н/см².

$$E_{\text{ПР}} = \frac{2 * 2,0 * 10^5 * 2,1 * 10^5}{2,0 * 10^5 + 2,1 * 10^5} = 2,049 * 10^5 \text{ Н/см}^2,$$

$$r_1 = b * \sin(\alpha_1) - \frac{D_{\max} - D_{\min}}{4}$$

$$r_1 = 70 * 0.439 - \frac{65 - 35}{4} = 23,23 \text{ мм}$$

$$r_2 = b * \sin(\alpha_2) + \frac{D_{\max} - D_{\min}}{4}$$

$$r_2 = 70 * 0.956 + \frac{65 - 35}{4} = 74.38 \text{ мм}$$

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{28,336 * 2,049 * 10^5}{0,8} * \left(\frac{2}{6,5} + \frac{1}{2,323} \right)} = 967,502 \text{ Н/см}^2,$$

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{28,336 * 2,049 * 10^5}{0,8} * \left(\frac{2}{6,5} - \frac{1}{7,438} \right)} = 468,72 \text{ Н/см}^2$$

Допустимые напряжения контакта при статическом нагружении:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_T}{S}, \quad (4.36)$$

где: σ_T – предел текучести материала, $\sigma_T = 32340 \text{ Н/см}^2$;

S – коэффициент безопасности, принимаем $S = 1,5 \dots 1,8$, $S = 1,8$.

$$\sigma_{HP} = \frac{32340}{1,8} = 17966,667 \text{ Н/см}^2$$

Полученные значение $\sigma_{H1} = 967,502 \text{ Н/см}^2$ и $\sigma_{H2} = 468,72 \text{ Н/см}^2$ меньше рассчитанного максимального напряжения – повреждения захватываемой детали не будет.

Расчет прочности реечной передачи

Т.к. реечная передача захвата функционирует с использованием консистентной смазки, то достаточен расчет зубьев на изгиб [2]. Целью расчета является предотвращение излома зубьев. Расчетные напряжения изгиба в зубьях σ_H не должны превышать допускаемых $[\sigma]_H$:

$$\sigma_H = \frac{2 * Y_F * K * T}{z_1 * m^3 * \psi_m} < [\sigma]_H, \quad (4.37)$$

где: $Y_F = 3.85$ – коэффициент, учитывающий прочность зуба с учетом местных напряжений;

$K = 2.1$ – динамический коэффициент учета нагрузок;

$\psi_m = 8$ – коэффициент ширины колеса;

$m = 2$ – высота головки зуба.

$[\sigma]_и$ – допускаемое напряжение изгиба, $[\sigma]_и = 150$ Мпа.

Подставив эти значения в формулу (4.37), получим результат:

$$\sigma_{и} = \frac{2 * 3.85 * 2.1 * 2819,03}{25 * 1,5^3 * 8} = 67,5 < [\sigma]_{и} \text{ Н/мм}^2.$$

В итоге прочность реечной передачи обеспечена и можно продолжать дальнейшие расчеты.

Выбор пружины

Выбираем пружину II класса, т.е. пружину на сжатие и растяжение, с циклическим и статическим напряжением, выносливость не менее 10^5 циклов, инерционное соударение витков отсутствует. Рассчитаем цилиндрическую винтовую пружину сжатия, удерживающую в захвате деталь.

Исходные данные для расчета пружины:

- сила пружины при предварительной деформации $P_1 = 1000$ Н;
- сила пружины при рабочей деформации $P_2 = 1630$ Н;
- рабочий ход пружины $H = 10$ мм;
- наружный диаметр пружины $D = 40 \dots 50$ мм;
- наибольшая скорость перемещения подвижного конца пружины $V_0 = 0,5$ м/с;
- количество рабочих циклов $N = 1 * 10^5$.

Используя интервал относительного инерциального зазора пружины δ от 0,05 до 0,25, находим граничные значения силы пружины при максимальной деформации P_3 :

$$P_3 = \frac{P_1}{1 - 0,05} \div \frac{P_2}{1 - 0,25} = 1052 \div 2160 \text{ Н}$$

Заданному наружному диаметру и найденной силе P_3 соответствует виток со следующими данными:

- сила P_3 пружины при максимальной деформации 2160 Н;
- диаметр проволоки $d = 7.0$ мм;
- наружный диаметр $D = 50$ мм;
- жёсткость витка $z_1 = 30,24$ кгс/мм;
- наибольший прогиб витка $f_3 = 8.899$ мм.

Учитывая норму напряжений для пружин II класса $\tau_3 = 960$ Н/мм.

Критическая скорость:

$$V_{кр} = \frac{\tau_3 \cdot \left(1 - \frac{P_2}{P_3}\right)}{3,58}$$

$$V_{кр} = \frac{96 * (1 - 0,75)}{3,58} = 6,7 м / с$$

$$\frac{V_0}{V_{кр}} = \frac{0,5}{6,7} = 0,07 < 1$$

Жесткость пружины:

$$z = \frac{P_2 - P_1}{h} = \frac{1630 - 1000}{10} = 62 Н / м$$

Число рабочих витков пружины:

$$n = \frac{z_1}{z} = \frac{302,4}{62} = 4,9$$

При полуторах нерабочих витков полное число витков $n_1 = 4,9 + 1,5 = 6,4$.

Средний диаметр пружины

$$D_0 = D - d = 50 - 7 = 43 \text{ мм.}$$

Вычисляем деформацию, высоту и шаг пружины:

$$F_1 = \frac{P_1}{z} = \frac{1000}{85,8} = 11,7 \text{ мм}$$

$$F_2 = \frac{P_2}{z} = \frac{1630}{85,8} = 18,9 \text{ мм}$$

$$F_3 = \frac{P_3}{z} = \frac{2160}{85,8} = 25,2 \text{ мм}$$

$$H_3 = (n_1 + 1 - n_3) * d = (5 + 1 - 1,5) * 7 = 31,5 \text{ мм}$$

$$H_0 = H_3 + F_3 = 31,5 + 25,2 = 56,7 \text{ мм}$$

$$H_1 = H_0 - F_1 = 56,7 - 11,7 = 45 \text{ мм}$$

$$H_2 = H_0 - F_2 = 56,7 - 18,9 = 37,8 \text{ мм}$$

Шаг пружины t для пружин сжатия равен

$$t = d + f_3 = 7 + 8,899 = 15,899 \text{ мм}$$

Масса пружины

$$Q \approx 19,25 \cdot 10^{-6} \cdot D_0 \cdot d^2 \cdot n_1 = 19,25 \cdot 10^{-6} \cdot 43 \cdot 7^2 \cdot 4,9 = 0,199 \text{ кг.}$$

Длины развернутой пружины (без учета зацепов)

$$L \approx 3,2 \cdot D_0 \cdot n_1 = 3,2 \cdot 43 \cdot 6,4 = 880,64 \text{ мм}$$

Расчет осей

Из конструктивных соображений принимаем диаметры осей $d_1 = 4$ мм; $d_2 = 5$ мм; $d_3 = 6$ мм. Материал осей – сталь 45 ГОСТ 1050-74. Рассчитаем оси диаметром $d_2 = 5$ мм на срез и смятие как наиболее нагруженные.

$$\tau = \frac{2 * P}{\pi * d^2} \leq [\tau], \quad (4.38)$$

где: P – усилие привода, $P = 1102$ Н;

d – диаметр оси, $d = 5$ мм;

$[\tau]$ – допускаемое напряжение на срез; $[\tau] = 120$ МПа.

$$\tau = \frac{2 * 1102}{3,14 * 5^2} = 28 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_c = \frac{P}{2 * b * d} \leq [\sigma]_c, \quad (4.39)$$

где: P – усилие привода, $P = 1102$ Н;

b – длина площади смятия, $b = 4$ мм;

d – диаметр оси;

$[\sigma]_c$ – допускаемое напряжение смятия, $[\sigma]_c = 250$ МПа.

$$\sigma_c = \frac{1102}{2 * 4 * 5} = 27,55 \text{ МПа.}$$

Расчет подшипников на долговечность

Учитывается удельное давление P в подшипнике и величина pV (для характеристики износа и нагрева).

Окружная скорость:

$$V = \frac{\pi * d * n}{1000 * 60}, \quad (4.40)$$

где: d – диаметр подшипника, $d = 6$ мм;

n – частота вращения шпинделя, $n = 398,1$ об/мин.

$$V = \frac{3,14 * 6 * 398,1}{1000 * 60} = 0,125 \text{ м/с}$$

Удельное давление в подшипнике:

$$p = \frac{P}{d * l} \leq [p], \quad (4.41)$$

где: d и l – диаметр и длина подшипника, $d = 6$ мм, $l = 8$ мм;

p – сила, действующая на подшипник, $p = 34,286$ Н.

$$p = \frac{34,286}{6 * 8} = 0,714 \text{ МПа} \leq [p] = 1 - 3 \text{ МПа}$$

$$p * V < [p * V], \quad (4.42)$$

$$p * V = 0,714 * 10^6 * 0,125 = 89512 \frac{\text{Н}}{\text{м} * \text{с}} < [p * V] = (6 - 12) * 10^6 \text{ Н/м} * \text{с}.$$

5 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАК

Характеристика объекта управления:

1) в ГАК входят: токарный станок с ЧПУ модели 16А20БФ3, 2 токарных полуавтомата с ЧПУ модели 1716ПФ4; зубофрезерный станок с ЧПУ модели 53А32Ф6; ПР напольного типа РПМ-25.03.

2) масса заготовки – 4,26 кг

3) цикл обработки – 10,36 мин

4) в течение цикла – 2 детали

К системе управления (СУ) ГАК предъявляются следующие требования:

1) устройство управления (УУ) второго уровня должно обеспечивать реализацию следующих функций: оперативное управление комплексом (диспетчеризация), терминальная, мониторинг,

2) интерфейс связи 1-го и 2-го уровня управления должен иметь высокое быстродействие и низкие затраты, связанные с физической средой передачи данных (кабельная продукция);

3) алгоритм оперативного управления, кроме реализации требуемой циклограммы с учетом входа и выхода из цикла, должен исключать холостую работу оборудования и обеспечивать вывод комплекса из детерминированных нештатных ситуаций;

4) простота встраивания в систему управления гибкой производственной системы (СУ ГПС) цеха или участка.

5.1 Выбор управляющих устройств оборудования

В качестве систем управления для промышленного оборудования выбираем систему ЧПУ Sinumerik 840С. Для управления роботом штатную мультипроцессорную систему управления СФЕРА-36.

Сетевая организация структуры системы управления основывается на обслуживании системами ЧПУ станков и роботов датчиков состояния станка и робота, датчиков положения механизмов станков и роботов. Локальные

системы управления имеют возможность диагностировать станочное оборудование и механизмы робота. Программное обеспечение оценивает состояние оборудования. Эта оценка является совокупностью осведомительных сигналов для контроллера второго уровня управления. Кроме того, сигналы выполнения и исполнения программ станков и роботов также являются осведомительными.

Таким образом, для обслуживания контроллером второго уровня решено использовать следующие датчики: состояния станочных приспособлений станков, наличия или отсутствия на позициях выдачи заготовок (деталей) и наличия заготовки в схвате робота. Для этого используются интеллектуальные датчики, подключаемые к сети ProfibusDP через малогабаритные станции распределенного ввода вывода SimaticET200eso производства фирмы Siemens: ультразвуковой датчик по технологии IQ-Sense серии Sonar-BeroSimaticPXS300. Для оценки состояния ограждения используются световой барьер SimaticFS200 со встроенным AS-интерфейсом.

Для управления вторым уровнем выбираем программируемый логический контроллер (ПЛК) производства фирмы Siemens SimaticS7-300.

ПЛК SimaticS7-300

SIMATIC S7-300 – модульные программируемые контроллеры естественного охлаждения.

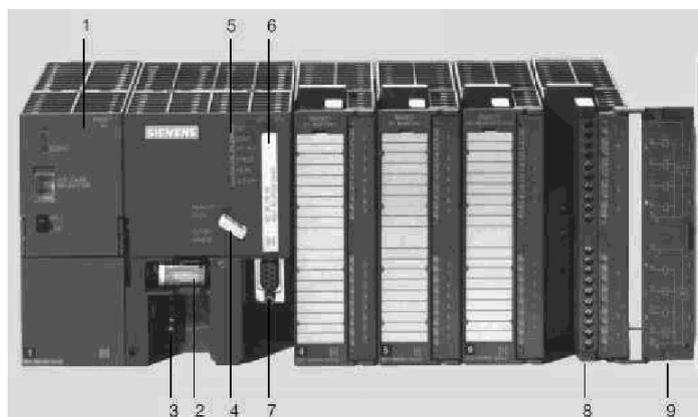


Рисунок 5.1 – ПЛК SimaticS7-300

1 – блок питания, 2 – буферная батарея, 3 – разъемы питания, 4 – переключатель режимов работы, 5 – индикаторные светодиоды, 6 – модуль памяти, 7 – разъем MPI, 8 – фронтальный соединитель, 9 – защитная крышка.

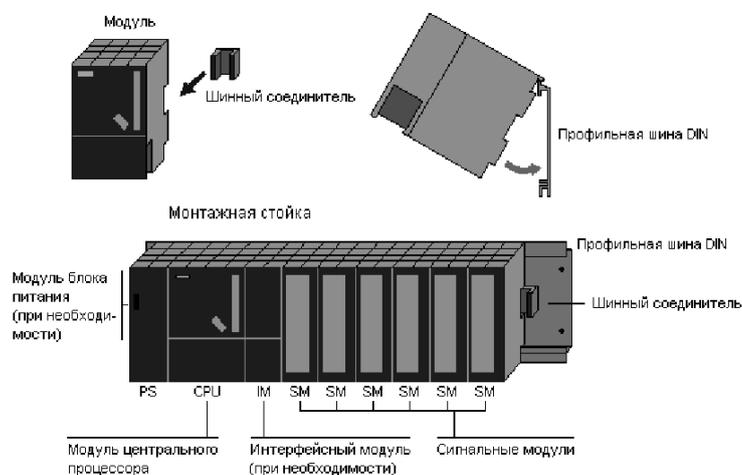


Рисунок 5.2 – Модульная конструкция контроллера SIMATIC S7-300

На физическом уровне сети PROFIBUS используют витую пару 5 категории по стандарту RS 485, поэтому подключение контроллеров SIMATIC S7-300 к сети производится с помощью коммуникационного процессора.

В состав контроллера входят:

- блок питания,
- коммуникационный процессор,
- главный процессор,
- блок дискретных входов и выходов.

Выбор коммуникационного процессора

Т.к. нам необходимо подключить контроллер к сети ProfibusDP, то выбираем коммуникационный процессор CP342-5, подключающих контроллеры SIMATIC S7-300 и систем автоматизации SI-MATIC C7 к сети PROFIBUS-DP. Коммуникационный процессор разгружает центральный процессор контроллера и поддерживает протокол PROFIBUS-DP. Возможно дистанционное программирование и конфигурирование контроллеров по сети PROFIBUS.

Допустимое количество коммуникационных процессоров, устанавливаемых в одном контроллере, определяется типом центрального процессора и видом используемых функций связи.

Коммуникационный процессор CP 343-1 дает возможность подключения контроллеров SIMATIC S7-300 к сети Industrial Ethernet.

Модуль оснащен встроенными интерфейсами AUI/ITP и RJ45.

Возможно функционирование в комбинированном режиме с одновременной поддержкой транспортных протоколов ISO и TCP.

CP 343-1 дает возможность дистанционно программировать контроллеры по сети и обеспечивает их подключение к офисной сети Ethernet.

Т.к. необходимо подключить контроллер к сети AS-i, выбираем коммуникационный процессор: CP342-2, являющийся стандартным ведущим устройством AS-интерфейса.

Выбор центрального процессора для контроллеров S7-300

Выбираем процессор CPU 315 – центральный процессор для построения систем автоматизации, обслуживающих локальные и распределенные системы ввода-вывода, подключаемые по PROFIBUS-DP.

Для вывода информации используем графическую панель оператора SIMATIC OP37, подключаемую к контроллеру.

Панель оператора SIMATIC OP37 имеет жидкокристаллический дисплей и мембранную клавиатуру.

Для связи панели оператора SIMATIC OP37 и контроллера S7-300 используется интерфейс RS 232C.

Система ЧПУ Sinumerik 840C

Sinumerik 840C – модульная, 32 разрядная микропроцессорная СЧПУ CNC типа, для управления токарными станками, станками сверлильно-фрезерно-расточной группы и применения в других приложениях. Допускается управление до 15 осей.

Модуль CPU имеет 2 модуля ввода аналоговых сигналов по 8 входов ($\pm 10\text{В}/12\text{бит}$), и комбинированные модули ввода/вывода аналоговых и

дискретных сигналов, каждый на 16 входов/выходов дискретных (24В;0,4А) и 4 аналоговых выхода ($\pm 10В$).

Программное обеспечение позволяет организовать гибкое управление приводами, как основного, так и вспомогательного оборудования не только подачи, но и главного движения (шпинделей) с оптимизацией, в том числе в следящем режиме.

УЧПУ «Сфера-36»

УЧПУ модели «Сфера-36» представляет собой иерархическую мультипроцессорную систему. МикроЭВМ верхнего уровня решает тактическую задачу управления роботом, микроЭВМ нижнего уровня обеспечивает программную реализацию алгоритма управления следящими приводами манипулятора (каждая ЭВМ управляет одним приводом).

Интеллектуальные датчики

Ультразвуковой датчик SimaticPXS300 (рис. 5.3) – датчик отражающего действия. Объект, который должен быть обнаружен, действует как отражатель. Если он находится в установленной коммутационной зоне, эхо от этого предмета вызывает срабатывание.



Рисунок 5.3 – Ультразвуковой датчик SimaticPXS300



Рисунок 5.4 – Световой барьер FS 200

Световые барьеры SIMATIC FS200 – бесконтактные устройства защиты от доступа для опасных зон, опасных помещений и пунктов входа. При прерывании светового луча выдается сигнал для остановки механизмов оборудования.

Станция распределенного ввода вывода ET 200eso



Рисунок 5.5 – Станция распределенного ввода вывода ET 200eso

Станция распределенного ввода обрабатывает 16 дискретных сигналов со встроенным интерфейсом PROFIBUS DP. Скорость передачи данных до 12 Мбит/с.

Настройка параметров станции ET 200eso выполняется из среды COM PROFIBUS или STEP 7.

5.2 Разработка структурно-функциональной схемы СУ ГАУ

В работе решена задача системной интеграции устройств управления первого и второго уровня.

Структурно-функциональная схема СУ ГАУ реализована в виде двух основных промышленных сетей: сети полевого уровня ProfibusDP и сети AS-интерфейса для подключения светового барьера. Решение задач загрузки управляющих программ и организация обмена информацией с цеховым уровнем осуществляется при помощи сеть IndustrialEthernet.

Сеть ProfibusDP

Связь с полевым уровнем (PROFIBUS-DP и PROFIBUS-PA) используется для обслуживания систем распределенного ввода-вывода, а также устройств и

систем человеко-машинного интерфейса. Подключение устройств распределенного ввода-вывода к системам автоматизации производится через:

- встроенные интерфейсы центральных процессоров (CPU),
- интерфейсные модули (IM) или съемные интерфейсные субмодули (IF),
- коммуникационные процессоры (CP).

К одной системе автоматизации может подключаться несколько сетей PROFIBUS-DP, что позволяет не только увеличивать количество обслуживаемых устройств распределенного ввода-вывода, но и разделять их на группы по различным технологическим признакам.

Функции активных устройств выполняют системы автоматизации, устройства и системы человеко-машинного интерфейса, обслуживающие системы. В качестве пассивных устройств используются станции распределенного ввода-вывода SIMATIC ET 200, а также аппаратура полевого уровня с встроенными интерфейсами PROFIBUS-DP (датчики, регуляторы, преобразователи частоты, устройства плавного пуска, коммутационная аппаратура и т.д).

Сеть PROFIBUS используется для организации обмена данными между интеллектуальными сетевыми устройствами. Сеансы связи могут устанавливаться между двумя системами автоматизации, системой автоматизации и компьютером и т.д. Для организации обмена данными используются следующие функции и протоколы:

- S7 routing (маршрутизация).
- S7 функции связи.
- стандартные функции связи (протокол PROFIBUS-FMS).

AS интерфейс – это сеть полевого уровня, позволяющая объединить датчики и приводы различного назначения. Питание всех сетевых компонентов и передача данных производится по одному и тому же кабелю.

Применение AS-интерфейса позволяет соединять все элементы системы одним двухжильным кабелем и обеспечивать высокую степень защиты системы автоматизации.

Отличительной чертой AS-интерфейса является использование одного двухжильного кабеля для обмена данными и подвода питания к датчикам и исполнительным устройствам.

IndustrialEthernet – промышленная сеть верхних уровней управления, отвечающая требованиям международного стандарта IEEE 802.3 (Ethernet).

Выбор топологии связей

В разрабатываемой системе управления предлагается использовать магистральную структуру, соответствующую топологии «шина». Здесь наиболее просто реализуется передача информации между абонентами и значительно облегчается модернизация, в частности, подключение дополнительного оборудования. Сохраняя преимущества кольцевой топологии, магистральная структура обладает относительной независимостью системы в целом от работы ее отдельных элементов и является более экономичной с точки зрения аппаратных затрат.

Аппаратная системная интеграция

Объединение СЧПУ в сеть ProfibusDP осуществляется с помощью модулей Int. Profibus DP IM 308-C, а сеть Ethernet с помощью Int. Ethernet CP 1476.

СУР СФЕРА-36 интегрируется в сеть ProfibusDP посредством модуля CP 342-5.

Аналогично в отмеченные сети интегрирован и контроллер второго уровня S7-300: ProfibusDP – CP342-5; Ethernet – CP 343-1; AS-i – CP342-2.

Световой барьер FS200 подключается к сети AS-i непосредственно.

В качестве компонентов человеко-машинного интерфейса используются панель оператора OP037 и программатор PG 720.

Сетевые компоненты

Физическое подключение СЧПУ к ProfibusDP осуществляется с помощью сетевого терминала RS485 6GK1500-0AB00; к Ethernet – трансивера 6GK1901-0AA00-0AA0.

Повторитель 6GK1110-0AA00 служит для связи сегментов сети.



Рисунок 5.6 – Трансивер с двумя интерфейсами

Трансивер с двумя интерфейсами обеспечивает:

- подключение двух сетевых станций к триаксиальной сети IndustrialEthernet,
- гальваническая изоляция между станциями и сетью,
- непосредственное подключение двух станций.
- автономную работу двух станций.

Повторители для IndustrialEthernet



Рисунок 5.7 – Повторитель для IndustrialEthernet

Повторитель используется для соединения двух сегментов IndustrialEthernet для увеличения протяженности сети.

С помощью повторителей к сети IndustrialEthernet можно подключать дополнительные сегменты. Установка каждого повторителя позволяет увеличить протяженность сети на 500 м. Для подключения к сегментам необходимо применение двух трансиверов с соответствующими кабелями.

Сетевые терминальные устройства



Рисунок 5.8 – Сетевое терминальное устройство

Сетевые терминальные устройства служат подключения сетевых узлов PROFIBUS с интерфейсом RS 485 к сегменту электрической сети PROFIBUS.

5.3 Разработка блок-схемы алгоритма оперативного управления ГАУ

Анализ задачи оперативного управления ГАУ

Задача оперативного управления ГАУ – задача координации работы его оборудования, задача согласования развития процессов управления на нижнем уровне. То есть это согласованный запуск управляющих программ станков с ЧПУ и ПР. Ввиду большого объема и сложности работы оборудования, разработаем блок-схему алгоритма оперативного управления частью оборудования – ПР обслуживает станки С1 и С2 .

Таблица 5.2 – Описание управляющих подпрограмм ПР

№	Наименование, обозначение	Выполняемые движения и операции	Условия выработки команды управления системой 2 ^{го} уровня
1	2	3	4
1	Разгрузка бункера, находящегося на позиции выдачи(ПВ) УП ПР - 1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вход в зону ПВ 2. Заведение разжатого схвата ПР на заготовку 3. Зажим схвата и извлечение детали 4. Выход из зоны 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ПР у ПВ 2. В ячейке бункера имеется заготовка 3. Все системы ПР исправны 4. Схват ПР разжат 5. Ограждение ГАУ не

		ПВ	нарушено
2	Поворот от ПВ к С1 УП ПР - 2	-----	<ol style="list-style-type: none"> 1. ПР у ПВ 2. В схвате ПР зажата заготовка 3. Все системы ПР исправны 4. Ограждение ГАУ не нарушено 5. УП С1 не выполняется 6. В зажимном приспособлении С1 пусто 7. Зажимное приспособление С1 разжато
3	Загрузка С1 заготовкой из бункера УП ПР - 3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вход в рабочую зону С1 2. Установка и закрепление заготовки в зажимном приспособлении 3. Разжим схвата ПР 4. Выход из рабочей зоны С1 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ПР у С1 2. Все системы ПР исправны 3. В схвате ПР зажата заготовка 4. В зажимном приспособлении С1 пусто 5. Зажимное приспособление С1 разжато 6. УП С1 не выполняется 7. Все системы С1 исправны 8. Ограждение ГАУ не нарушено
4	Разгрузка С1 УП ПР - 4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вход в рабочую зону С1 2. Заведение разжатого схвата ПР на заготовку 3. Зажим схвата и извлечение детали 4. Выход из рабочей зоны С1 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ПР у С1 2. УП С1 не выполняется 3. Все системы ПР исправны 4. Схват ПР разжат 5. В зажимном приспособлении С1 деталь 6. Зажимное приспособление зажато 7. Все системы С1 исправны 8. Ограждение ГАУ не нарушено
5	Перемещение ПР с заготовкой от С1 к С2 УП ПР	-----	<ol style="list-style-type: none"> 1. ПР у С1 2. В схвате ПР зажата заготовка 3. Все системы ПР

	- 5		исправны 4. Ограждение ГАУ не нарушено 5. УП С1 не выполняется 6. УП С2 не выполняется 7. В зажимном приспособлении С2 пусто 8. Зажимное приспособление С2 разжато
6	Загрузка С2 УП ПР - 6	1. Вход в рабочую зону С2 2. Установка и закрепление заготовки в зажимном приспособлении 3. Разжим схвата ПР 4. Выход из рабочей зоны С2	1. ПР у С2 2. Все системы ПР исправны 3. В схвате ПР зажата заготовка 4. В зажимном приспособлении С2 пусто 5. Зажимное приспособление С2 разжато 6. УП С2 не выполняется 7. Все системы С2 исправны 8. Ограждение ГАУ не нарушено
7	Переустановка заготовки на С2 после обработки с одной стороны УП ПР - 7	1. Вход в рабочую зону С2 2. Заведение разжатого схвата ПР на частично обработанную деталь 3. Зажим схвата и извлечение детали 4. Ротация схвата ПР 5. Установка и закрепление изделия в зажимном приспособлении 6. Разжим схвата ПР 7. Выход из рабочей зоны С2	1. ПР у С2 2. Все системы ПР исправны 3. Схват ПР разжат 4. В зажимном приспособлении С2 деталь 5. Зажимное приспособление С2 зажато 6. УП С2 не выполняется 7. Все системы С2 исправны 8. Ограждение ГАУ не нарушено
8	Перемещение ПР со свободным схватом от С2 к ПВ УП ПР - 8	-----	1. ПР у С2 2. Схват ПР разжат 3. Все системы ПР исправны 4. Ограждение ГАУ не

			<p>нарушено</p> <p>5. УП С1 не выполняется</p> <p>6. В ячейке бункера имеется заготовка</p> <p>7. а) $N_1 < N$ (на С1 загружена не последняя заготовка)</p> <p>или</p> <p>б) $N_1 = N$ (на С1 загружена последняя заготовка)</p>
9	Разгрузка С2 УП ПР - 9	<p>1. Вход в рабочую зону С2</p> <p>2. Заведение разжатого схвата ПР на заготовку</p> <p>3. Зажим схвата и извлечение детали</p> <p>4. Выход из рабочей зоны С2</p>	<p>1. ПР у С2</p> <p>2. УП С2 не выполняется</p> <p>3. Все системы ПР исправны</p> <p>4. Схват ПР разжат</p> <p>5. В зажимном приспособлении С2 деталь</p> <p>6. Зажимное приспособление зажато</p> <p>7. Все системы С2 исправны</p> <p>8. Ограждение ГАУ не нарушено</p>
10	Перемещение ПР с заготовкой от С2 к С4 УП ПР - 10	-----	<p>1. ПР у С2</p> <p>2. В схвате ПР зажата заготовка</p> <p>3. Все системы ПР исправны</p> <p>4. Ограждение ГАУ не нарушено</p> <p>5. УП С2 не выполняется</p> <p>6. УП С4 не выполняется</p> <p>7. В зажимном приспособлении С4 пусто</p> <p>8. Зажимное приспособление С4 разжато</p>
11	Загрузка С4 УП ПР - 11	<p>1. Вход в рабочую зону С4</p> <p>2. Установка и закрепление заготовки в зажимном приспособлении</p> <p>3. Разжим схвата ПР</p>	<p>1. ПР у С4</p> <p>2. Все системы ПР исправны</p> <p>3. В схвате ПР зажата заготовка</p> <p>4. В зажимном приспособлении С4 пусто</p>

		4. Выход из рабочей зоны С4	5. Зажимное приспособление С4 разжато 6. УП С4 не выполняется 7. Все системы С4 исправны 8. Ограждение ГАУ не нарушено
12	Перемещение ПР со свободным схватом от С4 к С1 УП ПР - 12	-----	1. ПР у С4 2. Схват ПР разжат 3. Все системы ПР исправны 4. Ограждение ГАУ не нарушено 5. УП С1 не выполняется 6. В зажимном приспособлении С1 деталь

Таблица 5.3 Управляющие программы запуска обработки на станках С1, С2

№	Наименование, обозначение	Условия выработки команды управляющей системой 2 ^{го} уровня
1	2	3
1	Запуск управляющей программы обработки на С1 УП С1	1. ПР у С1 2. Ограждение ГАУ не нарушено 3. Все системы С1 исправны 4. УП С1 не выполняется 5. Зажимное приспособление С1 зажато 6. В зажимном приспособлении С1 заготовка
2	Запуск управляющей программы обработки на С2 УП С2	1. ПР у С2 2. Ограждение ГАУ не нарушено 3. Все системы С2 исправны 4. УП С2 не выполняется 5. Зажимное приспособление С2 разжато 6. В зажимном приспособлении С2 заготовка

Управление запуском обработки на станках сводится к запуску УПС1, УПС2 при выполнении следующих условий:

- 1) УП ПР по загрузке соответствующего станка выполнена полностью;

2) заготовка установлена и закреплена в зажимном приспособлении соответствующего станка;

3) на станке не выполняется программа обработки;

4) все системы соответствующего станка исправны;

5) ограждение рабочей зоны РТК не нарушено;

б) в рабочей зоне станка нет помех.

Описание, систематизация и формализация осведомительных и управляющих сигналов устройства управления второго уровня.

Осведомительные (входные) сигналы

В соответствии с принятыми принципами организации архитектуры СУ ГАУ и обмена информацией готовность оборудования к запуску определяется контроллером второго уровня по соответствующим входным сигналам. Эти сигналы представлены в таблицах 5.2, 5.3. В них не учтены дополнительные сигналы, используемые в режимах диагностирования состояния оборудования и нештатных ситуаций.

Входные сигналы контроллера S7-300 приведены в таблице 5.5.

Управляющие (выходные) сигналы.

Основные выходные сигналы контроллера второго уровня – команды запуска оборудования, формируемые при выполнении условий, указанных в таблицах 5.2, 5.3 представлены в таблице 5.5. В ней не приведены команды запуска диагностических программ и программ вывода ГАУ из нештатных ситуаций в автоматическом режиме: перезапуск УП с требуемых кадров при сбоях, программ ориентации ПР.

Разработка блок-схемы алгоритма оперативного управления ГАУ

Блок-схема алгоритма (БСА) оперативного управления ГАУ разработана на основе таблиц 5.4, 5.5. БСА обеспечивает управление процессами входа/выхода из цикла и циклической работы ГАУ. Запуск программ различных перемещений ПР (таблица 5.5) осуществляется выводом из S7-300

соответствующих команд. Перед выводом команд запуска УП ПР проверяется условие готовности их к запуску (таблица 5.4). Аналогично выводятся команды к запуску УП станков ГАУ.

При невыполнении условий запуска ПК S7-300 второго уровня инициализирует диагностику состояния и нештатных ситуаций – сбой СУ станков и ПР, нарушения в работе зажимных приспособлений, нарушение ориентации ПР у оборудования, ошибки вспомогательных технологических операций (например, при загрузке станков) и пр., а так же анализ возможности использования программ выхода из нештатной ситуации в автоматическом режиме. Если такой выход невозможен или соответствующая программа не устранила нештатную ситуацию, то предусмотрен переход к режиму аварийного останова с включением аварийной сигнализации, выводом сообщений о нештатной ситуации и передачей управления оператору.

Таблица 5.4 Входные сигналы контроллера 2-го уровня

№ п/п	Функциональное значение	Вид	Источник	Условное обозначение	Логическое значение
1	2	3	4	5	6
1	Сигналы нарушения ограждения ГАУ	Дискретный, логический	Световые датчики ограждения	$X1_{\Sigma}$	$X1_{\Sigma} = X1.1 \vee X1.2 \vee X1.3 = 1(0)$ – ограждение нарушено (не нарушено) $X1.1, X1.2, X1.3$ – сигналы световых датчиков
2	Сигнал выполнения УПС1	Дискретный, импульсный	УЧПУ С1	$X2$	$X2=1(0)$, УП С1 выполняется (не выполняется)
3	Сигнал выполнения УПС2	Дискретный, импульсный	УЧПУ С2	$X3$	$X3=1(0)$, УП С2 выполняется (не выполняется)
4	Сигнал о исправности всех систем С1	Дискретный, импульсный	УЧПУ С1	$X4$	$X4=1(0)$, все системы С1 исправны (не исправны), по диагностическим программам, тестам УЧПУ С1
5	Сигнал о исправности всех систем С2	Дискретный, импульсный	УЧПУ С2	$X5$	$X5=1(0)$, все системы С2 исправны (не исправны), по диагностическим программам, тестам УЧПУ С2
6	Сигнал о исправности всех систем С4	Дискретный, импульсный	УЧПУ С4	$X6$	$X6=1(0)$, все системы С4 исправны (не исправны), по диагностическим программам, тестам УЧПУ С4
7	Сигнал о наличии заготовки в ячейке бункера	Дискретный, логический	Ультразвуковой датчик	$X7$	$X7=1(0)$ – в ячейке бункера есть заготовка (ячейка бункера пуста)
8	Сигнал о исправности всех систем ПР	Дискретный, импульсный	УЧПУ ПР	$X8$	$X8=1(0)$ – все системы ПР исправны (не исправны), по диагностическим программам, тестам УЧПУ ПР

9	Сигнал о положении ПР у С1	Дискретный, импульсный	УЧПУ ПР	X9	X9=1(0) – ПР находится у С1 (схват у С1) (не у С1)
10	Сигнал о положении ПР у С2	Дискретный, импульсный	УЧПУ ПР	X10	X10=1(0) – ПР находится у С2 (схват у С2) (не у С2)
11	Сигнал о положении ПР у С4	Дискретный, импульсный	УЧПУ ПР	X11	X11=1(0) – ПР находится у С4 (схват у С4) (не у С4)
12	Сигнал о положении ПР у ПВ	Дискретный, импульсный	УЧПУ ПР	X12	X12=1(0) – ПР находится у ПВ (схват у ПВ) (не у ПВ)
13	Сигнал о состоянии схвата ПР	Дискретный, импульсный	УЧПУ ПР	X13	X13=1(0) – схват ПР сжат (разжат)
14	Сигнал о заполнении схвата ПР	Дискретный, логический	Ультразвуковой датчик	X14	X14=1(0) –в схвате ПР заготовка (деталь)
15	Сигнал о заполнении приспособления С1	Дискретный, импульсный	УЧПУ С1	X15	X15=1(0) – в приспособлении С1 заготовка (частично обработанная деталь)
16	Сигнал о состоянии приспособления С1	Дискретный, логический	Ультразвуковой датчик	X16	X16=1(0) – в приспособлении С1 пусто (приспособление С1 заполнено)

17	Сигнал о положении приспособления С1	Дискретный, импульсный	УЧПУ С1	X17	X17=1(0) – приспособление С1 зажато (разжато)
18	Сигнал о заполнении приспособления С2	Дискретный, импульсный	УЧПУ С2	X18	X18=1(0) – в приспособлении С2 заготовка (частично обработанная деталь)
19	Сигнал о состоянии приспособления С2	Дискретный, логический	Ультразвуковой датчик	X19	X19=1(0) – в приспособлении С2 пусто (приспособление С2 заполнено)
20	Сигнал о положении приспособления С2	Дискретный, импульсный	УЧПУ С2	X20	X20=1(0) – приспособление С2 зажато (разжато)
21	Сигнал о заполнении приспособления С4	Дискретный, импульсный	УЧПУ С4	X21	X21=1(0) – в приспособлении С4 заготовка (частично обработанная деталь)
22	Сигнал о состоянии приспособления С4	Дискретный, логический	Ультразвуковой датчик	X22	X22=1(0) – в приспособлении С4 пусто (приспособление С4 заполнено)
23	Сигнал о положении приспособления С4	Дискретный, импульсный	УЧПУ С4	X23	X23=1(0) – приспособление С4 сжато (разжато)

24	Сигнал выполнения УПС4	Дискретный, импульсный	УЧПУ С4	X24	X24=1(0), УП С4 выполняется (не выполняется)
----	------------------------	------------------------	---------	-----	----------------------------------------------

Таблица 5.5 Выходные сигналы контроллера 2-го уровня

№п/п	Функциональное значение	Приемник	Условное обозначение	Формализованное условие вывода
1	2	3	4	5
1	Команда запуска УП ПР – 1	УЧПУ ПР	Y1	$Z1=1; Z1 = X12 \cdot X7 \cdot X8 \cdot \bar{X}13 \cdot \bar{X}1_2$
2	Команда запуска УП ПР – 2	УЧПУ ПР	Y2	$Z2=1; Z2 = X12 \cdot X13 \cdot X14 \cdot X8 \cdot \bar{X}1_2 \cdot \bar{X}2 \cdot X16 \cdot \bar{X}17$
3	Команда запуска УП ПР – 3	УЧПУ ПР	Y3	$Z3=1; Z3 = X9 \cdot X8 \cdot X13 \cdot \bar{X}1_2 \cdot X14 \cdot X16 \cdot \bar{X}17 \cdot \bar{X}2 \cdot X4$
4	Команда запуска УП ПР – 4	УЧПУ ПР	Y4	$Z4=1; Z4 = X9 \cdot \bar{X}2 \cdot X8 \cdot \bar{X}1_2 \cdot \bar{X}13 \cdot \bar{X}15 \cdot X17 \cdot \bar{X}16 \cdot X4$
5	Команда запуска УП ПР – 5	УЧПУ ПР	Y5	$Z5=1; Z5 = X9 \cdot X13 \cdot X14 \cdot \bar{X}1_2 \cdot X8 \cdot \bar{X}2 \cdot \bar{X}3 \cdot X19 \cdot \bar{X}20$
6	Команда запуска УП ПР – 6	УЧПУ ПР	Y6	$Z6=1; Z6 = X10 \cdot X8 \cdot \bar{X}1_2 \cdot X13 \cdot X14 \cdot X19 \cdot \bar{X}20 \cdot \bar{X}3 \cdot X5$
7	Команда запуска УП ПР – 7	УЧПУ ПР	Y7	$Z7=1; Z7 = X10 \cdot X8 \cdot \bar{X}13 \cdot \bar{X}18 \cdot \bar{X}19 \cdot X20 \cdot \bar{X}3 \cdot X5 \cdot \bar{X}1_2$
8	Команда запуска УП ПР – 8	УЧПУ ПР	Y8	$Z8=1; Z8 = X10 \cdot \bar{X}13 \cdot X8 \cdot \bar{X}1_2 \cdot \bar{X}2 \cdot X7 \cdot \left[\bar{N}1 = N \vee N1 < N \right]$
9	Команда запуска УП ПР – 9	УЧПУ ПР	Y9	$Z9=1; Z9 = X10 \cdot X8 \cdot \bar{X}13 \cdot \bar{X}1_2 \cdot \bar{X}3 \cdot \bar{X}18 \cdot \bar{X}19 \cdot X20 \cdot X5$

10	Команда запуска УП ПР – 10	учПУ ПР	Y10	$Z_{10}=1; Z_{10} = X_{10} \cdot X_{13} \cdot X_{14} \cdot X_8 \cdot \bar{X}_{1\sum} \cdot \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_{24} \cdot X_{22} \cdot \bar{X}_{23}$
11	Команда запуска УП ПР – 11	учПУ ПР	Y11	$Z_{11}=1; Z_{11} = X_{11} \cdot X_8 \cdot X_{13} \cdot X_{14} \cdot \bar{X}_{1\sum} \cdot X_6 \cdot \bar{X}_{24} \cdot X_{22} \cdot \bar{X}_{23}$
12	Команда запуска УП ПР – 12	учПУ ПР	Y12	$Z_{12}=1; Z_{12} = X_{11} \cdot \bar{X}_{13} \cdot X_8 \cdot \bar{X}_{1\sum} \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{X}_{15} \cdot X_{17}$
13	Команда запуска УП С1	учПУ С1	Y13	$Z_{13}=1; Z_{13} = X_9 \cdot \bar{X}_{1\sum} \cdot X_4 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_{15} \cdot \bar{X}_{16} \cdot X_{17}$
14	Команда запуска УП С2	учПУ С2	Y14	$Z_{14}=1; Z_{14} = X_{10} \cdot \bar{X}_{1\sum} \cdot X_5 \cdot \bar{X}_3 \cdot X_{18} \cdot \bar{X}_{19} \cdot X_{20}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные расчеты и разработки позволяют сделать следующие выводы.

1. Разработана прогрессивная конструкция заготовки, позволяющая получить минимальные припуски на обработку. Исследована деталь, проведен анализ служебного назначения детали. Выбран метод получения заготовки, сделаны расчеты припусков, разработан чертеж заготовки.

2. Выбраны детали-представители и групповая технология, на основе которых разработан перспективный технологический процесс на базе станков с ЧПУ изготовления вала промежуточного, базирующийся на современных достижениях в области методов обработки. Разработан технологический маршрут и операционная технология. Спроектированы технологические наладки.

3. Выбрано современное оборудование, которое обеспечивает минимальные людские затраты. Разработана схема размещения оборудования ГАУ, для которой спроектирована циклограмма переходов функционирования ГАУ. Минимизированы простои оборудования, повышены коэффициенты загрузки оборудования.

4. Применена быстродействующая технологическая оснастка с механизированными приводами. Ручной привод при закреплении заготовок исключен. Решена проблема межоперационной транспортировки заготовок, загрузки, выгрузки и переустановки деталей на станках с помощью современных быстродействующих промышленных роботов. Разработано захватное устройство, для которого проведены расчеты и разработаны чертежи.

5. Разработана блок-схема оперативного управления ГАУ с возможностью исполнения резидентных программ для выхода из нештатных ситуаций.

6. Разработана двухуровневая система управления ГАУ с использованием интеллектуальных датчиков Siemens.

Список используемой литературы

1. Безъязычный В. Ф. Основы технологии машиностроения [Электронный ресурс] : учебник для вузов / В. Ф. Безъязычный. -Москва : Машиностроение, 2013. -568 с.
2. Марочник сталей и сплавов/ сост. А. С. Зубченко [и др.] ; под ред. А. С. Зубченко. -2-е изд., перераб. и доп. -Москва : Машиностроение, 2003. -782 с.
3. Маталин А. А. Технология машиностроения [Электронный ресурс] : учебник / А. А. Маталин. -Изд. 4-е, стер. -Санкт-Петербург :Лань, 2016. -512с.
4. Козлов, А.А. Кузьмич, И.В. Разработка технологических процессов изготовления деталей машин: учеб.-метод. пособие по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Основы технологии машиностроения» для студентов спец. 151001 «Технология машиностроения» / сост. А.А. Козлов, И.В. Кузьмич. –Тольятти: ТГУ, 2008. –152 с.
5. Расторгуев Д. А. Проектирование технологических операций [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - Тольятти : ТГУ, 2015. -140 с.
6. Кожевников, Д.В. Режущий инструмент. [Электронный ресурс] / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов, С.Н. Григорьев. -Электрон. дан. - Машиностроение,2014. —520 с
7. Афонькин, М.Г. Производство заготовок в машиностроении. / М.Г. Афонькин, В.Б.Звягин –2-е изд., доп. и пер.ера. СПб: Политехника, 2007 –380с.
8. Гузеев В. И., Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезернорасточных станков с числовым программным управлением : справочник / В. И. Гузеев, В. А. Батуев, И. В. Сурков ; под ред. В.И. Гузеева. -2-е изд. -Москва : Машиностроение, 2007. -364 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского [и др.]. -5-е изд., испр. Москва: Машиностроение-1, 2003. - 910 с.

10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского [и др.]. -5-е изд., испр. -Москва : Машиностроение-1, 2003. - 941 с.
11. Режимы резания металлов: Справочник / Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др.–М.: НИИТавтопром, 1995. –456 с.
12. Блюменштейн В. Ю. Проектирование технологической оснастки : учеб. пособие для вузов / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов. -Изд. 3-е, стер. ; гриф УМО. -Санкт-Петербург : Лань, 2014. -219 с.
13. Горохов В. А. Проектирование технологической оснастки : учеб.для вузов / В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе, И. А. Коротков. -Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2010. -431 с.
14. Кожевников, Д.В. Режущий инструмент [Электронный ресурс] : учебник / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов [и др.]. -Электрон. дан. -М. : Машиностроение, 2014. —520 с.
15. Резников Л. А. Проектирование сложно-профильного режущего инструмента [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Л. А. Резников ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". -Тольятти : ТГУ, 2014. -207 с.
16. Справочник конструктора-инструментальщика/ В. И. Баранчиков [и др.] ; под общ.ред. В. А. Гречишникова, С. В. Кирсанова. -2-е изд., перераб. и доп. -Москва : Машиностроение, 2006. -541 с.
17. Козлов, А. А. Проектирование механических цехов [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / А. А. Козлов ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". -Тольятти : ТГУ, 2015. -47 с.
18. Суслов, А. Г. Технология машиностроения : учеб. для вузов / А. Г. Суслов. -2-е изд., перераб. и доп. ; Гриф МО. -Москва : Машиностроение, 2007. -429 с.
19. Расторгуев Д. А. Разработка плана изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". -ТГУ. -Тольятти : ТГУ, 2013. -51 с.

20. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя в трех томах. Том 1. [Электронный ресурс] —Электрон. дан. —М. :Машиностроение, 2006. —928 с.
21. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 2. [Электронный ресурс] —Электрон. дан. —М. :Машиностроение, 2006. —960 с.
22. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 3. [Электронный ресурс] —Электрон. дан. —М. :Машиностроение, 2006. —928 с.
23. Зубкова, Н.В. Учебно-методическое пособие по выполнению экономического раздела дипломного проекта для студентов, обучающихся по специальности 151001 «Технология машиностроения» . Тольятти: ТГУ, 2012. –123 с.
24. Бычков, В.Я. Безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие. [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Я. Бычков, А.А. Павлов, Т.И. Чибисова. -Электрон. дан. -М. : МИСИС, 2009. -146 с.
25. Горина, Л. Н., Фесина, М.И. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие. / Л. Н. Горина, М.И. Фесина-Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. –51с.
26. Davim J.P. Modern Machining Technology. A practice guide Woodhead Publishing, 2011. —412 p. —(English).
27. Davim J.P. (ed.) Sustainable Machining. Springer, 2017. —82 p
28. Davim J. Paulo (editor). Machining. Fundamentals and Recent Advances. 68 London: Springer, 2008, -361 pages.
29. Jackson Mark. Machining with Abrasives Springer, New York, 2011. 439 p. ISBN 978-1-4419-7301-6;
30. Klocke F. Manufacturing Processes 2: Grinding, Honing, Lapping. Vol. 2Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. XXIV, 433 p. 35 illus.—ISBN 978-3-540-92258-2, e-ISBN 978-3-540-92259-9, DOI 10.1007/978-3-540-92259-9.
31. Linke B. Life Cycle and Sustainability of Abrasive ToolsSpringer, 2016. —XVII, 265 p. —ISBN 978-3-319-28345-6; ISBN 978-3-319-28346-3 (eBook)