

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 »

(наименование кафедры)

27.03.04 Управление в технических системах

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы и технические средства автоматизации и управления

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Проектирование гибкого автоматизированного комплекса изготовления шестерни

Студент

К.О. Сельницына

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

М.В. Позднов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

Д.Г. Токарев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

М.А. Четаева

(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 осуществлена разработка технологического процесса механической обработки детали типа зубчатое колесо. Выполнен расчет припусков на механическую обработку детали, межоперационных размеров, режимов резания, норм времени. Спроектирован ГАК для выполнения токарных, долбежной и зубофрезерной операций технологического процесса. Спроектировано специальное захватное устройство для удержания и перемещения детали на позицию обработки. Разработана 3-х уровневая система управления ГАК на базе контроллера S7-300. Представлены циклограмма функционирования и алгоритм оперативного управления ГАК.

Abstract

The title of the bachelor's thesis is Designing a Flexible Automated Gear Production Complex. The aim of the work was to give some information about flexible automated complex (FAC) for processing gear-like parts and its design.

The key issue of the bachelor's thesis is the development of a technological process for machining a gear-like part. The bachelor's thesis may be divided into several logically connected parts, which are preliminary calculations, the design of the FAC for turning, grooving and gear-milling operations of the technological process, and the design of the 3-level control system of the FAC.

Particular attention was paid to the control system and calculations. The bachelor's thesis describes in details the calculation of allowances for the machining of the workpiece, interoperational dimensions, cutting modes, and time norms. The control system is represented by the 3-level control system of the FAC that is based on the Siemens S7-300 controller.

The special part of the bachelor's thesis gives details about special gripping device, which has been designed to hold and move the part to the machining position.

We also report the results of the experiments conducted to explore ways to design the algorithm of operational control of the flexible automated complex presented in the bachelor's thesis.

Finally, we present the cyclogram of the flexible automated complex functioning.

Оглавление

Введение.....	6
1 Разработка технологического процесса.....	7
1.1 Анализ служебного назначения детали	7
1.2 Технологический контроль чертежа детали.....	7
1.3 Определение формы организации технологического процесса и типа производства.....	8
1.4 Выбор и проектирование заготовки	8
1.5 Выбор метода обработки поверхности детали	10
1.6 Разработка технологического маршрута обработки детали	11
1.7 Разработка токарной операции.....	12
1.8 Расчет норм времени.....	13
2 Проектирование специального захватного устройства.....	16
2.1 Силовой расчет захватного устройства	16
2.2 Прочностной расчет захватного устройства	17
2.3 Расчет оси губки захватного устройства	18
2.4 Расчет пружины.....	19
2.5 Расчет рабочего давления пневмоцилиндра.....	20
2.6 Выбор пневмоцилиндра захватного устройства	20
3 Проектирование ГАК механической обработки зубчатого колеса.....	21
3.1 Автоматизация технологического процесса	21
3.2 Выбор оборудования основных технологических операций	22
3.3 Выбор транспортного промышленного робота	25
3.3.1 Выбор транспортного робота (первый вариант компоновки).....	25
3.3.2 Выбор транспортного робота (второй вариант компоновки).....	27
3.4 Выбор вспомогательных систем обеспечения производства	28
3.4.1 Выбор устройств системы удаления отходов	28
3.4.2 Выбор системы обеспечения безопасной работы ГАК.....	28
4 Алгоритмизация работы гибкого автоматизированного комплекса	29
5 Система управления гибким автоматизированным комплексом.....	36
5.1 Назначение автоматизированной системы управления ГАК	36
5.2 Нормальные режимы работы систем локального управления оборудованием	36
5.3 Нештатные режимы работы систем управления оборудованием.....	37

5.4 Декомпозиция задачи управления.....	38
5.5 Обобщенная структура автоматизированной системы управления ГАК	40
5.6 Спецификация сигналов системы управления верхнего уровня	40
5.7 Разработка модели управляющего процесса.....	43
5.8 Разработка основной логико-математической модели	50
5.9 Разработка архитектуры системы управления.....	51
5.10 Выбор программируемого логического контроллера	51
5.11 Выбор промышленных сетей.....	53
6 Разработка НМІ интерфейса в среде GENESIS 32	54
6.1 Основные принципы создания интерфейса.....	54
6.2 Разработка интерфейса ГАК в GENESIS 32.....	55
Заключение	57
Список используемых источников.....	58

Введение

Автоматизированное оборудование и технологические процессы применяются в различных отраслях промышленности. Такой процесс возможен только при использовании эффективных систем управления и автоматизированного контрольно-измерительного оборудования, позволяющего производить диагностику работоспособности оборудования и активный контроль хода выполнения технологических операций.

Для обслуживания автоматизированного оборудования могут применяться вспомогательные транспортные устройства и роботы, поэтому проектирование гибких автоматизированных производственных комплексов невозможно без выбора рациональных конструкций транспортных устройств, расчета их конструкций и элементов, в частности захватных устройств.

При этом необходимо обеспечить управление каждым оборудованием в отдельности и всем гибким автоматизированным комплексом в целом. Для этого применяются системы управления комплексами, построенные на базе программируемых логических контроллеров.

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.

1 Разработка технологического процесса

1.1 Анализ служебного назначения детали

Деталь – зубчатое колесо, работающее в неравномерном режиме в редукторе станка.

В качестве материала выбрана сталь 45 и заложено требование термической обработки. Во время эксплуатации узел испытывает деформации из-за разности скоростей и нагрузок.

Учитывая служебное назначение детали, разрабатывая технологический процесс производства, необходимо обратить внимание на:

- методы обработки отверстия и торца (вспомогательную конструкторскую базу),
- поверхность зубьев, которые являются исполнительными поверхностями (основную конструкторскую базу).

Все поверхности механически обрабатываются. При отсутствии обработки такие поверхности могут привести к нарушению уравновешенности и появлению вибрации при вращении зубчатого колеса.

1.2 Технологический контроль чертежа детали

Чертёж зубчатого колеса, предназначенный для изготовления детали, включает необходимые виды и проекции для обеспечения полного понятия его конструкции. На чертеже приведены необходимые размеры, указаны их отклонения, показана шероховатость обрабатываемых поверхностей, а также допустимые геометрические отклонения.

Недостатком можно считать отсутствие указаний о допустимом радиальном биении делительной окружности зубчатого венца относительно базового отверстия.

1.3 Определение формы организации технологического процесса и типа производства

Годовая программа выпуска деталей и трудоемкость их изготовления определяет тип производства. С учетом трудоемкости изготовления зубчатое колесо относится к средней группе трудоёмкости потому, что при производстве зубчатого колеса используются точные операции обработки поверхностей зубьев и отверстий. Поэтому, несмотря на то, что данное зубчатое колесо имеет небольшую массу (0,9 кг), можно принять, что при программе выпуска 8000 деталей в год, производство является массовым. Технологическому процессу массового производства соответствует поточная форма его организации.

Определим такт выпуска изделия:

$$t_b = \frac{60 * P_g}{N} = \frac{60 * 3987}{8000} = 29 \quad (1.1)$$

$P_g=3987$ часа, для поточной линии

$t_b=29$ мин.

1.4 Выбор и проектирование заготовки

Данная деталь изготавливается путем обработки заготовки, которая получается штамповкой или отрезанием из прутка диаметром 70 мм.

Проведем анализ вариантов получения заготовки.

Заготовка из проката имеет большие напуски, чем заготовка полученная штамповкой.

Окончательный выбор метода определяется по формуле

$$S_{заг}=(C_i \cdot Q \cdot K_T \cdot K_c \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_o / 1000) - (Q - q) S_{отх} / 1000 \quad (1.2)$$

C_i – базовая стоимость 1 т заготовок, руб. Для штамповки на прессе $C_i = 21000$ руб.

Q – масса заготовки, кг. С учетом массы детали ($q=0.6$ кг) массу заготовки определим так:

$$Q=q/K_M=0.6/0.7=0.86 \text{ кг} \quad (1.3)$$

K_M – коэффициент использования материал,

$K_T=1,05$ – коэффициент точностного класса заготовки,

K_c – коэффициент сложности заготовки,

$K_c =0,92$ – для углеродистой стали второй группы сложности,

$K_B=0,7$ – массовый коэффициент заготовки,

$K_M =1,21$ – коэффициент марки материала заготовки,

$K_o =1$ – коэффициент объёма производства заготовок,

$S_{отх} = 4240$ руб/т – стоимость отходов в рублях за тонну.

$$S_{заг}=(11000 \cdot 0,86 \cdot 1,05 \cdot 0,92 \cdot 0,7 \cdot 1,21 \cdot 1/1000)-(0,86-0,6 \cdot 4240/1000)=12,75$$

руб/шт.

Стоимость заготовки из проката:

$$S_{заг}^{прок}=M+\Sigma C_{O3} \quad (1.4)$$

M – стоимость материала заготовки, руб.

ΣC_{O3} – себестоимость технологических предварительных операций правки, калибрования прутка, разрезки прутка поштучно.

Стоимость материала:

$$M=Q \cdot S-(Q-q) \cdot S_{отх}/1000 \quad (1.5)$$

$$Q=0.9 \text{ кг}$$

$$S =10 \text{ руб/кг}$$

$$M=0,9 \cdot 10-(0,9-0,6) \cdot 3840/1000=7,7 \text{ руб/шт};$$

Затраты на отрезку:

$$C_{o.3} =C_{п.3} \cdot T_{шт}/60 \quad (1.6)$$

$$C_{п.3}=100 \text{ руб/час};$$

$T_{шт}$ = штучное время заготовительной операции;

$$T_{шт} = d/S_M=70/100=0.7 \text{ мин} \quad (1.7)$$

$$C_{o.3} =1000 \cdot 0,7/60 \cdot 100=0,56 \text{ руб/шт};$$

Время на обработку напуска 1:

$$T_o=10^{-3} \cdot 0,17 \cdot d \cdot l \cdot i \cdot K_x \quad (1.8)$$

$$d=70 \text{ мм}$$

$$l=20 \text{ мм}$$

$i=4$ число проходов

$K_X=1.5$ – коэффициент холостого хода

$$T_o=10^{-3} \cdot 0,17 \cdot 70 \cdot 20 \cdot 4 \cdot 1,5=1,4 \text{ мин};$$

Стоимость 1 станко-минуты составляет 70 руб/час;

$$T_o=70 \cdot 1,4/60=1 \text{ руб};$$

Время на обработку напуска 2:

$$T_o=10^{-3} \cdot 0,17 \cdot d \cdot l \cdot i \cdot K_X \tag{1.9}$$

$$d=70 \text{ мм}$$

$$l=30 \text{ мм}$$

$i=8$ число проходов

$K_X=1.5$ – коэффициент холостого хода

$$T_o=10^{-3} \cdot 0,17 \cdot 70 \cdot 30 \cdot 8 \cdot 1,5=2,9 \text{ мин};$$

Стоимость 1 станко-минуты составляет 70 руб/час;

$$T_o=7000 \cdot 2,9/60=2,2 \text{ руб};$$

$$\Sigma T_o=1+1+2,2=4,2 \text{ руб}$$

$$S_{\text{заг}}^{\text{прок}}=0,56+4,2+7,7=12,46 \text{ руб};$$

Коэффициент использования металла:

$$K^{\text{пр}}=0,6/0,9=0,67$$

$$K^{\text{шт}}=0,6/0,86=0,7$$

В прокате используется 67% металла, при штамповке 70% металла уходит на деталь.

Наиболее выгодным является производство заготовок из проката:

$$\mathcal{E}_{\text{заг}}=(S_{\text{заг}}^{\text{по}} - S_{\text{заг}}^{\text{шт}}) \cdot N=(12,75-12,46) \cdot 8000=290 \text{ руб} \tag{1.10}$$

1.5 Выбор метода обработки поверхности детали

Набор методов обработки отдельных поверхностей детали должен соответствовать необходимой точности и шероховатости поверхностей обработки.

Таблица 1.2 – Методы обработки

Поверхности	Квалитет точности	Заданная шероховатость, мкм	Методы обработки
1	9	1,6	Д
2	7	0,8	С, Т _о , Ш _ч
3	10	1,6	Т, Ш
4	10	2,5	Т, Ш
5	11	2,5	Зб, Ш

В таблице 1.2 обозначены:

Д – долбление,

С – сверление,

Т_о – точение обдирочное,

Ш_ч – шлифование черновое,

Т – точение,

Ш – шлифование,

Зб – зубофрезерование.

1.6 Разработка технологического маршрута обработки детали

Разработанная последовательность технологических операций обработки зубчатого колеса состоит из следующих технологических операций:

000 заготовительная

005 токарная

010 токарную

015 токарная

020 токарная

025 токарная

030 долбежная

035 зубофрезерная

040 шлифовальная

045 шлифовальная

При выборе конкретных моделей станков учитывалась обязательная возможность работы их по программе, т.е. наличие у станка числового программного управления (ЧПУ), а также максимальные размеры обрабатываемых на них деталей.

Для операций 005-025, был выбран полуавтомат токарный патронный с четырех позиционной инструментальной головкой и ЧПУ модели СКЕ 6136Z

Для операций 030 была выбрана долбежная машина с ЧПУ S200TG

Для операций 035 был выбран зубофрезерный станок с ЧПУ 53С50Ф4

Для операций 040 был выбран шлифовальный полуавтомат 3Г71

Для операций 045 был выбран шлифовальный полуавтомат 3К12

1.7 Разработка токарной операции

Обработка заготовки на операции 010 проводится на токарном патронном автомате с ЧПУ модели СКЕ 6136Z. Учитывая марку материала заготовки и контур обработки, выберем следующий режущий инструмент:

Переход 1: Торцевать, Токарный проходной отогнутый резец с пластинами из быстрорежущей стали Н=25 В=16 L=140 m=8 a=16 r=1 ГОСТ 18868-73;

Переход 2: Центровое, центровое сверло $\dot{O}=6,3$ тип А ГОСТ 14034-74;

Переход 3: Сверлильная, сверло спиральное из быстрорежущей стали с цилиндрическим хвостовиком средняя серия $\dot{O}=19$ l=40 ГОСТ 10902-77;.

Для закрепления заготовки применяется трехкулачковый самоцентрирующий патрон.

1.8 Расчет норм времени

Общее время операции состоит из штучного времени, рассчитываемого как

$$T_{шт} = T_o + T_{вс} + T_{об} + T_{от} \quad (1.11)$$

где

T_o – основное время, мин;

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

$T_{об}$ – время на техобслуживание, мин;

$T_{от}$ – личное время, мин.

Основное время для чернового растачивания поверхности рассчитываем по формуле:

$$T_{O1} = L_{рх} \cdot i / S_m = 30,32 \cdot 1 / 80 = 0,379 \text{ мин} \quad (1.12)$$

где $L_{рх}$ – длина рабочего хода, мм; принимаем $L_{рх} = 30,32$ мм;

i – количество рабочих ходов, $i=1$;

S_m – подача инструмента за минуту, мм/мин,

$$S_m = S_o \cdot n = 80 \text{ мм/мин}$$

где n – частота вращения шпинделя, об/мин.

Аналогично рассчитываем время остальных переходов операции 010.

Основное время:

$$T_o = \sum T_{oi} = 0,379 + 0,48 = 0,859 \text{ мин} \quad (1.13)$$

Вспомогательное время:

$$T_{вс} = T_{у.с.} + T_{з.о.} + T_{уп} + T_{изм} \quad (1.14)$$

где $T_{у.с.}$ – время установки-снятия детали, мин;

$T_{з.о.}$ – время закрепления-открепления детали, мин;

$T_{уп}$ – время управления оборудованием, мин;

$T_{изм}$ – время на метрологический анализ детали, мин.

Время на вспомогательные технологические операции (установка, снятие, зажим, разжим) детали с самоцентрирующего трёхкулачкового патрона:

$$T_{у.с.} + T_{з.о.} = 0,07 \text{ мин.}$$

Время управления:

$$T_{уп} = 0,06 \text{ мин.}$$

Время метрологического анализа детали:

$$T_{ИЗМ} = 0,024 \text{ мин}$$

Подставив данные в формулу (1.14), получаем:

$$T_{вс} = 0,07 + 0,06 + 0,024 = 0,184 \text{ мин}$$

Время, затрачиваемое рабочим на обслуживание рабочего места:

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг} \quad (1.15)$$

где $T_{тех}$ – техническое время на обслуживание, мин;

$T_{орг}$ – организационное время на обслуживание, мин.

Составляющими токарных операций является время на обслуживание техники:

$$T_{тех} = T_o \cdot t_{см} / T \quad (1.16)$$

где $t_{см}$ – время на наладку инструментов на настройку станка, мин;

T – общее время стойкости обрабатывающего инструмента, мин.

Принимаем $t_{см} = 2$ мин.

$$T_{тех} = 0,897 \cdot 2 / 50 = 0,038 \text{ мин}$$

Организационное время обслуживания:

$$T_{орг} = T_{оп} \cdot P_{орг} / 100 \quad (1.17)$$

где $T_{оп}$ – оперативное время, мин.

$$T_{оп} = T_o + T_{вс} \quad (1.18)$$

$$T_{оп} = 0,859 + 0,154 = 1,013 \text{ мин};$$

$P_{орг}$ – затраты на организационное обслуживание рабочего места, %.

Принимаем $P_{орг} = 1,7\%$.

По формуле (1.17):

$$T_{орг} = 1,013 \cdot 1,7 / 100 = 0,017 \text{ мин};$$

По формуле (1.15) вычисляем время, которое расходуется на обслуживание рабочего места:

$$T_{об} = 0,048 + 0,010 = 0,058 \text{ мин};$$

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

$$T_{от} = 0,06(T_o + T_{вс}) = 0,06(0,859 + 0,154) = 0,0607 \quad (1.19)$$

Тогда по формуле (1.11) штучное время операции 010;

$$T_{шт} = 0,859 + 0,154 + 0,057 + 0,0607 = 1,1 \text{ мин};$$

Аналогично проводится расчёт характеристик технологических операций и времени их проведения для других операций, составляющих всю структуру технологического процесса. На этой основе чего разрабатывается операционная технология.

2 Проектирование специального захватного устройства

2.1 Силовой расчет захватного устройства

Расчет захватного устройства состоит из:

- определения сил, действующих при контакте губок захватного устройства и детали;
- определения сил, позволяющих приводу решить задачу работоспособности захватного устройства;
- проверку поверхности, соответствующей требованиям рабочего чертежа;
- расчет прочности изделия.

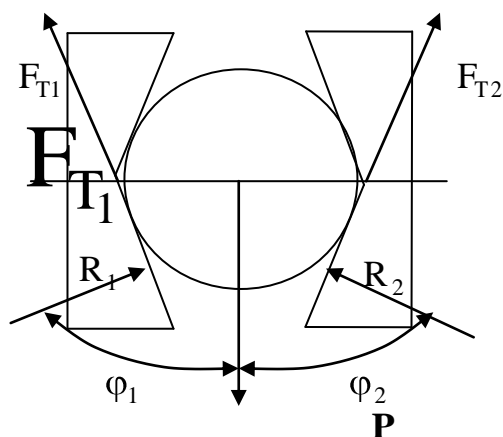


Рисунок 2.1 – Расчетная схема захвата

Контактная сила системы деталь-губка вычисляется формулой

$$N_i = \frac{R_n \sin(\varphi_i - \mu \cos \varphi_i)}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) - 2\mu \cos(\varphi_1 + \varphi_2)}, \quad (2.1)$$

Проектируемый захват имеет симметричные губки. Рассчитаем схему одной губки.

Рассчитываем усилие контакта между объектом и губкой. Объектом манипулирования является зубчатое колесо массой $m = 0,6$ кг.

Нагрузка Q весом детали определяется формулой:

$$Q = G K_d K_3 \quad (2.2)$$

где $G = mg = 9,17$ Н

K_d – динамический коэффициент, влияющий на учет манипуляционных инерционных сил, $K_d=1.4$;

K_z – коэффициент запаса, который позволяет удерживать деталь при захвате и перемещении, тогда $K_z=1.5$.

$$Q = 9,17 * 1.4 * 1.5 = 19,263 \text{ Н} \quad (2.3)$$

Сила трения между губками и деталью (для материала губок – Сталь 45 незакаленная) $\mu = 0.15$.

Т.к. губки одни, то реакция губок от действия нагрузки Q :

$$R = Q = 19,263 \text{ Н} \quad (2.6)$$

Далее рассчитываем силы, приложенные в местах контакта к губкам.

Деталь удерживается губками благодаря силам трения (приложены в местах контакта детали и губки, направлены вверх), тогда

$$|N_1| = |N_2| = R / 2 * \mu = 19,263 / 2 * 0.15 = 64,209 \text{ Н} \quad (2.7)$$

Далее рассчитаем силу P , которую нужно приложить к штоку пневмоцилиндра, чтобы сжать деталь для последующего удержания:

$$P = N * i_c \quad (2.8)$$

где i_c – передаточное отношение схвата:

$$i_c = \Delta x / \Delta y \quad (2.9)$$

$$i_c = 20 / 22,3869 = 0,89$$

Тогда

$$P = 0,89 * 64,209 = 57,365 \text{ Н}$$

Учитывая массу губок примем $P = 70 \text{ Н}$.

2.2 Прочностной расчет хватного устройства

Захват детали осуществляется силами трения. При таком способе силы контакта в системе деталь-губки могут превышать предельные значения для исключения деформации. В противном случае могут возникать поверхностные повреждения, которые не позволяют обеспечить процесс точной обработки

детали с учетом сохранения работоспособности захватного устройства промышленного робота.

Контактные напряжения деформации должны учитывать характеристику, позволяющую оценить коэффициент упругости используемого материала

Рассчитаем модуль характеристики упругости:

$$E_{np} = \frac{2 \cdot E_{zag} \cdot E_{\Gamma}}{E_{zag} + E_{\Gamma}} = 2 \text{ Н/см}^2 \quad (2.10)$$

где $E_{zag} = 2 \cdot 10^5$ МПа – характеристика упругости заготовки;

$E_{\Gamma} = 2 \cdot 10^5$ МПа – характеристика упругости губки.

Сделаем расчет напряжений контакта:

$$\sigma_n = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot N \cdot E_{np}}{h \cdot D_{max}}} \quad (2.11)$$

где h – ширина губки;

E_{np} – модуль характеристики упругости.

Тогда

$$\sigma_n = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 77,8 \cdot 2}{15 \cdot 4}} = 9.53 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения контакта при статической нагрузке:

$$\sigma_{np} = \frac{\sigma_T}{S} = \frac{25 \text{ МПа}}{1.8} = 13.889 \text{ МПа} \quad (2.12)$$

где $\sigma_T = 25$ МПа – предел текучести материала детали;

$S = 1.8$ – коэффициент безопасности.

Напряжения контакта на 80,2 %, т.е. повреждений детали при захватывании нет.

2.3 Расчет оси губки захватного устройства

Произведем расчет оси на срез. Губка закреплена шарнирно в двух точках, т.е. сила делится равномерно между ними:

$$F := \sqrt{N^2 + (P\ddot{a} + P)^2}, \quad (2.13)$$

где $P\Gamma$ – вес губки, равный 0,874 кг

Тогда $F=17,4$ кг

Определим диаметр оси:

Для материала Сталь 45 Нормализация: $[\tau]_{cp} = 850$ кгс/см².

Тогда

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 17,4}{3,14 \cdot 850}} = 0,11 \text{ см} = 1,1 \text{ мм} \quad (2.14)$$

Рассчитаем диаметр оси, исходя из условия смятия (2.15):

$$\sigma_{cm} = \frac{F}{d \cdot \delta} \quad (2.15)$$

Тогда

$$d = \frac{F}{\sigma_{cm} \cdot \delta} = \frac{17,4}{300 \cdot 30} = 0,002 \text{ мм}$$

Из технологических соображений выбираем диаметр оси:

$d = 4$ мм.

2.4 Расчет пружины

Расчет пружины, обеспечивающей безопасность фиксирования детали в захватном устройстве без воздействия сторонних силовых факторов, включает обеспечение безопасности работы захватного устройства при отключении воздуха в приводе пневмоцилиндра.

Предварительный анализ показал, что необходимо применение цилиндрической винтовой пружины сжатия.

Это необходимо для обеспечения безопасности работы захватного устройства при отключении воздуха в приводе пневмоцилиндра.

В результате произведенных расчетов определены размеры пружины, которые используются на сборочном чертеже захватного устройства.

2.5 Расчет рабочего давления пневмоцилиндра

Задаемся конструктивными параметрами:

- сила, развиваемая пневмоцилиндром $P = 10$ кгс
- внешний радиус пневмоцилиндра $R = 2.5$ см
- внутренний радиус штока пневмоцилиндра $r = 0.6$ см
- толщина стенок $\Delta = 0.3$ см

Площадь пневмоцилиндра:

$$S = \pi * R * R = 19,625 \text{ см}^2 \quad (2.16)$$

Давление в пневмоцилиндре:

$$P = 10 / S = 10 / 19.625 = 0,51 \text{ кгс/см}^2 \quad (2.17)$$

2.6 Выбор пневмоцилиндра захватного устройства

Усилие на штоке: 70 Н

Внешний диаметр: 56 мм

Внутренний диаметр: 50 мм

Давление в пневмоцилиндре: 0,51 кгс/см²

Толщина стенок: 3 мм.

Радиус штока: 6 мм.

Расстояние перемещения поршня: 25 мм.

3 Проектирование ГАК механической обработки зубчатого колеса

3.1 Автоматизация технологического процесса

Деталь обрабатывается при выполнении двенадцати технологических операций, составляющих технологический процесс обработки детали, представленных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технологические операции

№ операции и	Наименование операций и переходов	Оборудование
1	2	3
000	Заготовительная	
005	Токарная	СКЕ 6136Z
010	Токарная	СКЕ 6136Z
015	Токарная	СКЕ 6136Z
020	Токарная	СКЕ 6136Z
025	Токарная	СКЕ 6136Z
030	Долбежная	S200TG
035	Зубофрезерная	53C50Ф4
040	Шлифовальная	3M151Ф2
045	Шлифовальная	3M151Ф2
050	Контрольная	

С учетом рационального использования автоматизированного оборудования, непрерывности технологического процесса, возможности минимизации простоев оборудования для проектирования ГАК выбраны операции 005-035. В процессе расчетов техпроцесса были произведены расчеты штучного времени основных операций (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Штучное время технологических операций

№операции	Тшт (мин)
005	0,43
010	
015	0,46
020	
025	0,18
030	0,27
035	0,25

3.2 Выбор оборудования основных технологических операций

Технологический процесс изготовления детали реализуется на станках следующих типов:

1. Токарный станок с ЧПУ СKE 6136Z (рис.3.1)
2. Долбежный станок с ЧПУ S200TG (рис.3.2)
3. Зубофрезерный станок с ЧПУ 53С50Ф4 (рис.3.3)



Рисунок 3.1 – Токарный станок с ЧПУ СKE 6136Z

Станок предназначен для обработки дисков, фланцев и зубчатых колес со ступенчатыми и криволинейными поверхностями.

Таблица 3.3 – Основные технические характеристики токарного станка СКЕ 6136Z

Наибольший диаметр обрабатываемой наружной поверхности,	320 мм
Наибольшая высота обрабатываемого изделия в патроне	200 мм
Пределы частот вращения шпинделя	22-1600 мин ⁻¹
Устройство ЧПУ	КМ85
Габарит: общий с выносным оборудованием СЧПУ	4145x4130x3500 мм



Рисунок 3.2 – Долбежный станок с ЧПУ S200TG

Таблица 3.4 – Основные характеристики долбежного станка S200TG

Перемещение инструмента	мм	0-200
Вертикальное регулирование инструмента	мм	250
Возможный наклон инструмента	°	±45
Рабочее расстояние	мм	390
Расстояние рабочей зоны (вертикальная плоскость)	мм	380
Площадь рабочего стола	мм	300x600
Перемещение по Y	мм	250
Перемещение по X	мм	210
Габаритные размеры	мм	840x1450x1850



Рисунок 3.3 – Зубофрезерный станок 53С50Ф4 с ЧПУ

Таблица 3.5 – Основные характеристики зубофрезерного станка
53С50Ф4

Максимальный размер обрабатываемого изделия, мм	320 (415)*
Максимальный модуль по окружности, мм	12
Максимальный параметр зуба по высоте, мм	25
Максимальный средний размер конуса, мм	195
Максимальная ширина зубчатого венца, мм	65
Диапазон количества нарезаемых зубьев	5 - 150
Скорость вращения шпинделя, об/мин	20-250
Габариты станка с учетом периферийного оборудования, мм	3100x3095x2090

3.3 Выбор транспортного промышленного робота

3.3.1 Выбор транспортного робота (первый вариант компоновки)

Для разгрузки-загрузки станков первой компоновки используются два робота: KUKA KR16 и MEPO 7.



Рисунок 3.4 – KUKA KR16

Таблица 3.6 – Промышленный робот KUKA KR16

Максимальный вес груза, кг	16
Количество степеней подвижности	6
Величина ошибки позиционирования, мм	$\pm 0,1$
Тип расположения	Стационарный, напольный
Рабочая температура окружающей среды, °C	+5 до +55
Рабочая зона, м ³	14,5

Основные параметры транспортного робота МЕРО 7:

- максимальный вес груза, кг: 30-60;
- количество рук/количество захватов на руке: 1/1;
- количество степеней свободы: 3(+2);
- тип системы управления: позиционный;
- величина погрешности позиционирования, \pm мм: 1,0;
- габаритные размеры, мм 2005x1400x1500
- масса, кг: 1600.

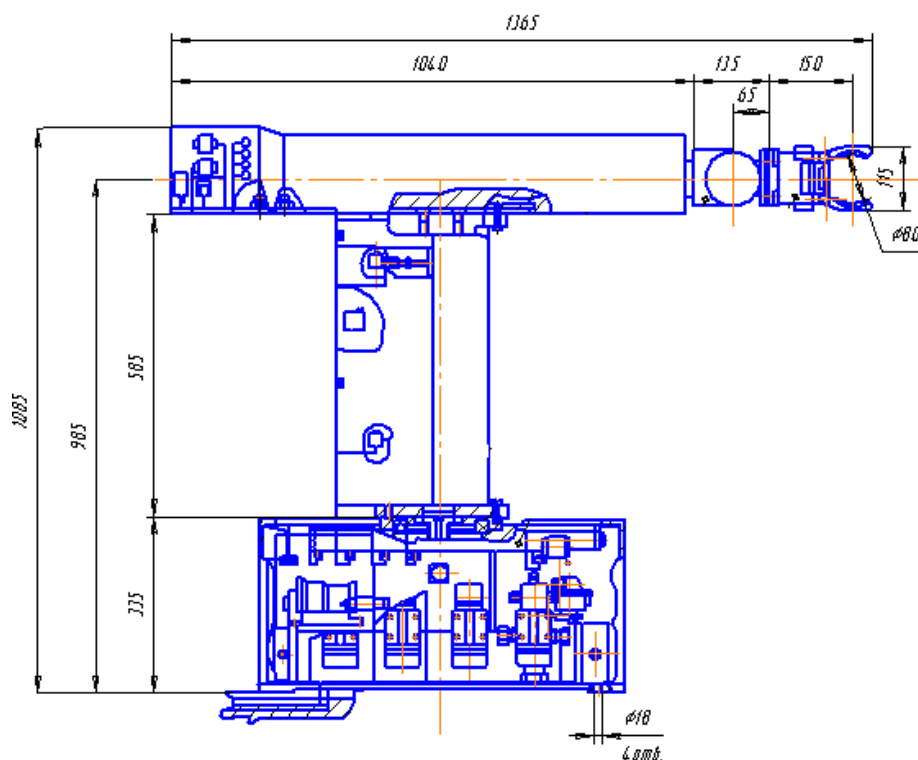


Рисунок 3.5 – Промышленный робот МЕРО 7

3.3.2 Выбор транспортного робота (второй вариант компоновки)

Во втором варианте компоновки используется порталный транспортный робот СМ40.80.01 (рисунок 3.6).

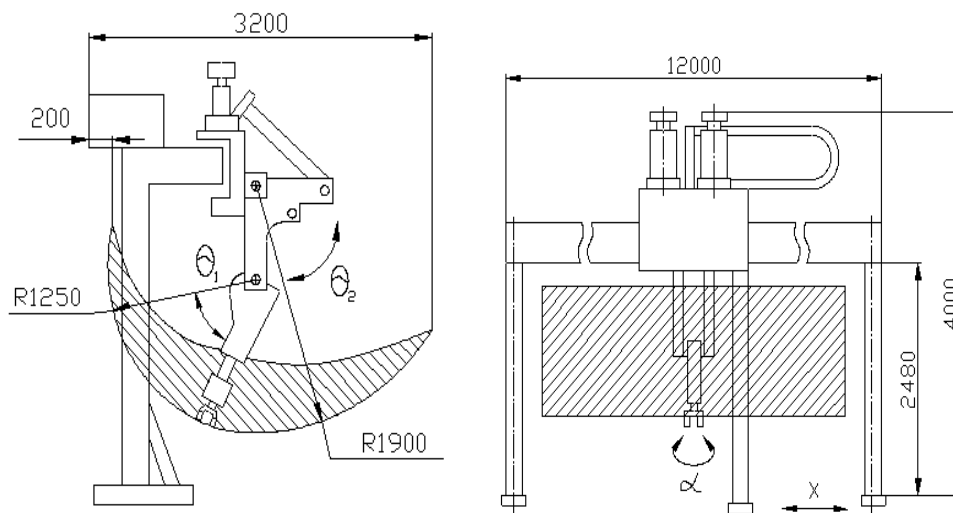


Рисунок 3.6 – Транспортный робот СМ40.80.01

Таблица 3.7 – Транспортный робот СМ40.80.01

Вес груза, кг	40
Количество степеней свободы	4
Вид привода	Электропневматический
Ошибка позиционирования, мм	± 1
Максимальное перемещение руки, мм	1900
Расстояние перемещения робота, мм	10000
Угловая скорость перемещений, $^{\circ}/\text{сек}$	30
Линейная скорость перемещений, м/с	0,8

3.4 Выбор вспомогательных систем обеспечения производства

3.4.1 Выбор устройств системы удаления отходов

Побочным результатом изготовления изделия с применением технологического оборудования являются отходы производства, в частности стружка.

При разработке планировки ГАК была предусмотрена система удаления отходов и смазочно-охлаждающей жидкости. Стружка вместе со смазочно-охлаждающей жидкостью смывается в систему удаления отходов участка, затем в центральную систему удаления отходов. Для обеспечения транспортировки стружки используется система шнековых конвейеров.

3.4.2 Выбор системы обеспечения безопасной работы ГАК

Основное и вспомогательное оборудование ГАК размещено с соблюдением необходимых требований эргономики и безопасности. На территории ГАК и на рабочем месте оператора размещены кнопки аварийной остановки ГАК.

Для устранения возможности проникновения посторонних лиц на территорию ГАК по периметру расположено сетчатое ограждение, которое одновременно обозначает периметр комплекса.

Для обеспечения безопасности в местах въезда-выезда погрузчиков комплекс оснащен световыми барьерами Telemecanique Osiris. При пересечении световых лучей барьера подается сигнал на прекращение работы оборудования комплекса.

4 Алгоритмизация работы гибкого автоматизированного комплекса

Составим алгоритм работы комплекса первого варианта компоновки.

Принимаем:

1. Токарные станки (1,2,3)
2. Долбежный станок
3. Зубофрезерный станок
4. ПР КУКА KR16
5. ПР МЕРО 7

Алгоритм работы комплекса с применением первого робота показан в таблице 4.1, с применением второго робота в таблице 4.2.

В таблице:

Схв – схват ПР (деталь) (1 – есть , 0 – нет)

C1 – станок 1 (работа) (1 – да, 0 – нет)

C2 – станок 2 (работа) (1 – да, 0 – нет)

C3 – станок 3 (работа) (1 – да, 0 – нет)

C5 – станок 5 (работа) (1 – да, 0 – нет)

C6 – станок 6 (работа) (1 – да, 0 – нет)

t – время выполнения перемещения

l – длина траектории или угол поворота

Таблица 4.1 – Алгоритм цикловой работы первого робота

№	Действия в цикле	Схв	C1	C2	C3	t, сек	l, °
1	Станок 1 (разгрузка)	1	0	0	1	3,78	
2	Станок 2 (поворот от Станка 1)	1	1	0	1	2	90°
3	Станок 2 (загрузка)	1	1	0	1	3,78	
4	Станок 2 (поворот)	0	1	1	1	2	180°
5	Время ожидания завершения обработки	0	1	1	1	10	

Продолжение таблицы 4.1

6	Станок 2 (переустанов заготовки)	1	1	1	0	3	
7	Станок 2 (поворот)	0	1	1	1	2	180°
8	Время ожидание завершения обработки	0	1	1	1	10	
9	Станок 1 (переустанов заготовки)	1	1	0	1	3	
10	Станок 2 (поворот)	0	1	1	1	2	180°
11	Время ожидания завершения обработки	0	0	1	1	7	
12	Станок 2 (разгрузка)	1	0	1	0	3,75	
13	Промежуточный стол 4 (поворот)	1	0	1	0	2	90°
14	Промежуточный стол 4 (загрузка)	1	0	1	0	2	
15	Станок 1 (поворот)	0	0	1	0	2	90°
16	Время ожидания завершения обработки	0	0	1	0	8	
17	Станок 1 (разгрузка)	1	0	0	0	3,75	
18	Станок 3 (поворот)	1	0	0	0	2	180°
19	Станок 3 (загрузка)	1	0	0	0	3,75	
20	Станок 1 (поворот)	0	0	0	1	7	90°

Таблица 4.2 – Алгоритм цикловой работы второго робота

№	Содержание алгоритма	Схв	С5	С6	t, сек	l, °
1	Промежуточный стол (разгрузка)	1	0	1	3,75	
2	Станок 3 (поворот)	1	0	1	2	90°
3	Станок 3 (загрузка)	1	0	1	3,75	
4	Станок 4 (поворот)	0	1	1	2	180°
5	Время ожидания завершения обработки	0	1	1	10,2	

Продолжение таблицы 4.2

6	Станок 4 (разгрузка)	1	1	1	3,75	
7	Тара (поворот)	1	1	0	2	90°
8	Тара (загрузка деталей)	1	1	0	2	
9	Станок 5 (поворот)	0	1	0	2	90°
10	Станок 5 (разгрузка)	1	0	0	3,75	
11	Станок 4 (поворот)	1	0	0	2	180°
12	Станок 4 (загрузка)	1	0	0	3,75	
13	Промежуточный стол (поворот) 4	0	0	0	15	90°

Построенная циклограмма работы ГАК учитывает его алгоритм работы. По результатам анализа циклограммы определяем загрузочные коэффициенты оборудования:

$$\text{для 1-го токарного станка: } k = \frac{103}{144} = 0,65$$

$$\text{для 2-го токарного станка: } k = \frac{100}{144} = 0,67$$

$$\text{для 3-го токарного станка: } k = \frac{100}{144} = 0,58$$

$$\text{для долбежного станка: } k = \frac{118}{144} = 0,7$$

$$\text{для зубофрезерного станка: } k = \frac{108}{144} = 0,63$$

$$\text{для 1-го промышленного робота: } k = \frac{72}{144} = 0,5$$

$$\text{для 2-го промышленного робота: } k = \frac{52}{144} = 0,37$$

Составим алгоритм работы комплекса второго варианта компоновки

1.1-й токарный станок

2.2-й токарный станок

3.3-й токарный станок

4. Долбежный станок

5. Зубофрезерный станок

6. Транспортный робот УМ40Ф2.81.01

Алгоритм работы транспортного робота УМ40Ф2.81.01 показан в таблице 4.3:

Схв – деталь в хвате ПР (1 – есть, 0 – нет)

С1 – станок 1 (работа) (1 – да, 0 – нет)

С2 – станок 2 (работа) (1 – да, 0 – нет)

С3 – станок 3 (работа) (1 – да, 0 – нет)

С5 – станок 5 (работа) (1 – да, 0 – нет)

С6 – станок 6 (работа) (1 – да, 0 – нет)

t – время, затрачиваемое на действия алгоритма

l – длина траектории (относительный угол поворота)

Таблица 4.3 – Алгоритм цикловой работы робота УМ40Ф2.81.01

№	Содержание алгоритма	Схв	С1	С2	С3	С4	С5	t, сек	l, мм
1	Станок 1 (разгрузка)	1	0	0	1	1	1	5	
2	Станок 2 (перемещение)	1	1	0	1	1	1	3	1200
3	Станок 2 (загрузка)	1	1	0	1	1	1	5	
4	Станок 3 (перемещение)	0	1	1	1	1	1	3	1000
5	Время ожидания завершения обработки	0	1	1	1	1	1	26	
6	Станок 3 (переустанов детали)	1	1	1	0	1	1	8	
7	Станок 2 (перемещение)	0	1	1	1	1	1	3	1000
8	Время ожидания завершения обработки	0	1	1	1	1	1	3	

Продолжение таблицы 4.3

9	Станок 2 (переустанов детали)	1	1	0	1	1	1	8	
10	Станок 5 (перемещение)	0	1	1	1	1	1	3	3200
11	Время ожидания завершения обработки	0	0	1	1	1	1	9	
12	Станок 5 (разгрузка)	1	0	1	1	1	0	5	
13	Тара (перемещение)	1	0	1	1	0	0	3	950
14	Тара (загрузка)	1	0	1	1	0	0	5	
15	Станок 4 (перемещение)	0	0	1	1	0	0	3	950
16	Станок 4 (разгрузка)	1	0	0	1	0	0	5	
17	Станок 5 (перемещение)	1	0	0	0	0	0	3	1000
18	Станок 5 (загрузка)	1	0	0	0	0	0	5	
19	Станок 3 (перемещение)	0	0	0	0	0	1	3	3200
20	Станок 3 (разгрузка)	1	0	0	0	0	1	5	
21	Станок 4 (перемещение)	1	0	0	0	0	1	3	3200
22	Станок 4 (загрузка)	1	0	0	0	0	1	5	
23	Станок 2 (перемещение)	0	0	0	0	1	1	3	3200
24	Станок 2 (разгрузка)	1	0	0	0	1	1	5	
25	Станок 3 (перемещение)	1	0	0	0	1	1	3	1000
26	Станок 3 (разгрузка)	1	0	0	0	1	1	5	
27	Станок 1 (движение)	0	0	0	1	1	1	3	1200

В соответствии с разработанным алгоритмом сформирована циклограмма работы оборудования комплекса.

Графические характеристики циклограммы работы ГАК позволяют оценить эффективность загрузки оборудования путем анализа коэффициентов его загрузки:

$$\text{для 1-го токарного станка: } k = \frac{103}{147} = 0,4$$

для 2-го токарного станка: $k = \frac{100}{144} = 0,52$

для 3-го токарного станка: $k = \frac{100}{144} = 0,47$

для долбежного станка: $k = \frac{118}{147} = 0,5$

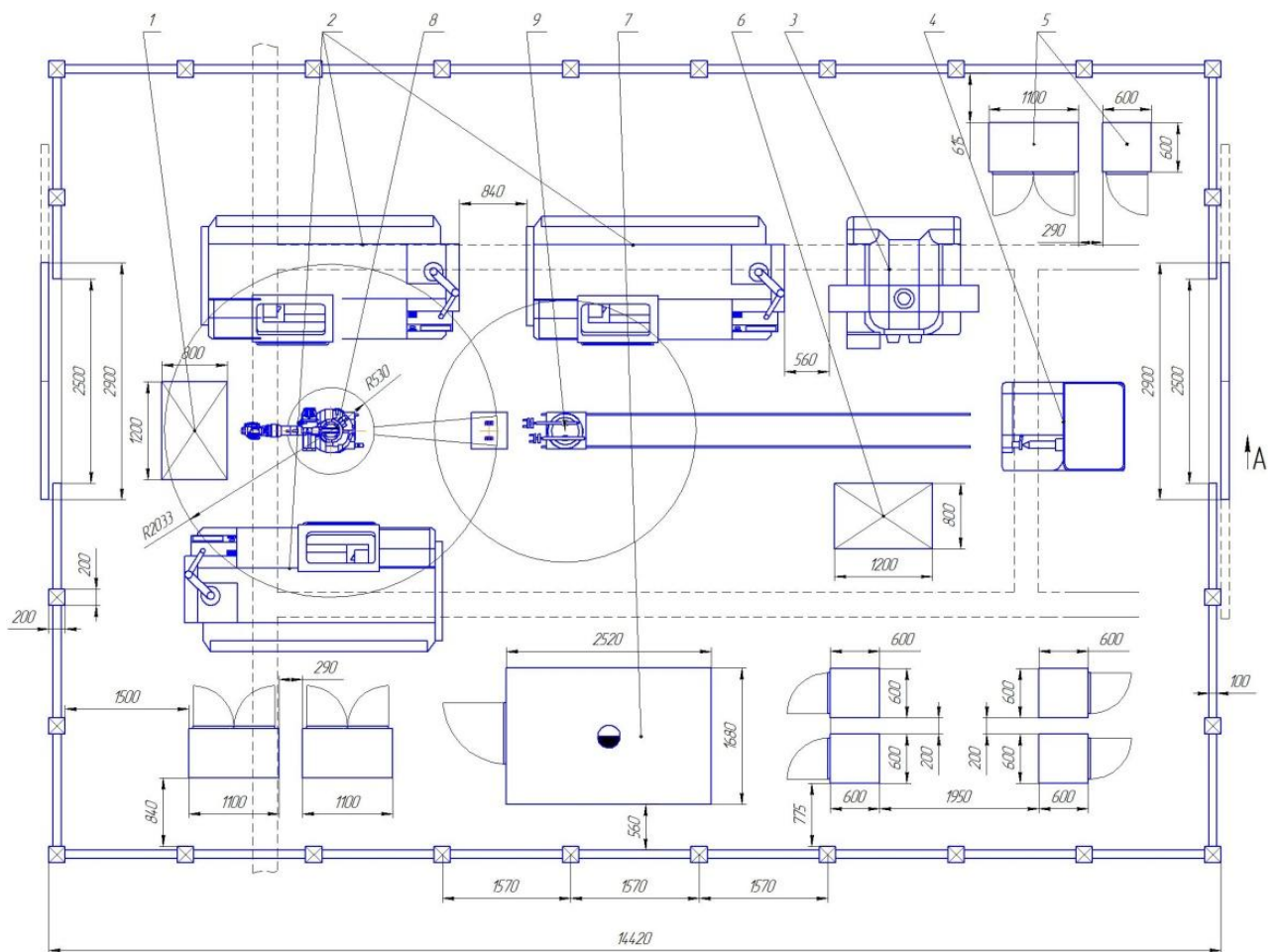
для зубофрезерного станка: $k = \frac{108}{147} = 0,47$

для промышленного робота: $k = \frac{97}{147} = 0,54$

Таблица 4.4 – Характеристики планировок

Характеристики	Планировка 1	Планировка 2
Площадь, м ²	150	180
Входное время в цикл, с	251	298
Цикл выпуска детали, с	140	148
Загрузочные коэффициенты станков	0,65; 0,67; 0,58; 0,7; 0,63	0,4; 0,52; 0,47; 0,5; 0,47

Окончательно принимаем планировку 1 (рисунок 4.1).



Вид А

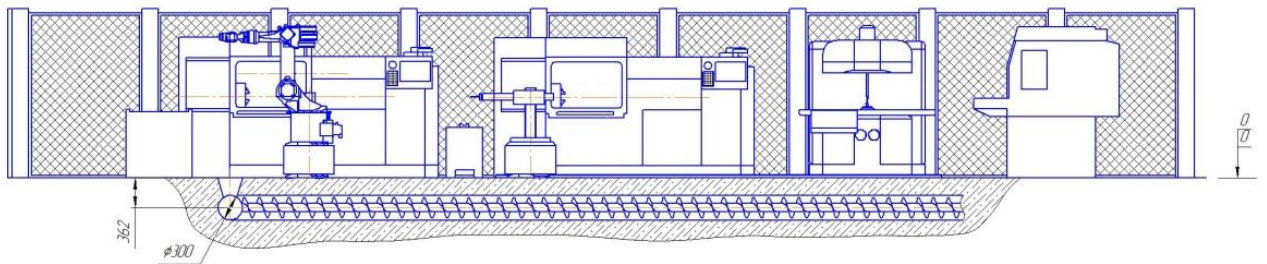


Рисунок 4.1 – Комповка ГАЗ

1 – входная тара, 2 – токарный станок СКЕ 6136Z – 3 шт., 3 – долбежный станок S200TG, 4 – зубофрезерный станок 53С50Ф4, 5 – шкаф – 8 шт., 6 – выходная тара для обработанных деталей, 7 – кабина оператора, 8 – промышленный робот KUKA KR16, 9 – промышленный робот МЕРО 7

5 Система управления гибким автоматизированным комплексом

5.1 Назначение автоматизированной системы управления ГАК

Автоматизированная система управления разрабатывается с целью:

1. Оперативного управления технологическим процессом производства изделия и активного контроля указанного процесса.
2. Организации предупреждения возникающих аварий и возобновления нормального процесса, благодаря мониторингу хода технологического процесса.
3. Соблюдения заданных параметров технологического процесса при возникновении различных производственных ситуаций путем воздействия управляющими сигналами на системы управления основного и вспомогательного технологического оборудования. Причем результаты управляющего воздействия передаются диспетчерскому пульта оператора.

5.2 Нормальные режимы работы систем локального управления оборудованием

Системы локального управления осуществляют организацию работы оборудования гибкого автоматизированного комплекса.

В качестве локальных систем управления используются системы управления SINUMERIC 810D.

Задачами локальных систем управления являются:

- диагностирование работоспособности основного и вспомогательного технологического оборудования;
- обеспечение загрузки программ управления и включения обрабатываемого оборудования;
- контроль соблюдения режимов осуществления технологического процесса (качества обработки изделия);

- соблюдение безопасности осуществления производственных процессов;

- выдача информации системе управления верхнего уровня о событиях, происходящих на технологическом оборудовании, прежде всего об окончании обработки и перезагрузке оборудования.

Промышленные роботы управляются системой управления УПМ-331, которая обеспечивает:

- диагностирование механизмов промышленного робота;
- выдачу команд на обслуживание, в частности загрузку и разгрузку, основного технологического оборудования;

- передвижения робота между основным технологическим оборудованием, входным и выходным оборудованием ГАК.

5.3 Нештатные режимы работы систем управления оборудованием

При несоблюдении технологического регламента работы ГАК происходит останов всего оборудования ГАК. В такой ситуации проводится диагностика и при необходимости переналадка основного технологического оборудования.

При неисправности основного и вспомогательного технологического оборудования определяется причина неисправности. Таковыми могут быть:

- неисправность инструментальной системы,
- неисправность кинематических цепей оборудования,
- неисправность системы подачи СОЖ,
- неисправность захвата транспортного робота и зажимных приспособлений основного технологического оборудования,
- неисправность приводов станков и робота.

В таких ситуациях обработка детали невозможна, поэтому выдается аварийное сообщение оператору, и оборудование ГАК автоматически останавливается.

При нарушении ограждения ГАК (появление препятствий в рабочем пространстве промышленного робота) также приводит к возникновению аварийной ситуации на комплексе.

Оператор ГАК в любом случае получает сигнал о возникновении нештатной ситуации.

5.4 Декомпозиция задачи управления

Задача управления ГАК состоит из множества подзадач управления единицами основного и вспомогательного технологического оборудования. Управление осуществляется передачей управляющих (входных) сигналов от локальных систем управления нижнего уровня системе управления верхнего уровня. Выходные сигналы системы управления верхнего уровня являются управляющими сигналами для локальных систем управления.

В разработанной компоновке ГАК первый робот обслуживает два станка, второй робот обслуживает три станка. Поэтому необходимо решить несколько задач:

1. Выполнение обрабатывающих операций на технологическом оборудовании;
2. Выполнение операций роботом, обслуживающим соответствующее технологическое оборудование.

Выделим условия выполнения вышеуказанных задач управления.

1. Чтобы запустить обрабатывающую программу на любом станке необходимо выполнение следующих условий:

- ограждение рабочей зоны станка для работы оборудования в цикле закрыто;
- все системы оборудования исправны;

- заготовка в зажимном приспособлении станка есть;
- заготовка в зажимном приспособлении станка зафиксирована правильно;

- режим автоматического останова ГАК отсутствует.

При окончании обработки детали системе управления верхнего уровня система управления нижнего уровня посылает дискретные сигналы об окончании обрабатываемой операции и разрешении доступа в рабочую зону станка.

2. Чтобы роботу разгрузить обслуживаемое оборудование необходимо наличие следующих условий:

- робот находится на позиции разгрузки станка;
- обработка детали завершена;
- доступ в рабочую зону станка разрешен;
- в патроне станка есть деталь;
- в патроне станка деталь ослаблена;
- схват робота свободен;
- режим автоматического останова ГАК отсутствует.

3. Чтобы загрузить обслуживаемое оборудование необходимо наличие следующих условий:

- робот находится на позиции загрузки обслуживаемого оборудования;
- доступ в рабочее пространство станка разрешен;
- патрон станка свободен;
- в схвате робота есть заготовка;
- все системы робота исправны
- режим автоматического останова ГАК отсутствует.

Определим устройства, которые обеспечивают выдачу управляющих сигналов и исполнительные устройства управления. Таким образом, опишем входные и выходные данные системы управления верхнего уровня.

5.5 Обобщенная структура автоматизированной системы управления ГАК

Структура автоматизированной системы управления ГАК состоит из двух уровней. Нижний уровень отвечает за управление основным и вспомогательным технологическим оборудованием. Верхний уровень отвечает за управление оборудованием, синхронизируя работу основного и вспомогательного технологического оборудования. Верхний уровень управляется промышленным контроллером Simatic S7-300.

Контроль состояния технологического процесса и технологического оборудования производится с помощью различных датчиков, контролирующих позиционирование роботов, положение их узлов, а также состояние основного технологического оборудования.

Программаторы, персональные компьютеры, оснащенные пакетом STEP 7, а также панель оператора подключена к сети PROFIBUS-DP.

Задачами оперативного управления ГАК являются:

- организация взаимной работы локальных систем управления основного и вспомогательного технологического оборудования путем обеспечения двунаправленного режима обмена между нижним и верхним уровнями.

5.6 Спецификация сигналов системы управления верхнего уровня

Таблица 5.1 – Входные сигналы системы управления верхнего уровня

№	Входные данные	Сигнал			
Сигналы технологического оборудования					
1	Первый робот на технологической позиции первого станка	Да	1	Нет	0
2	Первый робот на технологической позиции второго станка	Да	1	Нет	0

Продолжение таблицы 5.1

3	Второй робот на технологической позиции третьего станка	Да	1	Нет	0
4	Второй робот на технологической позиции четвертого станка	Да	1	Нет	0
5	Второй робот на технологической позиции пятого станка	Да	1	Нет	0
6	Первый робот на загрузочной позиции первой тары	Да	1	Нет	0
7	Второй робот на позиции разгрузки детали во вторую тару	Да	1	Нет	0
8	Первый робот на позиции выкладки детали на промежуточный стол	Да	1	Нет	0
9	Второй робот на позиции взятия детали с промежуточного стола	Да	1	Нет	0
10	Захват детали захватом первого робота	Есть	1	Нет	0
11	Возможность доступа в рабочее пространство каждого оборудования	Есть	1	Нет	0
12	Наличие в приспособлениях станков детали	Да	1	Нет	0
13	Окончание станочной обработки деталей	Да	1	Нет	0
14	Зажимные приспособления станков ослаблены для роботизированной разгрузки	Да	1	Нет	0
15	Захват заготовки вторым роботом	Есть	1	Нет	0
Аварийные сигналы					
16	Привод движения робота исправен	Да	0	Нет	1
17	Схват робота исправен	Да	0	Нет	1
18	Система инструмента станков исправна	Да	0	Нет	1
19	Система подачи смазочно-охлаждающей жидкости станков исправна	Да	0	Нет	1

Продолжение таблицы 5.1

20	Приводы станков исправны	Да	0	Нет	1
21	Система подачи сжатого воздуха исправна	Да	0	Нет	1
22	Транспортная система исправна	Да	0	Нет	1
23	Технологический процесс остановлен оператором	Да	1	Нет	0
24	Аварийный останов ГАК (нарушение ограждения)	Есть	1	Нет	0
		ь			

Таблица 5.2 – Выходные сигналы системы управления верхнего уровня

№	Выходные данные	Сигнал			
		Сигналы управления			
1	Обслуживание первого станка	Да	1	Нет	0
2	Запуск обрабатывающей программы деталей на первом станке	Есть	1	Нет	0
3	Обслуживание второго станка	Да	1	Нет	0
4	Запуск обрабатывающей программы деталей на втором станке	Есть	1	Нет	0
5	Обслуживание третьего станка	Да	1	Нет	0
6	Запуск обрабатывающей программы деталей на первом станке	Есть	1	Нет	0
7	Обслуживание четвертого станка	Да	1	Нет	0
8	Запуск обрабатывающей программы деталей на четвертом станке	Есть	1	Нет	0
9	Обслуживание пятого станка	Да	1	Нет	0
10	Запуск обрабатывающей программы деталей на четвертом станке	Да	1	Нет	0
11	Взятие детали первым роботом из первой тары	Да	1	Нет	0

Продолжение таблицы 5.2

12	Выкладка детали на промежуточный стол первым роботом	Да	1	Нет	0
13	Взятие детали с промежуточного стола первым роботом	Да	1	Нет	0
14	Выкладка детали вторым роботом во вторую тару	Да	1	Нет	0
Сигналы оповещения					
15	Технологический процесс остановлен оператором	Есть	0	Нет	1
16	Останов ГАК автоматически	Есть	0	Нет	1

5.7 Разработка модели управляющего процесса

Для разработки модели управляющего процесса рассмотрим систему математических уравнений, которые позволяют абстрактно (в приближенном виде) описать разрабатываемый управляющий процесс гибким автоматизированным комплексом.

Определим описанные сигналы данных входа и выхода управляющей системы гибкого автоматизированного комплекса второго уровня. Составим таблицы (таблицы 4.3, 4.4), включающие переменные управления модели управляющего процесса.

Таблица 5.3 – Определение данных входа

№	Сигнал	Данные	Сигнал	Данные
Действия первого робота при разгрузке-загрузке оборудования				
1	Робот 1 на позиции тары 1 для разгрузки	X_1	Робот 1 на позиции тары 1 для разгрузки отсутствует	$\overline{X_1}$
2	Робот 1 на позиции станка 1 для разгрузки-загрузки	X_2	Робот 1 на позиции станка 1 для разгрузки-загрузки отсутствует	$\overline{X_2}$
3	Робот 1 на позиции станка 2 для разгрузки-загрузки	X_3	Робот 1 на позиции станка 2 для разгрузки-загрузки отсутствует	$\overline{X_3}$
4	Робот 1 на позиции промежуточного стола для загрузки	X_4	Робот 1 на позиции промежуточного стола для загрузки отсутствует	$\overline{X_4}$
5	Заготовка в схвате робота 1	X_5	Заготовка в схвате робота 1 отсутствует	$\overline{X_5}$
6	Привод робота 1 исправен	X_7	Привод робота 1 неисправен	$\overline{X_7}$
7	Механизм захвата заготовок исправен	X_8	Механизм захвата заготовок неисправен	$\overline{X_8}$
8	Обслуживание ГАК возможно	X_9	Обслуживание ГАК невозможно	$\overline{X_9}$
Действия первого станка				
10	Инструментальная система станка 1 исправна	X_{10}	Инструментальная система станка 1 неисправна	$\overline{X_{10}}$
11	Система СОЖ станка 1 исправна	X_{11}	Система СОЖ станка 1 неисправна	$\overline{X_{11}}$

Продолжение таблицы 5.3

12	Система оснастки станка 1 исправна	X_{12}	Система оснастки станка 1 неисправна	$\overline{X_{12}}$
13	Станок 1 исправен	X_{13}	Станок 1 неисправен	$\overline{X_{13}}$
14	Ограждение станка 1 разрешает обслуживание	X_{14}	Ограждение станка 1 запрещает обслуживание	$\overline{X_{14}}$
Состояние заготовки на станке 1				
15	Заготовка в патроне станка 1	X_{15}	Заготовка в патроне станка 1 отсутствует	$\overline{X_{15}}$
16	Ослабление заготовки в патроне станка 1 для разгрузки	X_{16}	Разгрузка заготовки на станке 1 невозможна	$\overline{X_{16}}$
17	Заготовка на станке 1 обработана	X_{17}	Заготовка на станке 1 обрабатывается	$\overline{X_{17}}$
Действия второго станка				
18	Инструментальная система станка 2 исправна	X_{18}	Инструментальная система станка 2 неисправна	$\overline{X_{18}}$
19	Система СОЖ станка 2 исправна	X_{19}	Система СОЖ станка 2 неисправна	$\overline{X_{19}}$
20	Система оснастки станка 2 исправна	X_{20}	Система оснастки станка 2 неисправна	$\overline{X_{20}}$
21	Станок 2 исправен	X_{21}	Станок 2 неисправен	$\overline{X_{21}}$
22	Ограждение станка 2 разрешает обслуживание	X_{22}	Ограждение станка 2 запрещает обслуживание	$\overline{X_{22}}$
Состояние заготовки на станке 2				
23	Заготовка в патроне станка 2	X_{23}	Заготовка в патроне станка 2 отсутствует	$\overline{X_{23}}$

Продолжение таблицы 5.3

24	Ослабление заготовки в патроне станка 2 для разгрузка	X_{24}	Разгрузка заготовки на станке 2 невозможна	$\overline{X_{24}}$
25	Заготовка на станке 2 обработана	X_{25}	Заготовка на станке 2 обрабатывается	$\overline{X_{25}}$
Состояние аварии технологического процесса ГАК				
26	Общий останов технологического процесса оператором	X_{26}	Отсутствие общего останова технологического процесса оператором	$\overline{X_{26}}$
Действия второго робота при разгрузке-загрузке оборудования				
27	Робот 2 на позиции промежуточного стола для разгрузки	X_{27}	Робот 2 на позиции промежуточного стола для разгрузки отсутствует	$\overline{X_{27}}$
28	Робот 2 на позиции станка 3 для разгрузки-загрузки	X_{28}	Робот 2 на позиции станка 3 для разгрузки-загрузки отсутствует	$\overline{X_{28}}$
29	Робот 2 на позиции станка 4 для разгрузки-загрузки	X_{29}	Робот 2 на позиции станка 4 для разгрузки-загрузки отсутствует	$\overline{X_{29}}$
30	Робот 2 на позиции станка 5 для загрузки	X_{30}	Робот 2 на позиции станка 5 для загрузки отсутствует	$\overline{X_{30}}$
31	Робот 2 на позиции тары 2 для загрузки	X_{31}	Робот 2 на позиции тары 2 отсутствует	$\overline{X_{31}}$
32	Привод робота 2 исправен	X_{32}	Привод робота 2 неисправен	$\overline{X_{32}}$
33	Механизм захвата заготовок исправен	X_{33}	Механизм захвата заготовок неисправен	$\overline{X_{33}}$

Продолжение таблицы 5.3

34	Обслуживание ГАК возможно	X_{34}	Обслуживание ГАК невозможно	\overline{X}_{34}
Действия третьего станка				
35	Инструментальная система станка 3 исправна	X_{35}	Инструментальная система станка 3 неисправна	\overline{X}_{35}
36	Система СОЖ станка 3 исправна	X_{36}	Система СОЖ станка 3 неисправна	\overline{X}_{36}
37	Система оснастки станка 3 исправна	X_{37}	Система оснастки станка 3 неисправна	\overline{X}_{37}
38	Станок 3 исправен	X_{38}	Станок 3 неисправен	\overline{X}_{38}
39	Ограждение станка 3 разрешает обслуживание	X_{39}	Ограждение станка 3 запрещает обслуживание	\overline{X}_{39}
Состояние заготовки на третьем станке				
40	Заготовка в патроне станка 3	X_{40}	Заготовка в патроне станка 3 отсутствует	\overline{X}_{40}
41	Ослабление заготовки в патроне станка 3 для разгрузки	X_{41}	Разгрузка заготовки на станке 3 невозможна	\overline{X}_{41}
42	Заготовка на станке 3 обработана	X_{42}	Заготовка на станке 3 обрабатывается	\overline{X}_{42}
Действия четвертого станка				
43	Инструментальная система станка 4 исправна	X_{43}	Инструментальная система станка 4 неисправна	\overline{X}_{43}
44	Система СОЖ станка 4 исправна	X_{44}	Система СОЖ станка 4 неисправна	\overline{X}_{44}

Продолжение таблицы 5.3

45	Система оснастки станка 4 исправна	X_{45}	Система оснастки станка 4 неисправна	$\overline{X_{45}}$
46	Станок 4 исправен	X_{46}	Станок 4 неисправен	$\overline{X_{46}}$
47	Ограждение станка 4 разрешает обслуживание	X_{47}	Ограждение станка 3 запрещает обслуживание	$\overline{X_{47}}$
Состояние заготовки на четвертом станке				
48	Заготовка в патроне станка 4	X_{48}	Заготовка в патроне станка 4 отсутствует	$\overline{X_{48}}$
49	Ослабление заготовки в патроне станка 4 для разгрузки	X_{49}	Разгрузка заготовки на станке 4 невозможна	$\overline{X_{49}}$
50	Заготовка на станке 4 обработана	X_{50}	Заготовка на станке 4 обрабатывается	$\overline{X_{50}}$
Действия пятого станка				
51	Инструментальная система станка 5 исправна	X_{51}	Инструментальная система станка 5 неисправна	$\overline{X_{51}}$
52	Система СОЖ станка 5 исправна	X_{52}	Система СОЖ станка 5 неисправна	$\overline{X_{52}}$
53	Система оснастки станка 5 исправна	X_{53}	Система оснастки станка 5 неисправна	$\overline{X_{53}}$
54	Станок 5 исправен	X_{54}	Станок 5 неисправен	$\overline{X_{54}}$
55	Ограждение станка 5 разрешает обслуживание	X_{55}	Ограждение станка 5 запрещает обслуживание	$\overline{X_{55}}$
Состояние заготовки на пятом станке				
56	Заготовка в патроне станка 5	X_{56}	Заготовка в патроне станка 5 отсутствует	$\overline{X_{56}}$

Продолжение таблицы 5.3

57	Ослабление заготовки в патроне станка 5 для разгрузка	X_{57}	Разгрузка заготовки на станке 4 невозможна	\overline{X}_{57}
58	Заготовка на станке 5 обработана	X_{58}	Заготовка на станке 4 обрабатывается	\overline{X}_{58}

Таблица 5.4 – Определение выходных данных

Сигнал	Действие
Y_1	Запуск программы Инициализация запуска программы ЛСУ работа 1 по обслуживанию станка 1
Y_{11}	Инициализация запуска программы ЛСУ станка 1 по обработке заготовок
Y_2	Инициализация запуска программы ЛСУ работа 1 по обслуживанию станка 2
Y_{21}	Инициализация запуска программы ЛСУ станка 2 по обработке заготовок
Y_3	Инициализация запуска программы ЛСУ работа 2 по обслуживанию станка 3
Y_{31}	Инициализация запуска программы ЛСУ станка 3 по обработке заготовок
Y_4	Инициализация запуска программы ЛСУ работа 2 по обслуживанию станка 4
Y_{41}	Инициализация запуска программы ЛСУ станка 4 по обработке заготовок
Y_5	Инициализация запуска программы ЛСУ работа 2 по обслуживанию станка 5

Продолжение таблицы 5.4

Y ₅₁	Инициализация запуска программы ЛСУ станка 5 по обработке заготовок
Y ₆	Прерывание оператором техпроцесса при аварии

5.8 Разработка основной логико-математической модели

Интерпретируем математическую модель - составим соотношения предусловий и условий выполнения задач управления (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Условия выполнения задач управления

Сигнал	Условия	
	Предусловия	Постусловия
Y ₁	$\overline{X_{26}} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_5 \cdot X_7 \cdot X_8 \cdot X_9$	$X_{10} \cdot X_{11} \cdot X_{12} \cdot X_{13} \cdot X_{14} \cdot X_{15} \cdot X_{16}$
Y ₁₁	$X_{10} \cdot X_{11} \cdot X_{12} \cdot X_{13} \cdot X_{14} \cdot X_{15} \cdot X_{16}$	X_{17}
Y ₂	$X_2 \cdot X_3 \cdot X_5 \cdot X_7 \cdot X_8 \cdot \overline{X_{26}} \cdot X_9$	$X_{18} \cdot X_{19} \cdot X_{20} \cdot X_{21} \cdot X_{22} \cdot X_{23} \cdot X_{24}$
Y ₂₁	$X_{18} \cdot X_{19} \cdot X_{20} \cdot X_{21} \cdot X_{22} \cdot X_{23} \cdot X_{24}$	X_{25}
Y ₃	$X_4 \cdot X_{27} \cdot X_{28} \cdot X_{32} \cdot X_{33} \cdot \overline{X_{26}} \cdot X_{34}$	$X_{35} \cdot X_{36} \cdot X_{37} \cdot X_{38} \cdot X_{39} \cdot X_{40} \cdot X_{41}$
Y ₃₁	$X_{35} \cdot X_{36} \cdot X_{37} \cdot X_{38} \cdot X_{39} \cdot X_{40} \cdot X_{41}$	X_{42}
Y ₄	$X_{28} \cdot X_{29} \cdot X_{32} \cdot X_{33} \cdot X_{34} \cdot \overline{X_{26}}$	$X_{43} \cdot X_{44} \cdot X_{45} \cdot X_{46} \cdot X_{47} \cdot X_{48} \cdot X_{49}$
Y ₄₁	$X_{43} \cdot X_{44} \cdot X_{45} \cdot X_{46} \cdot X_{47} \cdot X_{48} \cdot X_{49}$	X_{50}
Y ₅	$X_{29} \cdot X_{30} \cdot X_{32} \cdot X_{33} \cdot X_{34} \cdot \overline{X_{26}}$	$X_{51} \cdot X_{52} \cdot X_{53} \cdot X_{54} \cdot X_{55} \cdot X_{56} \cdot X_{57}$
Y ₅₁	$X_{51} \cdot X_{52} \cdot X_{53} \cdot X_{54} \cdot X_{55} \cdot X_{56} \cdot X_{57}$	X_{58}
Y ₆	Рассматривается ниже	

При возникновении нештатной ситуации постусловием является прерывание оператором техпроцесса – X₂₆. Предусловием считается выражение:

$$\begin{aligned} & \overline{X_8} \vee \overline{X_9} \vee \overline{X_{10}} \vee \overline{X_{11}} \vee \overline{X_{12}} \vee \overline{X_{13}} \vee \overline{X_{14}} \vee \overline{X_{15}} \vee \overline{X_{16}} \vee \overline{X_{17}} \vee \overline{X_{18}} \vee \overline{X_{19}} \vee \overline{X_{20}} \vee \overline{X_{21}} \vee \overline{X_{22}} \vee \overline{X_{23}} \vee \overline{X_{24}} \vee \overline{X_{25}} \vee \overline{X_{26}} \vee \overline{X_{27}} \vee \overline{X_{28}} \vee \overline{X_{29}} \vee \overline{X_{30}} \vee \overline{X_{31}} \vee \overline{X_{32}} \vee \overline{X_{33}} \vee \overline{X_{34}} \vee \overline{X_{35}} \vee \overline{X_{36}} \vee \overline{X_{37}} \vee \overline{X_{38}} \vee \overline{X_{39}} \vee \overline{X_{40}} \vee \overline{X_{41}} \vee \overline{X_{42}} \vee \overline{X_{43}} \vee \overline{X_{44}} \vee \overline{X_{45}} \vee \overline{X_{46}} \vee \overline{X_{47}} \vee \overline{X_{48}} \vee \overline{X_{49}} \vee \overline{X_{50}} \vee \overline{X_{51}} \vee \overline{X_{52}} \vee \overline{X_{53}} \vee \overline{X_{54}} \vee \overline{X_{55}} \vee \overline{X_{56}} \vee \overline{X_{57}} \vee \overline{X_{58}} \\ & \vee (X_2 \cdot X_7 \cdot X_8 \cdot X_{15} \times \\ & \times \overline{X_{16}} \cdot \overline{X_{17}}) \vee (X_3 \cdot X_{23} \cdot X_{24} \cdot X_{25}) \vee (X_{27} \times \\ & \times X_{28} \cdot X_{41} \cdot X_{40} \cdot X_{42}) \vee (X_{29} \times \\ & \times \overline{X_{49}} \cdot \overline{X_{48}} \cdot \overline{X_{50}}) \vee (X_{30} \cdot \overline{X_{57}} \times \\ & \times X_{56} \cdot X_{58}) \end{aligned}$$

5.9 Разработка архитектуры системы управления

Структура СУ ГАК имеет два уровня. На первом (нижнем) уровне выполняется решение задач управления станками и роботами. На верхнем – происходит управление всем технологическим процессом. В качестве системы управления верхнего уровня используется эффективная и надежная система SIMATIC S7-300. Управление верхнего уровня реализуется посредством программируемого логического контроллера (ПЛК).

Каждое оборудование имеет свою локальную систему управления «Sinumeric 810D».

Датчики, которыми оснащены станки и роботы, выдают диагностические сигналы о состоянии оборудования.

5.10 Выбор программируемого логического контроллера

Программируемый логический контроллер (ПЛК) SIMATIC S7-300 является одним из наиболее современных контроллеров фирмы Siemens, обладает модульной структурой, что обеспечивает гибкость создаваемой системы.

В качестве построения высокопроизводительной системы автоматизации с развитой локальной и распределенной системой ввода-вывода используем возможности центрального процессора CPU 315-2DP с встроенным интерфейсом PROFIBUS-DP. Рабочая память составляет 128 кбайт (приблизительно 43К инструкций для выполнения программы).

Для соединения всех компонентов в сеть Industrial Ethernet используем коммутатор ESM TP80. Для подключения рассматриваемого контроллера к сети Industrial Ethernet в целях разгрузки центрального процессора от выполнения коммуникационных задач используется коммуникационный процессор CP 343-1, посредством которого возможна поддержка:

- транспортных протоколов ISO, TCP/IP и UDP;

- PG/OP функций связи (связь с программаторами и устройствами человеко-машинного интерфейса более верхнего уровня – цеховое управление);
- S7 функций связи (клиент, сервер, мультиплексирование).

Модуль оснащен встроенными интерфейсами AUI/ITP и RJ45. Переключение между интерфейсами AUI и промышленной витой пары (ITP) выполняется автоматически. Передача данных производится в дуплексном или полудуплексном режиме со скоростью 10 или 100 Мбит/с. Операции определения скорости передачи и настройки на эту скорость выполняются автоматически. При использовании протокола UDP поддерживается передача широковещательных сообщений. CP 343-1 позволяет выполнять дистанционное программирование контроллеров через сеть, а также подключать контроллеры к офисной сети Ethernet.

Функционирование ЦПУ обеспечивается блоком питания PS 307, который также подходит и для питания цепей датчиков и исполнительных устройств.

Таблица 5.6 – Основные характеристики блока питания PS 307

Вход	однофазный переменный ток
Входное напряжение	~120/230 В
Допустимый перерыв в питании при $I_{\text{ВЫХ.НОМ}}$	> 20 мс при $V_{\text{ВХ.}} = 93/187 \text{ В}$
Частота переменного тока	50/60 Гц; от 47 до 63 Гц
Входной ток $I_{\text{ВХ.НОМ.}}$	4.1/1.8 А
Пусковой ток (+25°C)	< 55 А, < 3 мс
Выход	Стабилизированный, изолированный от входных цепей
Номинальное напряжение $V_{\text{ВЫХ.НОМ.}}$	24 В DC
Индикация	Зеленый светодиод индикации наличия выходного напряжения для 24 В

Продолжение таблицы 5.6

Включение/ отключение питания	Без перерегулирования $V_{\text{ВЫХ.}}$ (мягкий старт)
Задержка запуска	< 1.5 с/стандартное значение 80 мс
Выходной ток $I_{\text{ВЫХ.НОМ.}}$	10 А

Для организации обслуживания через AS-interface ведомых устройств применяем коммуникационный процессор CP 343-2. При этом выполняется обслуживание до 248 дискретных входов и до 186 дискретных выходов, а также 31 аналогового ведомого устройства AS-Interface (до 4 каналов на одно ведомое устройство).

Таблица 5.7 – Основные характеристики коммуникационного процессора CP 343-2

Цикл опроса шины	5мс на 31 дискретное ведомое устройство 10мс на 62 дискретных ведомых устройства
Интерфейсы:	
адресное пространство аналогового ввода-вывода в S7-300	16 байт ввода-вывода и P шина S7-300
соединение с AS интерфейсом	через фронтальный соединитель
напряжение питания	=5В от шины контроллера
Потребляемый ток, не более	
от шины контроллера	200 мА (при =5В)
от цепей питания AS интерфейса	100 мА
Потребляемая мощность	2 Вт

5.11 Выбор промышленных сетей

Для организации работы компонентов системы управления верхнего уровня и обмена информацией с системой управления нижнего уровня выбираем интерфейс Industrial Ethernet.

Интерфейс Profibus DP используем для организации сбора информации от системы управления нижнего уровня (СЧПУ станков и роботов) и полевых устройств (датчики) и передачи этой информации системе управления второго уровня.

6 Разработка НМІ интерфейса в среде GENESIS 32

6.1 Основные принципы создания интерфейса

Интерфейс должен быть:

1. Естественным – пользователь не должен затрудняться в поиске элементов интерфейса.
2. Непротиворечивым – приемы работы в различных частях интерфейса должны быть идентичны.
3. Неизбыточным – пользователь должен вводить минимум информации для работы или
4. Инструктивным – пользователь должен быть обеспечен необходимыми инструкциями, должны выводиться сообщения об ошибках.
5. Гибким – должен обеспечивать работу как опытных, так и неопытных пользователей

Экранная информация группируется и упорядочивается в значимые части.

Для привлечения внимания к элементам интерфейса можно пользоваться выделением этих элементов большей яркостью на фоне других – более темных, обеспечивать их мигание или увеличение в размерах.

При использовании цвета необходимо пользоваться естественными, привычными цветами. Для выделения состояния элементов лучше пользоваться «цветами светофора»: красным, желтым, зеленым.

6.2 Разработка интерфейса ГАК в GENESIS 32

С учетом требований сформируем главный экран интерфейса.

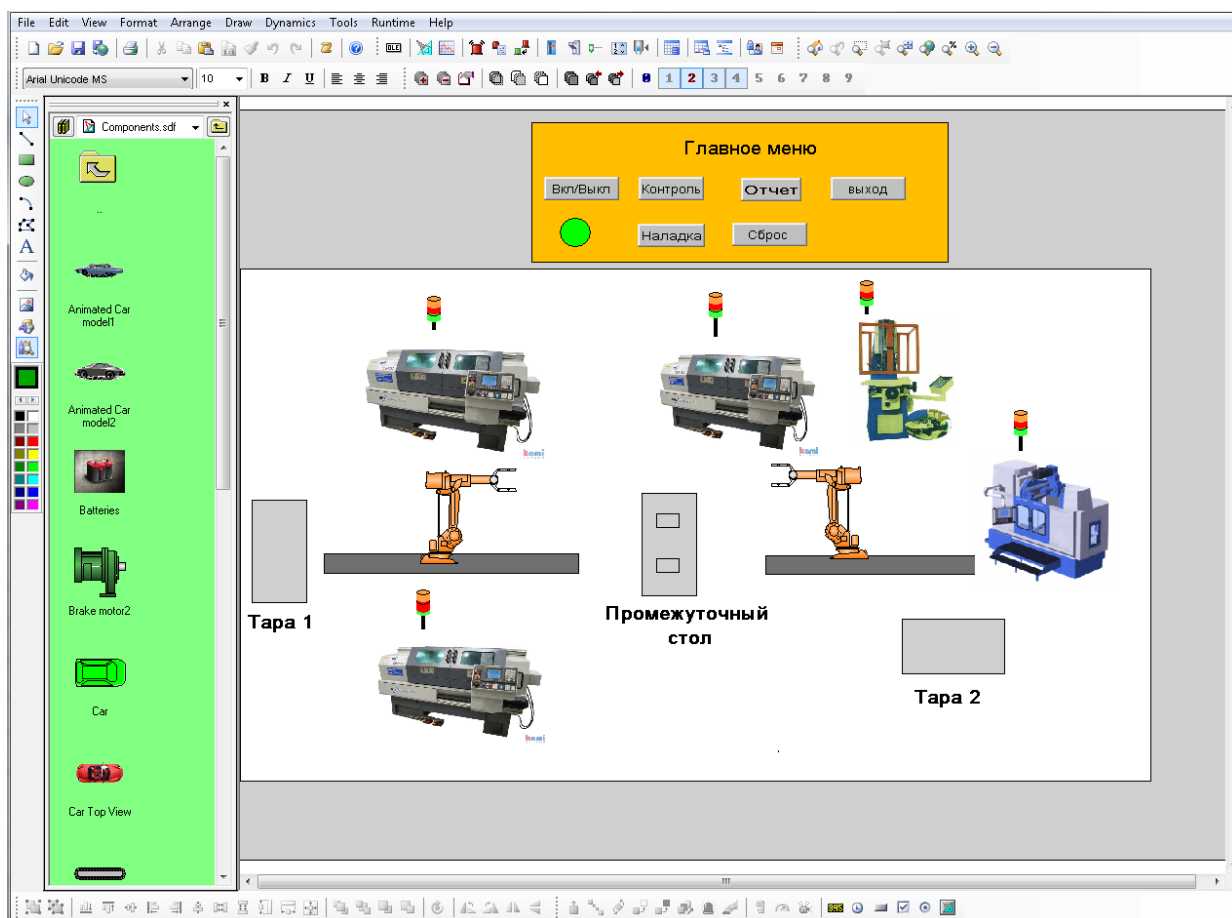


Рисунок 6.1 – Внешний вид главного экрана АРМ оператора

Главное меню АРМ оператора состоит из кнопок:

- Вкл/Выкл (Включение или Выключение панели),
- Контроль (Отображение работы всего ГАК),
- Отчет (Полная отчетность этапов работы) (рисунок 6.2),

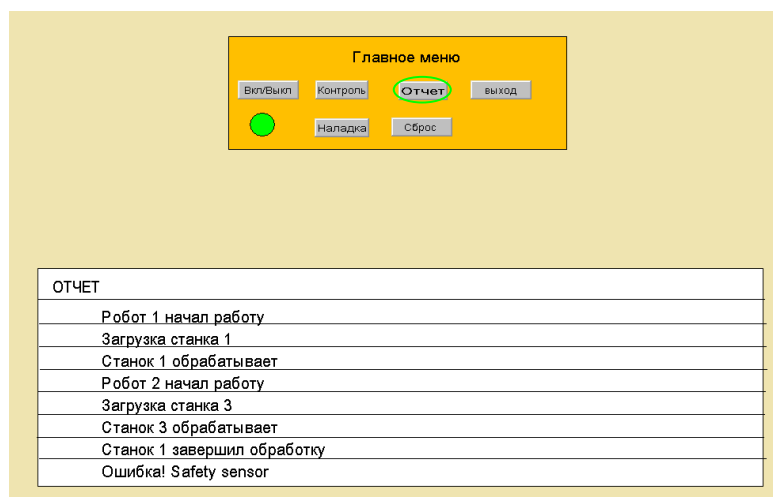


Рисунок 6.2 – Окно «Отчет»

- Наладка (осуществление контроля каждого оборудованием в отдельности) (рисунок 6.3)



Рисунок 6.3 – Окно «наладки»

- Сброс (Сброс ошибок системы),
- Выход (Выход из программы).

Заключение

В ходе выполнения бакалаврской работы произведена разработка технологического процесса для производства зубчатых колес с расчетом припусков и режимов резания и разработкой операционной технологии.

Спроектирован гибкий автоматизированный комплекс. При этом использование ручного труда при разгрузке-загрузке оборудования исключено. Разработанная планировка ГАК учитывает требования доступного и безопасного обслуживания оборудования.

Разработана трехуровневая СУ ГАК, произведен выбор структуры управляющей системы, устройств управления, организована связь между ними.

Разработан человеко-машинный интерфейс автоматизированного рабочего места оператора.

Внедрение данного ГАК приведет к повышению уровня автоматизации работ, повышению гибкости производственных систем, увеличению производительности труда и снижению себестоимости выпускаемой продукции.

В ходе выполнения данной бакалаврской работы поставленная цель достигнута, задачи выполнены.

Список используемых источников

1. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник / А.Г. Схиртладзе, В.Н. Воронов, В.П. Борискин. - М.: ТНТ, 2012. - 602 с.
2. Фельдштейн, Е.Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. - М.: Инфра-Инженерия, 2016. - 264 с.
3. Сибикин, М.Ю. Основы проектирования машиностроительных предприятий. Учебное пособие/ М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. – М.: Директ-Медиа, 2014. - 260 с.
4. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов: - М.: Форум, 2012. – 225 с.
5. Селевцов, Л.И. Автоматизация технологических процессов / Л.И. Селевцов, А.Л. Селевцов. - М.: Инфра-Инженерия, 2014. - 353 с.
6. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебник для ВУЗов. / А.Г. Схиртладзе. - М.: Абрис, 2012. - 567 с.
7. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко.-М.: Абрис, 2012. - 567 с.
8. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. - М.: ТНТ, 2013. - 526 с.
9. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов / Ю.З. Житников, Б.Ю. Житников, А.Г. Схиртладзе, Ю.З. Житников. - М.: ТНТ, 2011. – 658 с.
10. Фельдштейн, Е.Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. - М.: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2013. - 266 с.
11. Пантелеев, В.Н. Основы автоматизации производства. Лабораторные

работы: Учебное пособие для начального профессионального образования / В.Н. Пантелеев, В.М. Прошин. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 193 с.

12. Пантелеев, В.Н. Основы автоматизации производства: Учебник для учреждений начального профессионального образования / В.Н. Пантелеев, В.М. Прошин. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 209 с.

13. Козырев, Ю.Г. Гибкие производственные системы / Ю.Г.Козырев– М.: Кнорус. Москва 2015. – 368с.

14. Вальков, В.Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами / В.Б. Вальков. – Л.: Политехника. Липецк 2011. – 269 с.

15. Ключев, А.С. Автоматизация настройки систем управления / А.С.Ключев, В.Я.Ротач, В.Ф.Кузищин– М.: Альянс. Москва 2015. – 272с.

16. Kwon S. Oh. New Adaptive Compensator Robust to Memoryless Nonlinear Distortion. / Intelligent Information Management, No 6, 2014. PP. 8-11.

17. Sandra Mattsson, Asa AB Fasth, Fast-Berglund, Johan Stahre. Describing Human-Automation Interaction in Production [Text] / Sandra M. // Conference Paper, 2012. – PP. 2-3.

18. Robust proprioceptive grasping with a soft robot hand, 2018, Bianca S. Homberg, Robert K. Katschmann, Mehmet R. Dogar, Daniela Rus.

19. Simulation of multibody systems with servo constraints through optimal control, 2016, R. Altmann, J. Heiland.

20. Servo signal processing for flying height control in hard disk drives, 2011, Uwe Boettcher, Christopher A. Lacey, Hui Li, Kensuke Amemiya, Raymond A. de Callafon, Frank E. Talke.