

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ 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 «ГИБКИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ  
ШЕСТЕРНИ»

Студент	<u>А. Р. Кувватбеков</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>Д. Г. Токарев</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	<u>О. А. Парфенова</u> (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 2019

## АННОТАЦИЯ

Тема: Гибкий автоматизированный комплекс обработки шестерни:  
Бакалаврская работа по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах»: - Тольятти: ТГУ, 2019.

В работе осуществлена разработка технологического процесса механической обработки детали типа шестерня. Выполнен расчет припусков на механическую обработку детали, межоперационных размеров, режимов резания, норм времени. Спроектирован ГАК (Гибкий автоматизированный комплекс) для токарной, шлифовальной, зубодолбежной, зуб фрезерной и зубофасочной операций технологического процесса. Выбраны роботы для обслуживания основного технологического оборудования, подобрано вспомогательное технологическое оборудование и система обеспечения безопасности работы ГАК. Спроектировано специальное захватное устройство с расчетами его кинематических, силовых, точностных и прочностных характеристик. Разработана 2-х уровневая система управления ГАК на базе контроллера S7-300. Представлены циклограмма функционирования и алгоритм оперативного управления ГАК. Разработан экраный интерфейс АРМ (автоматизированное рабочее место) оператора ГАК.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки с приложениями, 6 листов графического материала формата А1. -55с.

## **Abstract**

The title of the graduation work is Flexible Automated Gear Processing Complex.

The development of technological process of mechanical processing of a gear-type part was carried out in the research work. In this work, the calculations of allowance for mechanical details processing, inter-operational sizes, cutting modes and time norms were made. The FAC (flexible automated complex) for turning, grinding, gear-cutting-gear-milling and gear-forming operations of the technological process was designed. Robots to service the main process equipment were chosen and a safety system for the FAC was selected. Special gripping device was designed with calculations of its kinematic, power, accuracy and strength characteristics designed. The 2-level control system of the FAC, based on the S7-300 controller was developed. The cyclogram of functioning and the algorithm of operational control of the FAC are also presented in the research work. A special self-centering tick-type device was designed to grip the part. The screen interface of the AWP (automated workplace) of the FAC operator was developed. Technological means for implementing the interface of the automated workplace were selected.

The graduation work consists of computational and explanatory notes on 55 pages including appendices, and also graphic material on 6 A1 format sheets.

## Содержание

Введение.....	5
1 Разработка автоматизированного технологического процесса.....	6
1.1 Анализ служебного назначения детали.....	6
1.2 Обоснование вида производства.....	7
1.3 Разработка технологического маршрута обработки детали.....	10
2 Проектирование гибкого автоматизированного комплекса.....	14
2.1 Выбор операций для автоматизации в условиях ГАК.....	14
2.2 Выбор оборудования ГАК.....	15
2.2.1 Основное оборудование ГАК.....	16
2.2.2 Вспомогательное оборудование ГАК.....	16
2.4 Варианты размещения оборудования ГАК.....	18
3 Проектирование захватного устройства.....	22
3.1 Геометрический расчет захвата.....	23
3.2 Расчет кинематики захвата.....	28
3.3 Силовой расчет самоцентрирующего захватного устройства.....	29
3.3.1 Расчет нагрузки от веса детали.....	29
3.3.2 Расчет нагрузок в местах контакта изделия и губок.....	30
3.3.3 Расчет крутящего момента на зубчатом секторе.....	30
3.4 Расчет усилия привода захвата.....	30
4 Разработка многоуровневой системы управления ГАК.....	33
4.1 Задачи разработки системы управления ГАК.....	33
4.2 Режимы штатной работы систем управления нижнего уровня.....	34
4.3 Ситуации нештатной работы систем управления нижнего уровня.....	34
4.4 Разработка модели управления системы управления ГАК.....	35
4.5 Разработка блок-схемы алгоритма системы управления нижнего уровня.....	39
4.6 Выбор аппаратных и коммуникационных средств системы управления..	39
5. Разработка человеко-машинного интерфейса.....	42
Заключение.....	51
Список используемых источников.....	52
Приложение А.....	55
Приложение А.....	56

## Введение

Для обеспечения гибкости и повышения производительности технологических процессов необходима их автоматизация и обеспечение надежного автоматического управления технологическим оборудованием.

Автоматизация технологического оборудования обеспечивается применением систем числового программного управления в качестве локальных систем управления и управляющих систем гибких автоматизированных комплексов в качестве систем верхнего уровня управления.

Целью проектирования автоматизированных производственных систем является повышение характеристик эффективности производственного процесса, рационализация использования производственных ресурсов. При этом повышается загрузка основного технологического оборудования, снижается трудоемкость изготовления выпускаемых изделий.

В бакалаврской работе рассматривается автоматизация технологического процесса изготовления шестерни, выбор автоматизированного основного и вспомогательного технологического оборудования, оснащенного системами числового программного управления. Будет разработан гибкий автоматизированный комплекс производства шестерни. Разработаны алгоритм и система управления комплексом.

# 1 Разработка автоматизированного технологического процесса

## 1.1 Анализ служебного назначения детали

В соответствии с заданием на проектирование на разрабатываемом гибком автоматизированном комплексе изготавливается шестерня. Она работает в редукторах и служит для реверсирования вращения редуктора.

Материалом для изготовления шестерни является сталь 40Х. В технологический процесс входит закалочная операция изготавливаемой шестерни.

Особенностями эксплуатации шестерни является воздействие на нее деформаций, вызванных нагревом ее поверхности вследствие скоростного режима работы редуктора.

В соответствии с особенностями эксплуатации детали проведем классификацию поверхностей изготавливаемой шестерни (рисунок 1.1, таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Поверхности детали

Вид поверхности	Номер поверхности
Основная конструкторская база	8, 14
Вспомогательная конструкторская база	9
Исполнительная поверхность (ОКБ)	24
Свободные поверхности	остальные

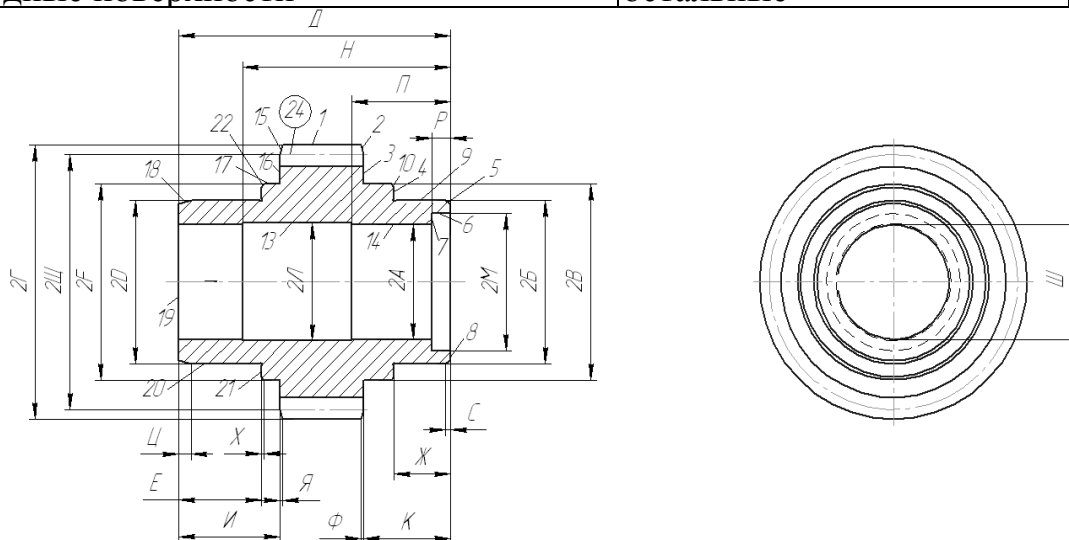


Рисунок 1.1 – Классификация поверхностей по служебному назначению

Поверхности шестерни должны механически обрабатываться. В противном случае влияние поверхностей без обработки может привести к неуравновешенности детали, вибрации при вращении и, как следствие, к повышенному износу при эксплуатации и разрушению.

## 1.2 Обоснование вида производства

Вид производства зависит от годового объема производства детали и ее массы. После анализа данных производство деталей относится к среднесерийному, являющимся одним из разновидностей серийного производства. Особенностью такого производства является определенная номенклатура изделий достаточно большого объема.

Для реализации технологического процесса в среднесерийном производстве должно использоваться универсальное обрабатывающее оборудование, оснащенное универсальными приспособлениями, что увеличивает загрузку оборудования, увеличивает производительность при снижении трудоемкости и стоимости производства.

Основное технологическое оборудование при реализации технологического процесса должно располагаться в соответствии с порядком выполнения технологических операций.

## 1.3 Выбор и проектирование заготовки

Выберем метод получения заготовки.

Проанализируем способ получения заготовки ковкой. Таким образом, заготовка будет являться поковкой.

Определим массу поковки:

$$M_{np} = M_d \cdot K_p, \quad (1.1)$$

где

$M_d$  – масса детали,  $M_d = 1,52$  кг,

$K_p$  – коэффициент сложности заготовки ( $K_p = 1,3 \dots 1,6$ ), тогда  $K_p = 1,3$ ,

в этом случаемасса заготовки

$$M_{пр} = 1,52 * 1,3 = 1,98 \text{ кг}$$

Проанализируем способ получения заготовки отрезкой из проката.

Выбираем прокат обычной точности по ГОСТ 2590-99.

Рассчитываем длину заготовки:

$$L_3 = L_d + 2 \cdot Z_o, \quad (1.2)$$

где

$L_d$  – длина детали, мм;

$Z_o$  – припуск на подрезание торцов, мм.

Принимаем  $L_d = 86$  мм  $Z_o = 0,7$  мм.

Тогда

$$L_3 = 86 + 2 * 0,7 = 87,4 \text{ мм}$$

Определяем массу заготовки из проката, учитывая что масса погонного метра  $M_{пм} = 49,94$  кг:

$$M_3 = M_{пм} \cdot L_3, \quad (1.3)$$

Принимается  $M_{пм} = 49,94$  кг.

Тогда

$$M_3 = 49,94 * 0,0874 = 4,4 \text{ кг}$$

Выберем рациональный способ изготовления заготовки.

Определим стоимость штамповки:

$$C_3 = (C_m \cdot M_3 - (M_3 - M_o) \cdot C_{отх}) , \quad (1.4)$$

где  $C_m$  – стоимость одного килограмма материала заготовки, руб;

$C_{отх}$  – стоимость одной тонны отходов, руб;

Принимается  $C_m = 260,11$  руб/кг,  $C_{отх} = 10,82$  руб/кг,

Тогда  $C_3 = 260,11 * 2,3 - (2,3 - 1,52) * 10,82 = 589,81$  руб.

Определим стоимость заготовки из проката

$$C_3 = (C_m \cdot M_{3'} - (M_{3'} - M_o) \cdot C_{отх}) , \quad (1.5)$$



Принимается  $C_M = 260,11 \text{ руб/кг}$   $C_{отх} = 10,82 \text{ руб/кг}$ ,

Тогда  $C_3 = 260,11 * 4,4 - (4,4 - 1,52) * 1,82 = 1139,24 \text{ руб}$

Из расчетов следует, что метод получения заготовки шестерни штамповкой является более выгодным.

Спроектируем исходную заготовку

Составим расчетную схему штамповки (рисунок 1.2)

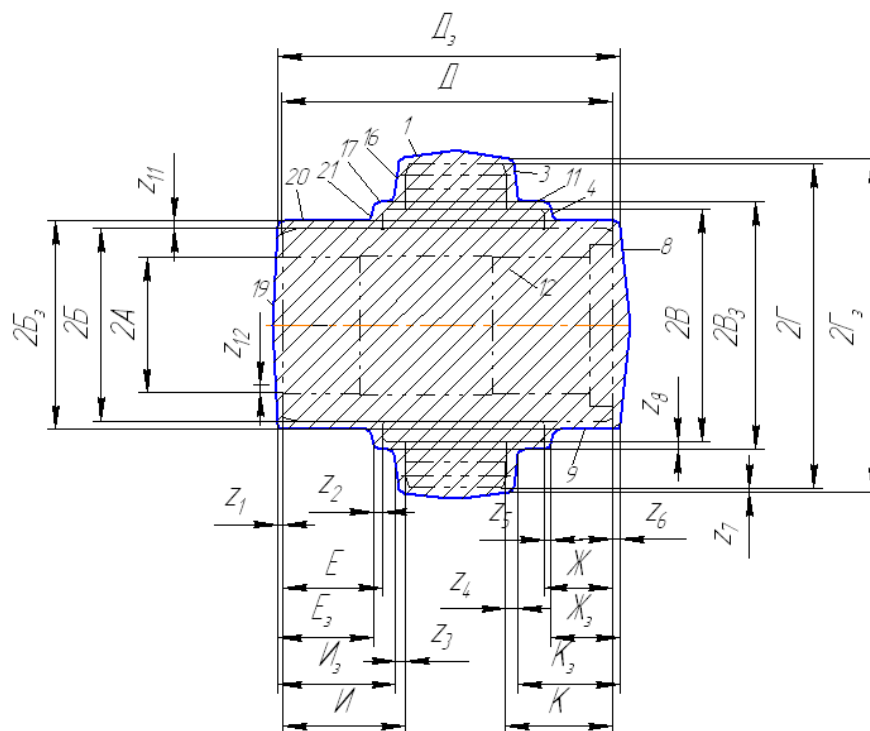


Рисунок 1.2 – Расчетная схема штамповки

В зависимости от ориентированной массы штамповки, класса точности, степени сложности, группы стали, размеров и шероховатостей поверхностей определяем припуски и допуски на размеры, величину смещения разъема штампа, отклонение от плоскостности и прямолинейности. Все данные заносим в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Определение размеров заготовки

Параметры детали					Параметры заготовки
№ пов-ти	Код размера	Размер, мм	Ra, мкм	Припуск, мм	Размер, мм
8,19	Д	86	Ra <sub>1</sub> =1,6 Ra <sub>2</sub> =1,6	Z <sub>1</sub> =2,4 Z <sub>6</sub> =2,4	K=86+2,4+2,4=90,8 <sup>+2,0</sup> <sub>-1,2</sub>
19, 21	Е	26	Ra <sub>1</sub> =1,6 Ra <sub>2</sub> =1,6	Z <sub>2</sub> =2,0 Z <sub>1</sub> =2,4	E=26+2,4-2,0=26,4 <sup>+1,0</sup> <sub>-0,8</sub>
16, 19	И	32	Ra <sub>1</sub> =1,6 Ra <sub>2</sub> =6,3	Z <sub>1</sub> =2,4 Z <sub>3</sub> =2,3	И=32+2,4-2,3=32,1 <sup>+1,0</sup> <sub>-0,8</sub>
4,8	Ж	18	Ra <sub>1</sub> =1,6 Ra <sub>2</sub> =0,8	Z <sub>5</sub> =2,0 Z <sub>6</sub> =2,4	Ж=18+2,4-2,0=18,4 <sup>+0,8</sup> <sub>-0,5</sub>
3,8	К	28	Ra <sub>1</sub> =1,6 Ra <sub>2</sub> =6,3	Z <sub>4</sub> =2,3 Z <sub>6</sub> =2,4	K=28+1,0-0,7=28,3 <sup>+1,0</sup> <sub>-0,8</sub>
12	2А	∅35	Ra=1,6	Z <sub>12</sub> =2,3	2А=35-2,3-2,3=30,4 <sup>+1,0</sup> <sub>-0,8</sub>
20	2Б	∅0	Ra=0,8	Z <sub>11</sub> =2,3	2Б=50+2,3+2,3=54,6 <sup>+1,2</sup> <sub>-0,9</sub>
11	2В	∅60	Ra=1,6	Z <sub>8</sub> =2,4	2В=60+2,4+2,4=64,8 <sup>+1,2</sup> <sub>-0,9</sub>
1	2Г	∅84	Ra=1,6	Z <sub>7</sub> =2,4	2Г=84+2,4+2,4=88,8 <sup>+2,0</sup> <sub>-1,2</sub>

Размеры заготовки необходимы для расчета захватного устройства робота, обслуживающего основное технологическое оборудование ГАК.

### 1.3 Разработка технологического маршрута обработки детали

Рассчитаем нормы времени технологических операций, выбранных для автоматизации в условиях гибкого автоматизированного комплекса (ГАК).

Штучное время токарной операции:

$$T_{шт} = T_o + T_{вс} + T_{об} + T_{от} \quad (1.6)$$

где

T<sub>о</sub> – основное время,

T<sub>вс</sub> – вспомогательное время,

T<sub>об</sub> – время технического обслуживания станка,

T<sub>от</sub> – время на отдых и личные надобности.

Рассчитаем время чернового точения.

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, \quad (1.7)$$

где

$L$  – длина обработки, мм;

$i$  – число проходов.

Длину обработки  $L$ , мм определяем по формуле

$$L = l + l_1, \quad (1.8)$$

где

$l$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;

$l_1$  – длина врезания и перебега, мм;

Выбираем  $L=86$  мм,  $l_1=2$  мм, тогда

$$L = 86 + 2 = 88 \text{ мм}$$

Тогда на первом установе:

$$T_{0A} = \frac{88}{0,7 \cdot 400} \approx 0,32 \text{ мин}$$

На втором установе:

$$L = 27 + 2 = 29 \text{ мм}$$

$$T_{0B} = \frac{29}{0,7 \cdot 400} \approx 0,1 \text{ мин}$$

Рассчитываем вспомогательное время обработки на токарной операции:

$$T_{вс} = T_{ус} + T_{уп} + T_{пб} \quad (1.9)$$

где

$T_{ус}$  – время на установку, принимаем равным 0,15 мин,

$T_{уп}$  – время на управление станком,  $T_{уп} = 0,01$  мин

$T_{пб}$  – время на перебазирование,  $T_{пб} = 0,15$  мин

Тогда

$$T_{вс} = 0,15 + 0,01 + 0,15 = 0,31 \text{ мин}$$

$$T_{об} + T_{от} = 0,06 * (T_0 + T_{вс}) = 0,06 * (0,42 + 0,31) \approx 0,1 \text{ мин}$$

Итого

$$T_{шт} = 0,42 + 0,1 + 0,31 = 0,8 \text{ мин}$$

Рассчитаем время чистового точения.

Для первого перехода:

$$T_{0A} = \frac{88}{0,3 \cdot 400} \approx 0,6 \text{ мин}$$

Для второго перехода:

$$T_{0B} = \frac{29}{0,25 \cdot 400} \approx 0,29 \text{ мин}$$

Тогда составляющие штучного времени:

$$T_{вс} = 0,15 + 0,01 + 0,15 = 0,31 \text{ мин}$$

$$T_{об} + T_{от} = 0,06 \cdot (T_0 + T_{вс}) = 0,06 \cdot (0,89 + 0,31) \approx 0,1 \text{ мин}$$

Штучное время:

$$T_{шт} = 0,89 + 0,1 + 0,31 = 1,3 \text{ мин}$$

Рассчитаем штучное время на сверильной операции.

$$T_0 = \frac{88}{0,65 \cdot 100} \approx 1,3 \text{ мин}$$

$$T_{вс} = 0,15 + 0,01 = 0,16$$

$$T_{об} + T_{от} = 0,06 \cdot (T_0 + T_{вс}) = 0,06 \cdot (1,3 + 0,16) \approx 0,1 \text{ мин}$$

$$T_{шт} = 1,3 + 0,1 + 0,16 \approx 1,5 \text{ мин}$$

Рассчитаем время на зубофрезерной операции.

$$T_0 = \frac{z(x + b + c)}{k n s_0 y} \quad (1.10)$$

где

$x$  – длина врезания фрезы, мм;

$z$  – число зубьев шестерни;

$b$  – ширина зубчатого венца шестерни;

$c$  – перебеж фрезы, мм;

$n$  – частота вращения фрезы, об/мин;

$s_0$  – осевая подача фрезы, мм/об;

$y$  – число одновременно обрабатываемых шестерен.

Тогда составляющие штучного времени:

$$T_0 = \frac{26(28,5 + 26 + 4)}{2 \cdot 120 \cdot 2 \cdot 1} = 3,16 \text{ мин}$$

$$T_{вс} = 0,15 + 0,01 = 0,16 \text{ мин}$$

$$T_{об} + T_{от} = 0,06 * (T_0 + T_{вс}) = 0,06 * (3,16 + 0,16) \approx 0,2 \text{ мин}$$

Штучное время

$$T_{шт} = 3,16 + 0,16 + 0,2 \approx 3,5 \text{ мин}$$

## 2Проектирование гибкого автоматизированного комплекса

Внедрение в производство гибких производственных систем, обеспечивающих автоматическое управление обработки деталей, обеспечивает увеличение производительности труда, приводит к снижению трудоемкости

### 2.1 Выбор операций для автоматизации в условиях ГАК

Полный перечень операций, входящих в технологический процесс обработки шестерни, представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень технологических операций

№	Вид операции	Станок
10	Сверлильная	2Т140, сверлильный
20	Токарная черновая	1Н713, токарный
30	Токарная чистовая	1Н713, токарный
40	Зубофрезерная	53В30П, зубофрезерный
50	Шевинговальная	5Д702В, зубошевинговальный
60	Термическая обработка	Электрическая печь ТВЧ 2.5
70	Круглошлифовальная	3М152МФ2, круглошлифовальный
80	Внутришлифовальная	3К227В внутришлифовальный

Выбор операций для автоматизации обосновывается несколькими причинами:

- количеством и расположением основного технологического оборудования ГАК с целью его максимальной загрузки,
- видом технологической операции, например термическая операция производится отдельно от основного технологического процесса (термический цех),
- разницей во времени обработки детали на различных технологических операциях, например некоторые операции автоматизированной зубообработки обычно производятся на отдельном специализированном участке.

Учитывая указанные условия, выбираем операции для автоматизации. Они указаны в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Операции для автоматизации

№	Операция	Станок	Штучное время, мин
10	Сверлильная	2Т140, сверлильный	1,3
20	Токарная черновая	1Н713, токарный	0,32+0,1*
30	Токарная чистовая	1Н713, токарный	0,6+0,29*
40	Зубофрезерная	53В30П, зубофрезерный	3,16

\*обработка производится за два установка. Указана сумма времени первого и второго установка

Суммарное время изготовления детали составляет 5,8 мин.

На всех операциях, кроме зубофрезерной, используется по одной единице оборудования. Так как зубофрезерование производится сравнительно долгое время, то принимаем решение для рациональной загрузки основного технологического оборудования использовать два станка, выполняющих операцию параллельно.

## 2.2 Выбор оборудования ГАК

Оборудование выбирается, исходя из следующих соображений:

- оборудование должно оснащаться системами числового программного управления,
- оборудование должно быть оснащено автоматическими устройствами, обеспечивающими смену обрабатываемого инструмента,
- автоматизированные приспособления должны контролировать подачу смазочно-охлаждающей жидкости,
- оборудование должно оснащаться автоматическим устройством отведения стружки,
- вспомогательное оборудование, обеспечивающее функционирование основного, не должно препятствовать работе другого основного оборудования и роботов.

### 2.2.1 Основное оборудование ГАК

К основному оборудованию ГАК относятся станки, выполняющие технологические операции по изготовлению детали.

Сверлильный станок 2Т140 выполняет операцию 10. Технические характеристики представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики 2Т140

Максимальный диаметр отверстия, мм	40
Наибольшая величина перемещения шпинделя, мм	180
Наибольшая глубина сверления, мм	220
Габариты: длина*ширина*высота, мм	940x550x2100
Масса, кг	610

Токарный станок 1Н713 выполняет операции 20 и 30. Он используется для точения цилиндрических и близких к ним поверхностей в условиях производства различного вида серийности.

Технические характеристики приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики 1Н713

Максимальный диаметр детали при обработке, мм	400
Габариты станка, мм длина*ширина*высота	2535*1350*1995
Масса станка, кг	4600

Зуб фрезерный станок 53В30П выполняет обработку зубьев шестерни.

Технические характеристики представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики 53В30П

Максимальный диаметр обрабатываемой шестерни, мм	340
Наибольшая ширина шестерни, мм	210
Габариты станка, мм длина*ширина*высота	2400x1400x1850
Масса станка, кг	5200

### 2.2.2 Вспомогательное оборудование ГАК

Для автоматизации транспортных операций (разгрузки входной тары,



разгрузки-загрузки основного технологического оборудования, перемещения объектов производства между оборудованием, загрузки выходной тары) необходимо применять промышленные роботы.

Для выбора промышленных роботов необходимо учитывать следующие факторы:

- требуемая грузоподъемность, определяемая массой изделия, которым манипулирует робот, и производимого на ГАК,
- требуемая компоновка робота, учитывающая необходимые параметры его рабочей зоны, зависящие от габаритов и расположения обслуживаемого оборудования.

Анализ требуемой компоновки показывает, что целесообразно использовать роботы напольной компоновки.

Выбираем напольный робот KR 6-2.

Технические характеристики робота KR 8-2 представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Технические характеристики KR 8-2

Количество подвижностей	6
Угол поворота и скорость оси 1	$\pm 195^\circ$ , 160°/с
Угол поворота и скорость оси 2	+30°/-160°, 160°/с
Угол поворота и скорость оси 3	+160°/-120°, 160°/с
Угол поворота и скорость оси 4	$\pm 340^\circ$ , 340°/с
Угол поворота и скорость оси 5	$\pm 120^\circ$ , 364°/с
Угол поворота и скорость оси 6	$\pm 340^\circ$ , 662°/с
Максимальный радиус рабочей зоны, мм	1711
Грузоподъемность, кг	8
Масса, кг	245

Для транспортировки деталей необходимы также транспортеры.

В соответствии с требованиями перемещаемой массы груза и расстоянием между технологическим оборудованием выбираем транспортер ЛУК 150-850, который позволяет поштучно транспортировать объекты. Характеристики транспортера приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Характеристики конвейера ЛУК 200-800/4

Длина ленты, мм	1100 - 4100
Ширина ленты, мм	230
Скорость, м/с	0,4

Для обеспечения поштучной выдачи роботу изделий с их необходимой ориентацией используется бункерно-загрузочное ориентирующее устройство.

В процессе механической обработки детали побочным продуктом обработки является стружка, которую необходимо удалять из зоны обработки.

Выбор оборудования для отвода стружки необходимо для автоматизации обработки в условиях ГАК. Целесообразно организовать централизованное удаление стружки. При этом желательно, чтобы стружкоуборочное оборудование не занимало дополнительной производственной площади.

Поэтому в проектируемом ГАК предусматриваем применение системы подпольных скребковых транспортеров, обеспечивающих централизованный вывод отходов производства за пределы ГАК.

#### 2.4 Варианты размещения оборудования ГАК

Первая компоновка является базовой.

Робот 9 захватывает заготовку из ориентирующего бункерно-загрузочного устройства (БЗУ). Сверлильный станок выполняет операцию 10, токарные станки 3, 4 – операции 20, 30. Зубофрезерные станки 5, 6 – операцию 40. Транспортировка изделия от робота 9 к роботу 10 происходит транспортером 8, который является также промежуточным накопителем. Передача изделий на выходную тару производится транспортером 7.

Табличный алгоритм функционирования ГАК представлен в таблицах 2.8, 2.9.

Таблица 2.8 – Взаимодействие станков 2, 3, 4 с роботом 9

№	Действие	Сост.обор.:1-раб., 0-нет			Сост.схвата0-пуст, 1-нет	Время, сек
		Ст2	Ст3	Ст4		
1	Перех. к Ст3	1	1	0	0	1
2	Ожид.оконч. раб. Ст3	1	1	0	0	
3	Перебаз. п/ф в Ст3	1	0	0	1	2
4	Ожид.оконч. раб. Ст3	1	1	0	0	
5	Разгр. Ст3	1	0	0	1	1
6	Перех. к Ст4	1	0	0	1	1,5
7	Загр. Ст4	1	0	0	0	1
8	Ожид.оконч. раб. Ст4	1	0	1	0	
9	Перебаз. п/ф в Ст4	1	0	0	1	2
10	Перех. к Ст2	1	0	1	0	2
11	Ожид.оконч. раб. Ст2	1	0	1	0	
12	Разгр. Ст2	0	0	1	1	1
13	Перех. к Ст2	0	0	1	1	1
14	Загр. Ст2	0	0	1	0	1
15	Перех. к БЗУ	0	1	0	0	1,5
16	Разгр. БЗУ	0	1	0	1	1
17	Перех. к Ст2	0	1	0	1	1
18	Загр. в Ст2	0	1	0	0	1
19	Перех. к Ст4	1	1	0	0	2
20	Разгр. Ст4	1	1	0	1	1
21	Перех. к трансп.8	1	1	0	1	1
22	Загр. трансп.8	1	1	0	0	1

Таблица 2.9 – Взаимодействие станков 5, 6 с роботом 10

№	Действие	Сост.обор. (1-раб, 0-нет)		Сост.схвата0-пуст, 1-нет	Время, сек
		Ст5	Ст6		
1	Перех. к трансп 8	0	1	0	2
2	Ожид. п/ф на трансп. 8	0	1	0	
3	Разгр. трансп. 8	0	1	1	1
4	Перех. к Ст5	0	1	1	1
5	Загр. Ст5	0	1	0	1
6	Перех. к Ст6	1	1	0	1,5
7	Ожид.оконч. раб. Ст6	1	1	0	
8	Разгр. Ст6	1	0	1	1
9	Перех к трансп.7	1	0	1	1
10	Загр. трансп.7	1	0	0	1
11	Перех к трансп.8	1	0	0	2
12	Ожид. п/ф на трансп. 8	1	0	0	
13	Разгр. трансп. 8	1	0	1	1
14	Перех. к Ст6	1	0	1	1
15	Загр. Ст6	1	0	0	1
16	Перех. к Ст5	1	1	0	2
17	Ожид.оконч. раб. Ст5	1	1	0	
18	Разгр. Ст5	0	1	1	1
19	Перех. к вых.таре	0	1	1	1
20	Загр. вых тары	0	1	0	1

Время входа в цикл = 460 с

Время цикла = 204 с

Время выхода из цикла = 350 с

Коэффициенты загрузки:

$$K_{32}=164/204=0,8 \quad K_{33}=100/204=0,5$$

$$K_{34}=124/204=0,6 \quad K_{35}=K_{36}=188/204=0,93$$

$$K_{3p1}=60/204=0,3 \quad K_{3p2}=50/204=0,25$$

Площадь, занимаемая ГАК  $S = 94 \text{ м}^2$

Сравним вторую компоновку с первой (базовой).

В отличие от первой компоновки станок 4 обслуживает отдельный робот, а после выполнения последней операции ГАК изделие помещается непосредственно в выходную тару. Вторая компоновка определяет следующие обозначения оборудования: 1 – БЗУ, 2 – сверлильный 2Т140, 3,4 – токарный 1Н713, 5,6 – зубофрезерный 53В30П, 7 – входная тара, 8 – транспортер, 9,10,11 – ПР.

Табличный алгоритм функционирования ГАК представлен в таблицах 2.10, 2.11.

Таблица 2.10– Обслуживание станков 2 и 3 роботом 9

№	Действие	Сост.обор. (1-раб, 0-нет)		Сост.схвата0-пуст, 1-нет	Время, сек
		Ст2	Ст3		
1	Перех.к Ст2	1	0	0	1,5
2	Ожид.оконч. раб. Ст2	1	0	0	
3	Разгр. Ст2	0	0	1	1
4	Перех. к Ст3	0	0	1	1
5	Загр. Ст3	0	0	0	1
6	Перех. к БЗУ	0	1	0	1,5
7	Разгр. БЗУ	0	1	1	1
8	Перех. к Ст2	0	1	1	1
9	Загр. Ст2	0	1	0	1
10	Перех. Ст3	1	1	0	1
11	Ожид.оконч. раб. Ст3	1	1	0	
12	Перебаз. п/ф в Ст3	1	0	1	2
13	Ожид.оконч. раб. Ст3	1	1	0	
14	Разгр. Ст3	1	0	1	1
15	Перех. к трансп. 8	1	0	1	1
16	Загр. трансп. 8	1	0	0	1

Таблица 2.11– Обслуживание станка 4 роботом 10

№	Действие	Сост.Ст4. (1-раб, 0-нет)	Сост.схвата0-пуст, 1-нет	Время, сек
1	Ожид. трансп. 8	0	0	
2	Разгр. трансп. 8	0	1	1
3	Перех. к Ст4	0	1	1
4	Загр. Ст4	0	0	1
5	Ожид. оконч. раб. Ст4	1	0	
6	Перебаз. п/ф в Ст4	0	1	2
7	Ожид. оконч. раб. Ст4	1	0	
8	Разгр. Ст4	0	1	1
9	Перех. к трансп. 8	0	1	1
10	Загр. трансп. 8	0	0	1

Таблица 2.14 - Обслуживание станков 5 и 6 роботом 11

№	Действие	Сост.обор. (1-раб, 0-нет)		Сост.схвата0-пуст, 1-нет	Время, сек
		Ст5	Ст6		
1	Перех. к трансп. 8	0	1	0	2
2	Ожид трансп. 8	0	1	0	
3	Разгр. трансп. 8	0	1	1	1
4	Перех. к Ст5	0	1	1	1
5	Загр. Ст5	0	1	0	1
6	Перех. к Ст6	1	1	0	1,5
7	Ожид. оконч. раб. Ст6	1	1	0	
8	Разгр. Ст6	1	0	1	1
9	Перех. к вых.таре	1	0	1	1
10	Загр. вых. тары	1	0	0	1
11	Перех. к трансп. 8	1	0	0	2
12	Ожид . трансп. 8	1	0	0	
13	Разгр. трансп. 8	1	0	1	1
14	Перех. к Ст6	1	0	1	1
15	Загр. Ст6	1	0	0	1
16	Перех. к Ст5	1	1	0	2
17	Ожид.оконч. раб. Ст5	1	1	0	
18	Разгр. Ст5	0	1	1	1
19	Перех к трансп. 8.	0	1	1	1
20	Загр. трансп.8	0	1	0	1

Площадь, занимаемая ГАК  $S=99,75 \text{ м}^2$

Время входа в цикл = 625 с

Время цикла = 204 с

Время выхода из цикла = 350 с

Коэффициенты загрузки:

$K_{32}=164/203=0,8$ ,  $K_{33}=96/203=0,5$ ,  $K_{34}=124/203=0,6$ ,  $K_{35}= K_{36}=188/203=0,93$ ,

$K_{3p1}=60/204=0,3$ ,  $K_{3p2}=40/204=0,2$ ,  $K_{3p3}=60/204=0,3$ .

### 3 Проектирование захватного устройства

Захватные устройства (захваты) промышленных роботов предназначены для обеспечения перемещения объекта манипулирования при соблюдении его ориентированного положения и необходимых усилий для удержания при манипулировании.

К захватному устройству предъявляются следующие требования:

- приспособляемость к изменению формы и размера объекта манипулирования;
- сохранение положения объекта манипулирования при всех режимах работы робота;
- быстродействие, долговечность, надежность, компактность, малый вес;
- компенсация взаимного расположения объекта манипулирования, захватного устройства и обслуживаемого оборудования.

Центрирующее захватное устройство позволяет однозначно определить положение объекта в пространстве, что обеспечивает точную установку изделия в зажимное приспособление оборудования или тару.

При расчете захватного устройства для промышленного робота в качестве исходных данных учитывается:

- тип и конструкция основного и вспомогательного оборудования, обслуживаемого данным промышленным роботом;
- характеристики объекта манипулирования;
- тип и конструкция самого робота;
- особенности технологического процесса.

Движение губок обеспечивается пневмоприводом, так как его легко регулировать, и он обеспечивает движение при малых габаритах. В качестве передаточного механизма используется реечная передача, так как при малых габаритах она обеспечивает наибольшее раскрытие губок.

Шестерня имеет длину менее 200 мм и массу менее 8 кг. Поэтому целесообразно применять однопозиционный широкодиапазонный захват.

### 3.1 Геометрический расчет захвата

Профиль губок должен обеспечить центрирование изделия в некотором диапазоне. Типовая конструкция предусматривает обеспечение захода губок друг за друга, что позволяет захватывать даже ступенчатые тела вращения.

Исходными габаритными параметрами конструкции захвата являются:

- длина пальца  $AC = 155$  мм;
- половинное межосевое расстояние  $AE = 65$  мм;
- пределы диаметров деталей для захвата: нижний  $D_{\min} = 70$  мм, верхний  $D_{\max} = 130$  мм.

Параметры конструктива губок:

- верхний профилирующий радиус  $R_1 = 80$  мм;
- нижний профилирующий радиус  $R_2 = 190$  мм;
- межцентровое расстояние окружностей ограничения профиля  $O_1O_2 = 200$  мм.

Схема расчета представлена на рис.3.1.

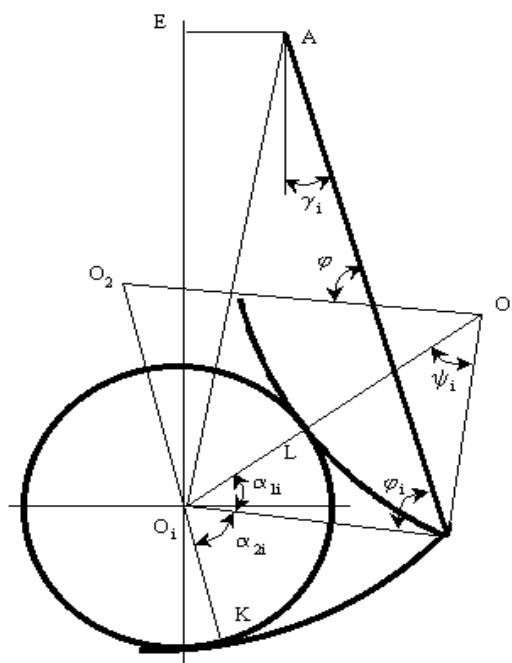


Рисунок 3.1 – Схема расчета профиля губки

Рассчитаем угол  $\varphi$ , который определяет нулевую погрешность при центрировании:

$$\cos \varphi_{onm} = A - B \cdot \sin \varphi_{onm} \quad (3.1)$$

Величина вспомогательного угла  $\psi_i$  равна:

$$\psi_i = \arccos \frac{R_1^2 + O_1 O_2^2 - R_2^2}{2 \cdot R_1 \cdot O_1 O_2} - \arccos \frac{(R_1 + R_2) \cdot (R_1 - R_2 + D_i) + O_1 O_2^2}{(2 \cdot R_1 + D_i) \cdot O_1 O_2} \quad (3.2)$$

$$\psi_{\min} = \arccos \frac{80^2 + 200^2 - 190^2}{2 \cdot 80 \cdot 200} - \arccos \frac{(80 + 190) \cdot (80 - 200 + 80) + 200^2}{(2 \cdot 80 + 80) \cdot 200} = 18.7^\circ$$

$$\psi_{\text{сред}} = \arccos \frac{80^2 + 200^2 - 190^2}{2 \cdot 80 \cdot 200} - \arccos \frac{(80 + 190) \cdot (80 - 200 + 110) + 200^2}{(2 \cdot 80 + 110) \cdot 200} = 25^\circ$$

$$\psi_{\max} = \arccos \frac{80^2 + 200^2 - 190^2}{2 \cdot 80 \cdot 200} - \arccos \frac{(80 + 190) \cdot (80 - 200 + 140) + 200^2}{(2 \cdot 80 + 140) \cdot 200} = 30.4^\circ$$

Тогда параметр  $CO_i$ :

$$CO_i = \sqrt{R_1 \cdot (2 \cdot R_1 + D_i) \cdot (1 - \cos \psi_i) + 0.25 \cdot D_i^2} \quad (3.3)$$

$$CO_{\min} = \sqrt{80 \cdot (2 \cdot 80 + 80) \cdot (1 - \cos 18.7^\circ) + 0.25 \cdot 80^2} = 51,12 \text{ мм},$$

$$CO_{\text{сред}} = \sqrt{80 \cdot (2 \cdot 80 + 110) \cdot (1 - \cos 25^\circ) + 0.25 \cdot 110^2} = 71 \text{ мм},$$

$$CO_{\max} = \sqrt{80 \cdot (2 \cdot 80 + 140) \cdot (1 - \cos 30.4^\circ) + 0.25 \cdot 140^2} = 90,5 \text{ мм}.$$

Вспомогательный угол  $\beta_i$ :

$$\beta_i = \arccos \frac{R_2^2 - R_1^2 + O_1 O_2^2}{2 \cdot R_2 \cdot O_1 O_2} - \arccos \frac{R_2 \cdot D_i - 0.25 \cdot D_i^2 + CO_i^2}{2 \cdot R_2 \cdot CO_i} \quad (3.4)$$

$$\beta_{\min} = \arccos \frac{190^2 - 80^2 + 200^2}{2 \cdot 190 \cdot 200} - \arccos \frac{190 \cdot 80 - 0.25 \cdot 80^2 + 51,12^2}{2 \cdot 190 \cdot 51,12} = -9.9^\circ$$

$$\beta_{\text{сред}} = \arccos \frac{190^2 - 80^2 + 200^2}{2 \cdot 190 \cdot 200} - \arccos \frac{190 \cdot 110 - 0.25 \cdot 110^2 + 71^2}{2 \cdot 190 \cdot 71} = -8.35^\circ$$

$$\beta_{\max} = \arccos \frac{190^2 - 80^2 + 200^2}{2 \cdot 190 \cdot 200} - \arccos \frac{190 \cdot 140 - 0.25 \cdot 140^2 + 90,5^2}{2 \cdot 190 \cdot 90,5} = -6.31^\circ$$



Коэффициенты А, В из уравнения (3.1):

$$A = \frac{CO_{\max}^2 - CO_{\min}^2}{2 \cdot AC \cdot (CO_{\max} \cdot \cos \beta_{\max} - CO_{\min} \cdot \cos \beta_{\min})} \quad (3.5)$$

$$B = \frac{CO_{\max} \cdot \sin \beta_{\max} - CO_{\min} \cdot \sin \beta_{\min}}{CO_{\max} \cdot \cos \beta_{\max} - CO_{\min} \cdot \cos \beta_{\min}} \quad (3.6)$$

Тогда

$$A = \frac{90,5^2 - 51,12^2}{2 \cdot 165 \cdot (90,5 \cdot \cos(-6,31^\circ) - 51,12 \cdot \cos(-9,9^\circ))} = 0,427$$

$$B = \frac{90,5 \cdot \sin(-6,31^\circ) - 51,12 \cdot \sin(-9,9^\circ)}{90,5 \cdot \cos(-6,31^\circ) - 51,12 \cdot \cos(-9,9^\circ)} = -0,029$$

Принимаем  $\cos \varphi = 0,406$ . Тогда после постановки в (3.1):

$$\cos \varphi_{onm} = 0,427 + 0,029 \cdot \sin \varphi_{onm},$$

Значение угла  $\varphi = 87^\circ$ .

Рассчитаем величину позиционных и угловых отклонений.

Рассчитаем изменяемый при функционировании угол  $\varphi_i$  в зависимости от величины диаметра захватываемой детали:

$$\varphi_i = \varphi - \arccos \frac{R_2^2 - R_1^2 + O_1 O_2^2}{2 \cdot R_2 \cdot O_1 O_2} + \arccos \frac{R_2 D_i - 0,25 \cdot D_i^2 + CO_i^2}{2 \cdot R_2 \cdot CO_i} \quad (3.7)$$

$$\varphi_{\min} = 87^\circ - \arccos \frac{190^2 - 80^2 + 200^2}{2 \cdot 190 \cdot 200} + \arccos \frac{190 \cdot 80 - 0,25 \cdot 80^2 + 51,2^2}{2 \cdot 190 \cdot 51,2} = 97^\circ$$

$$\varphi_{\text{сред}} = 87^\circ - \arccos \frac{190^2 - 80^2 + 200^2}{2 \cdot 190 \cdot 43,4} + \arccos \frac{190 \cdot 110 - 0,25 \cdot 110^2 + 71^2}{2 \cdot 190 \cdot 71} = 95,36^\circ$$

$$\varphi_{\max} = 87^\circ - \arccos \frac{190^2 - 80^2 + 200^2}{2 \cdot 190 \cdot 43,4} + \arccos \frac{190 \cdot 140 - 0,25 \cdot 140^2 + 90,5^2}{2 \cdot 190 \cdot 90,5} = 93,14^\circ$$

Тогда ошибка центрирования в диапазоне  $D_{\min}$ - $D_{\max}$  для некоторого промежуточного диаметра  $D_i$ :

$$\Delta = EO_i - EO_{\min} \quad (3.8)$$

При этом

$$EO_i = \sqrt{AC^2 + CO_i^2 - 2 \cdot AC \cdot CO_i \cdot \cos \varphi_i - AE^2} \quad (3.9)$$

Подставляя значения, получаем:

$$EO_{\min} = \sqrt{165^2 + 51,2^2 - 2 \cdot 165 \cdot 51,2 \cdot \cos 97^\circ - 65^2} = 166,37 \text{ мм}$$

$$EO_{\text{сред}} = \sqrt{165^2 + 71^2 - 2 \cdot 165 \cdot 71 \cdot \cos 95,36^\circ - 65^2} = 166,5 \text{ мм}$$

$$EO_{\max} = \sqrt{165^2 + 90,5^2 - 2 \cdot 165 \cdot 90,5 \cdot \cos 93,14^\circ - 65^2} = 166,816 \text{ мм}$$

При этом погрешность центрирования:

$$\Delta_{\text{сред}} = EO_{\text{сп}} - EO_{\min} = 0,13 \text{ мм}$$

$$\Delta = EO_{\max} - EO_{\min} = 0,44 \text{ мм}$$

Рассчитанная погрешность не превышает заданную  $\Delta=0,02$  мм.

Рассчитаем контактный угол детали с губками.

Определяем параметры перемещения губок для захвата деталей определенного диапазона:

$$\gamma_i = 90^\circ - \arctg \frac{EO_i}{AE} - \arccos \frac{AC^2 + AE^2 + EO_i^2 - CO_i^2}{2 \cdot AC \cdot \sqrt{AE^2 + EO_i^2}} \quad (3.10)$$

$$\gamma_{\min} = 90^\circ - \arctg \frac{166,37}{65} - \arccos \frac{165^2 + 65^2 + 166,37^2 - 51,2^2}{2 \cdot 165 \cdot \sqrt{65^2 + 166,37^2}} = 6,447^\circ$$

$$\gamma_{\text{сред}} = 90^\circ - \arctg \frac{166,5}{65} - \arccos \frac{165^2 + 65^2 + 166,5^2 - 71^2}{2 \cdot 165 \cdot \sqrt{65^2 + 166,5^2}} = -2,613^\circ$$

$$\gamma_{\max} = 90^\circ - \arctg \frac{166,816}{65} - \arccos \frac{165^2 + 65^2 + 166,816^2 - 90,5^2}{2 \cdot 165 \cdot \sqrt{65^2 + 166,816^2}} = -11,475^\circ$$

Углы контакта изделия с верхней губкой:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{R_1 \cdot D_i + 0,25 \cdot D_i^2 + CO_i^2}{(2 \cdot R_1 + D_i) \cdot CO_i} + \varphi_i - \gamma_i - 90^\circ \quad (3.11)$$

$$\alpha_{1\min} = \arccos \frac{80 \cdot 80 + 0.25 \cdot 80^2 + 51,2^2}{(2 \cdot 80 + 80) \cdot 51,2} + 97^\circ - 6.447^\circ - 90^\circ = 25.95^\circ$$

$$\alpha_{1\text{сред}} = \arccos \frac{80 \cdot 110 + 0.25 \cdot 110^2 + 71^2}{(2 \cdot 80 + 110) \cdot 71} + 95,36^\circ + 2.613^\circ - 90^\circ = 24.43^\circ$$

$$\alpha_{1\max} = \arccos \frac{80 \cdot 140 + 0.25 \cdot 140^2 + 90,5^2}{(2 \cdot 80 + 140) \cdot 90,5} + 93,14^\circ + 11.475^\circ - 90^\circ = 22.53^\circ$$

Углы контакта с нижней губкой:

$$\alpha_2 = \arccos \frac{CO_i^2 - R_2 \cdot D_i + 0.25 \cdot D_i^2}{(2 \cdot R_2 - D_i) \cdot CO_i} - \varphi_i - \gamma_i \quad (3.12)$$

$$\alpha_{2\min} = 270^\circ - \arccos \frac{51,2^2 - 140 \cdot 80 + 0.25 \cdot 80^2}{(2 \cdot 140 - 80) \cdot 51,2} - 97^\circ - 6.447^\circ = 65.47^\circ$$

$$\alpha_{2\text{сред}} = 270^\circ - \arccos \frac{71^2 - 140 \cdot 110 + 0.25 \cdot 110^2}{(2 \cdot 140 - 110) \cdot 71} - 95,36^\circ + 2.613^\circ = 65.69^\circ$$

$$\alpha_{2\max} = 270^\circ - \arccos \frac{90,5^2 - 53 \cdot 50 + 0.25 \cdot 140^2}{(2 \cdot 140 - 140) \cdot 90,5} - 93,14^\circ + 11.475^\circ = 65.89^\circ$$

Угол, на который раскрывается захват, определим с учетом диапазона диаметров изделий при захвате. Необходимо учесть величину зазора между губкой и деталью. Принимаем  $\Delta D = (0.1 \dots 0.2)D_{\text{ср}}$ . Тогда угол раскрытия:

$$\gamma_{\text{полн}} = |\gamma_{\min} - \gamma_{\max}| = 17,9 \quad (3.13)$$

При учете зазора:  $\gamma_{\text{полн}} = 34$ .

Рассчитываем реечную передачу (таблицы 3.1, 3.2).

Таблица 3.1 – Зубчатый сектор

Параметр	Обозначения и расчет	Результат
Количество зубьев	$z_1$	24
Делительный размер, мм	$d = m z_1$	72
Размер вершин, мм	$d_a = d + 2m$	74
Размер впадин, мм	$d_f = d - 2(c^* + m)$	62,5
Высота, мм	$h = (2 h_a^* + c^*)m$	8,5
Толщина, мм	$s_y = 0.5\pi m$	4,81

Таблица 3.2 –Рейка

Параметр	Обозначения и расчетные формулы	Численное значение
Ширина, мм	B	32
Высота, мм	H	64
Нарезанная длина, мм	L	52
Шаг зубьев, мм	$p_n = \pi m$	9,52
Количество зубьев	$z = L/p_n + 0.5$	8
Высота, мм	$h = (2 h_a^* + c^*) m$	8,5
Толщина, мм	$s_y = 0.5 \pi m$	4,81

### 3.2 Расчет кинематики захвата

Кинематика включает две губки, конструктивно соединенные с зубчатыми секторами, взаимодействующими с реечным механизмом.

Определим координаты точки С захвата:

$$x_C = L \cos(\gamma), \quad y_C = AE - L \sin(\gamma) \quad (3.14)$$

При этом в зависимости от диаметра d:

$$x_C = L \cos(x_D/d), \quad y_C = AE - L \sin(x_D/d) \quad (3.15)$$

Тогда линейная скорость точки С захвата:

$$x_C = -L x_D \sin(x_D/d) / d; \quad y_C = -L x_D \cos(x_D/d) / d \quad (3.16)$$

Абсолютная скорость:

$$v_C = \sqrt{x_C^2 + y_C^2} = \frac{x_D \cdot L}{d} \quad (3.17)$$

Скорость передвижения тяги цилиндра не более 0,5 м/с, тогда скорость перемещения губки (т. С):

$$v_C = \frac{0.5 \cdot 0.165}{0.07} = 1.178 \text{ м/с}$$

Ее угловая скорость:

$$\omega = v/L = 7.139 \text{ об/с}$$

Максимальное расстояние, на которое перемещается тяга, чтобы раскрыть губки на угол  $\gamma_{\text{отк}} = 31^\circ$ :

$$x_D(\gamma_{\text{отк}}) = \gamma_{\text{отк}} d / 360 \quad (3.18)$$

$$H = x_D(\gamma_{отк}) = \gamma_{отк} d / 360 = 18,055 \text{ мм}$$

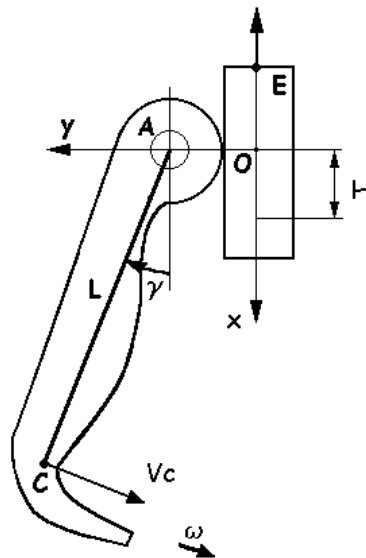


Рисунок 3.2 – Схема расчета скорости перемещения губки

### 3.3 Силовой расчет самоцентрирующего захватного устройства

В данном разделе рассчитаем основные силы и моменты, действующие в узлах захватного устройства.

#### 3.3.1 Расчет нагрузки от веса детали

Захват удерживает деталь с помощью запирающихся губок, что ограничивает действия сил трения. Пусть центр тяжести изделия принадлежит захвату.

По известной массе заготовки ( $m = 1.98 \text{ кг}$ ) определим ее вес:

$$F_T = m * g = 1.98 \text{ кг} * 9.81 \text{ м/с}^2 = 19,4238 \text{ Н} \quad (3.19)$$

Для учета влияния инерционных сил введем коэффициенты динамичности  $K_D$  и запаса  $K_3$ . Принимаем  $K_D = 1,5$ ,  $K_3 = 1,7$ .

Тогда вес:

$$Q = F_T * K_D * K_3 = 19.4238 \text{ Н} * 1.5 * 1.6 = 44.9 \text{ Н} \quad (3.20)$$

### 3.3.2 Расчет нагрузок в местах контакта изделия и губок

Рассчитаем нагрузку:

$$N = \frac{R}{2 \cdot (\sin(\alpha_{\max}) + \mu^* \cos(\alpha_{\max}))} \quad (3.21)$$

где  $R$  – сила реакции,  $R=0$ ,

$\mu$  – коэффициент трения губки о деталь,  $\mu=0.13$ ,

$\alpha_{\max}$  – угол контакта губок с изделием,  $\alpha_{\max}=65,89^\circ$

Тогда  $N=98,347\text{Н}$

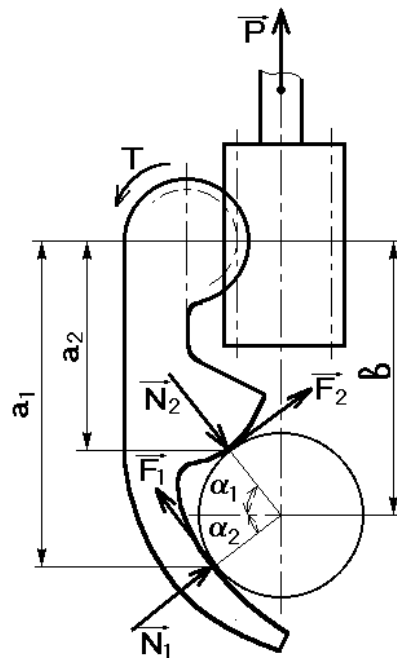


Рисунок 3.3 – Схема расчета реакций

### 3.3.3 Расчет крутящего момента на зубчатом секторе

$$M = N_1 a_1 [\cos(\alpha_1) - \mu \sin(\alpha_1)] + N_2 a_2 [\cos(\alpha_2) + \mu \sin(\alpha_2)], \quad (3.22)$$

где  $a_i$  – расстояние от центра зубчатого сектора до точки контакта с изделием:

Тогда  $M = 13.986 \text{ Н м}$

### 3.4 Расчет усилия привода захвата

$$P = 2M / m z_1 \eta, \quad (3.23)$$

где  $m$  – параметр зацепления,

$z_1$ —количество зубьев сектора,  $z_1=24$ ,

$\eta$ —к.п.д. захвата.

Тогда

$$P = 2 * 13.986 / 3 * 10^{-3} * 24 * 0.95 = 550 \text{ (Н)}$$

### 3.5 Расчет прочности захвата

Необходимо определить выносливость и долговечность захвата.

Возникающие при работе усилия могут повредить поверхность детали.

Необходимо, что усилия контакта были меньше допустимых  $\sigma_{нр}$ .

Определим напряжения контакта:

$$\sigma_{н1} = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot N_1 \cdot E_{нр}}{h} \left( \frac{2}{D_{\max}} + \frac{1}{R_1} \right)}, \quad (3.24)$$

$$\sigma_{н2} = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{N_2 \cdot E_{нр}}{h} \left( \frac{2}{D_{\max}} - \frac{1}{R_2} \right)},$$

где  $h$ — ширина губки,

$E_{нр}$ — модуль упругости:

$$E_{нр} = \frac{2 \cdot E_{заг} \cdot E_{Г}}{E_{заг} + E_{Г}}, \quad (3.25)$$

где  $E_{заг}=2 \cdot 10^5$  МПа— модуль упругости заготовки,

$E_{Г}=2.1 \cdot 10^5$  МПа — модуль упругости губки.

Тогда  $E_{нр} = 2.049 \text{ н/см}^2$ .

$$\sigma_{н1} = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 98.347 \text{ н} \cdot 2.049 \cdot 10^5 \text{ МПа}}{0.015 \text{ м}} \left( \frac{2}{0.014 \text{ м}} + \frac{1}{0.008 \text{ м}} \right)} = 3.546 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{н2} = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{28.407 \text{ н} \cdot 2.049 \cdot 10^5 \text{ МПа}}{0.03 \text{ м}} \left( \frac{2}{0.014 \text{ м}} - \frac{1}{0.019 \text{ м}} \right)} = 2.574 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения контакта при статической работе:

$$\sigma_{нр} = \frac{\sigma_T}{S} = \frac{25 \text{ МПа}}{1.8}, \quad (3.26)$$

где

$\sigma_T$  – предел текучести материала изделия,  $\sigma_T = 25$  МПа,

$S$  – коэффициент запаса,  $S = 1,8$ .

Тогда  $\sigma_{нр} = 13,889$  МПа.

Рассчитаем прочность рейки на изгиб.

$$\sigma_{и} = \frac{2 \cdot Y_F \cdot K \cdot M}{z_1 \cdot m^3 \cdot \psi_m} < [\sigma]_{и} , \quad (3.27)$$

где

$Y_F = 3,85$  – коэффициент прочности зуба;

$K = 2,1$  – коэффициент динамического запаса;

$\psi_m = 8$  – коэффициент ширины рейки.

$$\sigma_{и} = \frac{2 \cdot 3,85 \cdot 2,1 \cdot 13,986 \text{ Н} \cdot \text{м}}{24 \cdot (3 \cdot 10^{-3} \text{ м})^3 \cdot 8} = 43,625 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа}$$

В итоге прочность рейки достаточна.



## 4 Разработка многоуровневой системы управления ГАК

Внедрение гибких автоматизированных систем в процесс производства увеличивает требования к средствам управления производством. Необходимость решать проблемы диспетчеризации и оперативного управления работой ГАК, поиска резидентных выходов из нештатных ситуаций приводит к разработке многоуровневых автоматизированных систем управления гибкими комплексами.

Эффективной является многоуровневая система управления. На нижнем уровне этой системы находятся локальные системы управления станками и транспортными устройствами вместе с их исполнительными устройствами и датчиками. На среднем уровне – промышленный контроллер, синхронизирующий работу управляющих устройств нижнего уровня и анализирующий безопасность работы всего гибкого автоматизированного комплекса. Верхний уровень управления обеспечивает оперативное управление технологическим процессом всего комплекса, а также осуществлять графическое отображение хода технологического процесса.

### 4.1 Задачи разработки системы управления ГАК

Разработка системы управления позволяет решить несколько задач:

- обеспечение оперативного сопровождения техпроцесса изготовления изделия,
- исключение, а в случае возникновения оперативное устранение аварий, а также графическое отображение состояния технологического оборудования,
- соблюдение заданного режима работы ГАК в зависимости от производственных ситуаций путем подачи управляющих сигналов на системы управления нижнего уровня, а затем информации на операторский пульт диспетчера.

#### 4.2 Режимы штатной работы систем управления нижнего уровня

Для каждого оборудования определим штатные режимы систем управления нижнего уровня.

Системы управления обрабатывающего оборудования после получения команд от промышленного контроллера самостоятельно производят следующие действия:

- начало обработки,
- обработку детали,
- окончание обработки,
- выдача контроллеру верхнего уровня сигнала об окончании работы.

Система управления промышленного робота при поступлении команды промышленного контроллера самостоятельно производит следующие действия:

- загрузка и разгрузка технологического оборудования,
- загрузка и разгрузка транспортного оборудования,
- переориентацию детали,
- загрузку и разгрузку бункерного загрузочного устройства,
- передвижение после обслуживания предыдущего оборудования к следующему.

#### 4.3 Ситуации нештатной работы систем управления нижнего уровня

Определим нештатные режимы систем управления нижнего уровня:

- наличие персонала или препятствий в зоне манипулирования робота,
- выход из строя приводов, обрабатывающего инструмента или приспособлений основного технологического оборудования,
- выход из строя приводов или захватных устройств роботов,
- выход из строя бункерно-загрузочного устройства,
- выход из строя приводов конвейеров,
- выход из строя системы подачи сжатого воздуха.

#### 4.4 Разработка модели управления системы управления ГАК

Для создания модели процесса управления разработаем математическую модель, состоящую из зависимостей, абстрактно описывающих рассматриваемый процесс управления.

Идентифицируем входные, аварийно-вспомогательные и выходные сигналы системы управления (таблицы 4.1, 4.2, 4.3).

Таблица 4.1 – Входные сигналы

№	Входные данные	Вид и тип сигнала			
		Да	$X_i$	Нет	$\overline{X_i}$
1	Разгрузка БЗУ роботом 9	Да	$X_1$	Нет	$\overline{X_1}$
2	Загрузка/разгрузка станка 2 роботом 9	Да	$X_2$	Нет	$\overline{X_2}$
3	Загрузка/разгрузка станка 3 роботом 9	Да	$X_3$	Нет	$\overline{X_3}$
4	Загрузка/разгрузка станка 4 роботом 9	Да	$X_4$	Нет	$\overline{X_4}$
5	Загрузка транспортера п/ф роботом 9	Да	$X_5$	Нет	$\overline{X_5}$
6	Разгрузка транспортера п/ф роботом 10	Да	$X_6$	Нет	$\overline{X_6}$
7	Загрузка/разгрузка станка 5 роботом 10	Да	$X_7$	Нет	$\overline{X_7}$
8	Загрузка/разгрузка станка 6 роботом 10	Да	$X_8$	Нет	$\overline{X_8}$
9	Загрузка отводящего транспортера Роботом 10	Да	$X_9$	Нет	$\overline{X_9}$
10	Закрит захват робота 9	Да	$X_{10}$	Нет	$\overline{X_{10}}$
11	Закрит захват робота 10	Да	$X_{11}$	Нет	$\overline{X_{11}}$
12	Есть заготовка для разгрузки БЗУ	Да	$X_{12}$	Нет	$\overline{X_{12}}$
13	Есть деталь для загрузки транспортера	Да	$X_{13}$	Нет	$\overline{X_{13}}$
14	Есть деталь для разгрузки транспортера	Да	$X_{14}$	Нет	$\overline{X_{14}}$
15	Есть заготовка в приспособлении станка 2	Да	$X_{15}$	Нет	$\overline{X_{15}}$
16	Есть заготовка в приспособлении станка 3	Да	$X_{16}$	Нет	$\overline{X_{16}}$
17	Есть заготовка в приспособлении станка 4	Да	$X_{17}$	Нет	$\overline{X_{17}}$
18	Есть заготовка в приспособлении станка 5	Да	$X_{18}$	Нет	$\overline{X_{18}}$
19	Есть заготовка в приспособлении станка 6	Да	$X_{19}$	Нет	$\overline{X_{19}}$
20	Окончание обработки на станке 2	Да	$X_{20}$	Нет	$\overline{X_{20}}$
21	Окончание обработки на станке 3	Да	$X_{21}$	Нет	$\overline{X_{21}}$
22	Окончание обработки на станке 4	Да	$X_{22}$	Нет	$\overline{X_{22}}$
23	Окончание обработки на станке 5	Да	$X_{23}$	Нет	$\overline{X_{23}}$
24	Окончание обработки на станке 6	Да	$X_{24}$	Нет	$\overline{X_{24}}$
25	Есть деталь на отводящем транспортере	Да	$X_{25}$	Нет	$\overline{X_{25}}$

Таблица 4.2 – Аварийные и вспомогательные сигналы

№	Входные сигналы	Вид и тип сигнала			
		Да	$\overline{X}$	Нет	$X$
26	Приводы робота 9 исправны	Да	$\overline{X_{26}}$	Нет	$X_{26}$
27	Приводы робота 10 исправны	Да	$\overline{X_{27}}$	Нет	$X_{27}$
28	Захват робота 9 исправен	Да	$\overline{X_{28}}$	Нет	$X_{28}$
29	Захват робота 10 исправен	Да	$\overline{X_{29}}$	Нет	$X_{29}$
30	Станок 2 исправен	Да	$\overline{X_{30}}$	Нет	$X_{30}$
31	Станок 3 исправен	Да	$\overline{X_{31}}$	Нет	$X_{31}$
32	Станок 4 исправен	Да	$\overline{X_{32}}$	Нет	$X_{32}$
33	Станок 5 исправен	Да	$\overline{X_{33}}$	Нет	$X_{33}$
34	Станок 6 исправен	Да	$\overline{X_{34}}$	Нет	$X_{34}$
35	Транспортер исправен	Да	$\overline{X_{35}}$	Нет	$X_{35}$
36	Отводящий транспортер исправен	Да	$\overline{X_{36}}$	Нет	$X_{36}$
37	Бункерно-загрузочное устройство исправно	Да	$\overline{X_{37}}$	Нет	$X_{37}$
38	Система подачи сжатого устройства исправна	Да	$\overline{X_{38}}$	Нет	$X_{38}$
39	В рабочей зоне есть посторонние	Да	$X_{39}$	Нет	$\overline{X_{39}}$
40	Техпроцесс остановлен оператором	Да	$X_{40}$	Нет	$\overline{X_{40}}$
41	Деталь готова к перемещению в станок 3	Да	$X_{41}$	Нет	$\overline{X_{41}}$
42	Деталь готова к перемещению в станок 4	Да	$X_{42}$	Нет	$\overline{X_{42}}$

Таблица 4.3 – Выходные сигналы

№	Описание выходных данных	Вид и тип сигнала			
		Да	$Y$	Нет	$\overline{Y}$
1	Станок 2 загружен	Да	$Y_1$	Нет	$\overline{Y_1}$
2	Станок 3 загружен	Да	$Y_2$	Нет	$\overline{Y_2}$
3	Станок 4 загружен	Да	$Y_3$	Нет	$\overline{Y_3}$
4	Станок 5 загружен	Да	$Y_4$	Нет	$\overline{Y_4}$
5	Станок 6 загружен	Да	$Y_5$	Нет	$\overline{Y_5}$
6	Станок 2 разгружен	Да	$Y_6$	Нет	$\overline{Y_6}$
7	Станок 3 разгружен	Да	$Y_7$	Нет	$\overline{Y_7}$
8	Станок 4 разгружен	Да	$Y_8$	Нет	$\overline{Y_8}$
9	Станок 5 разгружен	Да	$Y_9$	Нет	$\overline{Y_9}$
10	Станок 6 разгружен	Да	$Y_{10}$	Нет	$\overline{Y_{10}}$
11	БЗУ разгружено	Да	$Y_{11}$	Нет	$\overline{Y_{11}}$
12	Станок 2 работает	Да	$Y_{12}$	Нет	$\overline{Y_{12}}$
13	Станок 3 работает	Да	$Y_{13}$	Нет	$\overline{Y_{13}}$



Таблица 4.3 – Выходные сигналы (продолжение)

№	Описание выходных данных	Вид и тип сигнала			
		Да	$Y_{i}$	Нет	$\overline{Y_{i}}$
14	Станок 4 работает	Да	$Y_{14}$	Нет	$\overline{Y_{14}}$
15	Станок 5 работает	Да	$Y_{15}$	Нет	$\overline{Y_{15}}$
16	Станок 6 работает	Да	$Y_{16}$	Нет	$\overline{Y_{16}}$
17	Переустанов детали в станке 3	Да	$Y_{17}$	Нет	$\overline{Y_{17}}$
18	Переустанов детали в станке 4	Да	$Y_{18}$	Нет	$\overline{Y_{18}}$
19	Перемещение п/ф транспортером	Да	$Y_{19}$	Нет	$\overline{Y_{19}}$
20	Загрузка п/ф на транспортер	Да	$Y_{20}$	Нет	$\overline{Y_{20}}$
21	Разгрузка п/ф с транспортера	Да	$Y_{21}$	Нет	$\overline{Y_{21}}$
22	Загрузка отводящего транспортера деталью	Да	$Y_{22}$	Нет	$\overline{Y_{22}}$
23	Аварийная остановка ГАК	Да	$Y_{23}$	Нет	$\overline{Y_{23}}$

Интерпретацию модели проведем путем составления логических уравнений:

$$Y_1 = X_2 * X_{10} * \overline{X_{15}} * \overline{X_{28}} * \overline{X_{26}}$$

$$Y_2 = X_3 * X_{10} * \overline{X_{16}} * \overline{X_{28}} * \overline{X_{26}}$$

$$Y_3 = X_4 * X_{10} * \overline{X_{17}} * \overline{X_{28}} * \overline{X_{26}}$$

$$Y_4 = X_7 * X_{11} * \overline{X_{18}} * \overline{X_{29}} * \overline{X_{27}}$$

$$Y_5 = X_8 * X_{11} * \overline{X_{19}} * \overline{X_{29}} * \overline{X_{27}}$$

$$Y_6 = X_2 * \overline{X_{10}} * X_{15} * \overline{X_{16}} * X_{20} * \overline{X_{28}} * \overline{X_{26}}$$

$$Y_7 = X_3 * \overline{X_{10}} * X_{16} * \overline{X_{17}} * X_{21} * \overline{X_{28}} * \overline{X_{26}} * \overline{X_{30}} * \overline{X_{41}}$$

$$Y_8 = X_4 * \overline{X_{10}} * X_{17} * X_{22} * \overline{X_{28}} * \overline{X_{26}} * \overline{X_{31}} * \overline{X_{42}}$$

$$Y_9 = X_7 * \overline{X_{11}} * X_{18} * X_{23} * \overline{X_{29}} * \overline{X_{27}} * \overline{X_{32}} * (X_{23} \vee X_{23})$$

$$Y_{10} = X_8 * \overline{X_{11}} * X_{19} * \overline{X_{16}} * X_{24} * \overline{X_{29}} * \overline{X_{27}} * \overline{X_{33}}$$

$$Y_{11} = X_1 * \overline{X_{10}} * X_{12} * \overline{X_{15}} * \overline{X_{28}} * \overline{X_{26}} * \overline{X_{37}}$$

$$Y_{12} = X_{15} * \overline{X_{30}} * \overline{X_{38}} * \overline{X_{20}}$$

$$Y_{13} = X_{16} * \overline{X_{31}} * \overline{X_{38}} * \overline{X_{21}}$$

$$Y_{14} = X_{17} * \overline{X_{32}} * \overline{X_{38}} * \overline{X_{22}}$$

$$Y_{15} = X_{18} * \overline{X_{33}} * \overline{X_{38}} * \overline{X_{24}}$$

$$Y_{16} = X_{19} * \overline{X_{34}} * \overline{X_{38}} * \overline{X_{25}}$$

$$Y_{17} = X_3 * \overline{X_{10}} * X_{16} * X_{21} * \overline{X_{26}} * \overline{X_{28}} * X_{40}$$

$$Y_{18} = X_4 * \overline{X_{10}} * X_{17} * X_{22} * \overline{X_{26}} * \overline{X_{28}} * X_{41}$$

$$Y_{19} = X_{13} * \overline{X_{14}} * \overline{X_{35}}$$

$$Y_{20} = X_5 * X_{10} * \overline{X_{13}} * \overline{X_{26}} * \overline{X_{28}} * \overline{X_{17}}$$

$$Y_{21} = X_6 * \overline{X_{11}} * X_{26} * \overline{X_{27}} * \overline{X_{29}}$$

$$Y_{22} = X_9 * X_{11} * \overline{X_{25}} * \overline{X_{27}} * \overline{X_{29}} * \overline{X_{36}}$$

$$Y_{23} = X_{26} \vee X_{27} \vee X_{28} \vee X_{29} \vee X_{30} \vee X_{31} \vee X_{32} \vee X_{33} \vee X_{34} \vee X_{35} \vee X_{36} \vee X_{37} \vee X_{38} \vee X_{39} \vee X_{40}$$

#### 4.5 Разработка блок-схемы алгоритма системы управления нижнего уровня

Каждый цикл начинается с проверки поступления сигнала включения ГАК и отсутствия персонала и препятствий в рабочей зоне оборудования.

Когда система управления работает в цикле, последовательно проверяются условия запуска подпрограмм. Если условия запуска подпрограммы выполнены, производится проверка работоспособности оборудования.

Если все проверки выполнены, то происходит запуск подпрограммы. В противном случае проверяется условие запуска следующей подпрограммы.

Когда весь цикл выполнен, проводится диагностика состояния оборудования. При возникновении аварийной ситуации диспетчеру поступает сигнал о неисправности, а ГАК останавливается.

Блок-схема алгоритма оперативного управления ГАК представлена в графической части.

#### 4.6 Выбор аппаратных и коммуникационных средств системы управления

Аппаратным средством среднего уровня выбираем программируемый логический контроллер Siemens Simatic S7-300. Указанный контроллер используется для построения систем промышленной автоматизации средней степени сложности.

Контроллер имеет модульную конструкцию. Он комплектуется следующими модулями.

- модуль ЦП CPU 315-2,
- модуль питания PS307-10A,
- коммуникационный процессор CP343-1 (Industrial Ethernet),
- коммуникационный процессор CP342-5 1 (Profibus-DP),
- коммуникационный процессор CP342-2 (AS Interface).

Для контроля работы основного и вспомогательного технологического оборудования, транспорта, роботов (состояние и исправность оборудования, наличие и правильность положения заготовок и деталей) необходимы устройства снятия информации (датчики).

Загрузка приспособлений оборудования контролируется датчиками SIMATIC PXI индуктивного бесконтактного типа.

Загрузка транспортеров деталями контролируется датчиками технического зрения SIMATIC VS 120, сравнивающими данную ориентацию детали с образцовой, записанной в памяти.

Контроль работоспособности приводов оборудования осуществляется оптоэлектронными угловыми датчиками SIMODRIVE Sensors. Контролируются перемещения, скорость, углы поворота подвижных частей оборудования.

Для обеспечения безопасности функционирования ГАК необходимо контролировать наличие персонала и препятствий в зоне подвижности роботов и рабочей зоне оборудования. Это осуществляется датчиками FS 200. Это световой барьер, состоящий из излучателя и приемника. Датчики подключаются к ПЛК посредством AS-интерфейса.

Для обеспечения взаимодействия в сети нижнего уровня используем сеть PROFIBUS-DP. К этой сети подключаются локальные системы управления



оборудованием и системы управления роботов, а также станции распределенного ввода вывода SimaticET200 для подключения датчиков к PROFIBUS-DP.

Промышленная сеть Industrial Ethernet организует верхний уровень системы управления ГАК. Сеть применяется для обмена данными с диспетчерским компьютером оператора и связи с цеховым уровнем управления.

Подключение датчиков FS 200 и SIMATICVS 120 осуществляется через AS-интерфейс (AS-i). AS-i является сетью полевого уровня для объединения различных датчиков и приводов.

В бакалаврской работе разработана система управления ГАК, состоящая из трех уровней.

На нижнем уровне находятся локальные системы управления технологического оборудования, системы управления роботов и датчики, контролирующие состояние оборудования ГАК, объединенные сетью Profibus-DP. На этом же уровне датчики светового барьера и технического зрения подключаются к AS-интерфейсу.

Средний уровень управления представлен сетью Industrial Ethernet, организующей взаимодействие программируемого логического контроллера с верхним уровнем управления и, соответственно, автоматизированным рабочим местом оператора. Возможно подключение программатора к сетям ProfibusDP и Industrial Ethernet, что обеспечивает перепрограммирование и переналадку локальных систем оборудования.

Верний уровень управления представлен автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора, используемым для диспетчеризации ГАК, его включения и выключения и аварийного останова.

## 5. Разработка человеко-машинного интерфейса

Для повышения эффективности диспетчерского управления и сбора информации о функционировании ГАК в реальном времени применяются SCADA-системы. Для вывода информации на монитор АРМ, контроля процесса функционирования ГАК оператором и управления им при необходимости, требуется разрабатывать человеко-машинный интерфейс (HMI – human-machineinterface).

Используем для разработки программный пакет SimaticWinCC.

Основной экран содержит кнопки включения, выключения ГАК, аварийного останова, сигнал аварии и обеспечивает переход к другим экранам.

При помощи основного меню осуществляется переход к другим экранам. Также здесь расположены кнопки включения и выключения работы ГАК, аварийного останова и индикатор возникновения нештатной ситуации.

В меню Tools вызываем Simpleobjects, затем Button (рисунок 5.1) и создаем требуемое число кнопок.

Двойным щелчком по кнопке вызовем свойства и в поле «TextOFF» (рисунок 5.2) введем название. Повторим для всех кнопок основного меню.

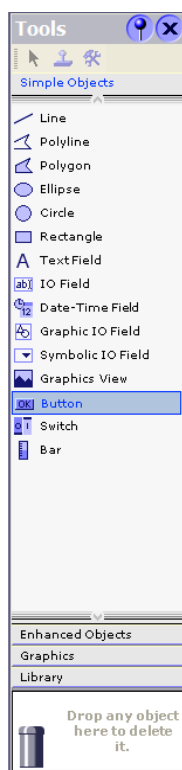


Рисунок 5.1 – Окно Tools

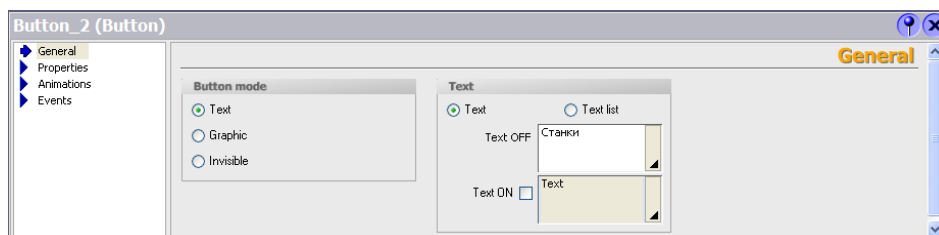


Рисунок 5.2 – Название кнопки

В этом же окне, во вкладке Events (рисунок 5.3.) назначаем событие, которое должно произойти при нажатии кнопки (переход на другой экран).

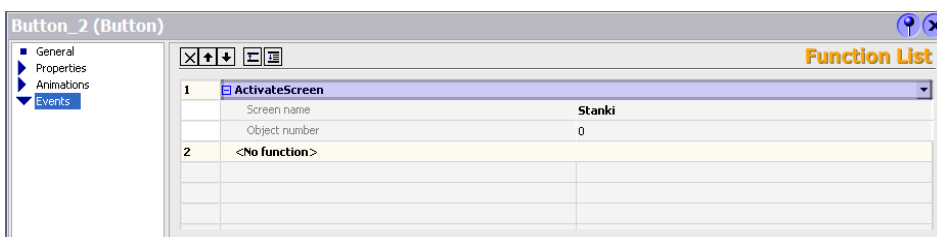


Рисунок 5.3 – Свойства кнопки, поле Events

Для создания заголовка экрана в окне Tools выбираем пункт TextField (рисунок 5.1). Аналогичное действие сделаем для создания комментариев к кнопкам.

В окне Tools (рисунок 5.1) выбираем пункт меню Rectangle и разграничиваем области основного меню. В свойствах прямоугольника выбираем цвет заливки (Fillcolor) (рисунок 5.4) и слой (Layer) (рисунок 5.5).

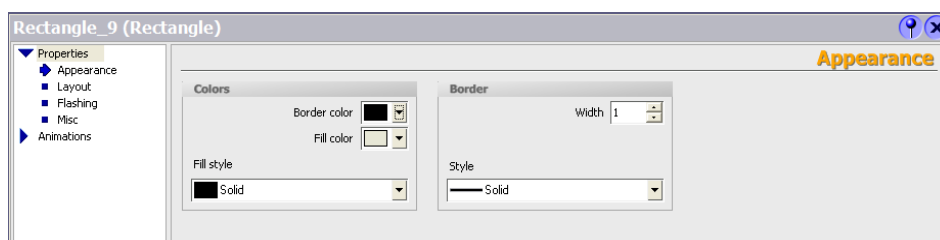


Рисунок 5.4 – Свойства Rectangle. Выбор цвета заливки

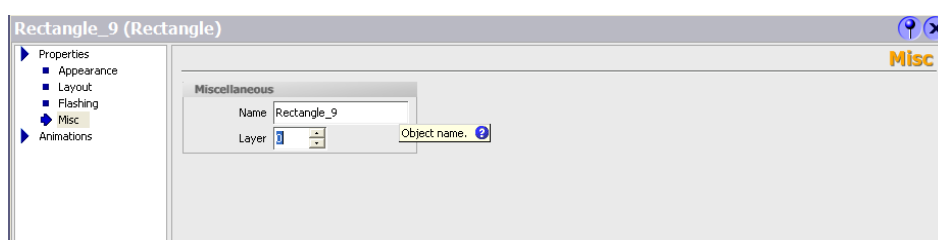


Рисунок 5.5 – Свойства Rectangle. Настройка слоя объекта

Для того, чтобы создать сигнал аварии, используем пункт меню Circleокна Tools (рисунок 5.1). В свойствах Circleвкладки Animations определяем соответствие значения и цвета: 0 – красный, 1 – зеленый. Изменение значения происходит при возникновении аварии (экран аварийных сигналов).

При разработке экрана состояния оборудования учитываем удобство пользователя. Необходима также разработка панели навигации для быстрого переключения между экранами состояния оборудования. На этом же экране размещается аварийный сигнал для уведомления оператора.

- в пункте меню Button (рисунок 5.1) создаем необходимое количество кнопок,

- двойным щелчком вызываем свойства и в поле TextOFF (рисунок 5.2) вводим название кнопки, повторяем для всех кнопок основного меню,

- там же, во вкладке Events (рисунок 5.3) назначаем событие, происходящее при нажатии – переход на другой экран,

- в пункте Rectangle окна Tools (рисунок 5.1) обозначаем область панели навигации, в свойствах прямоугольника выбираем цвет заливки (FillColor) (рисунок 5.4) и слой (Layer) (рисунок 5.5).

В центральной части экрана состояния оборудования показываются сведения о состоянии оборудования, комментарии и информация для оператора.

При создании индикаторов состояния оборудования выбираем их цвет: 0 – белый, 1 – зеленый.

На экране аварийных сигналов цвета представляются как 1 – красный (оборудование неисправно), 0 – зеленый (оборудование исправно).

Далее на рисунках 5.7 – 5.12 представлены необходимые экраны интерфейса, соответствующие рациональной компоновке ГАК (рисунок 5.6).

ГАК осуществляет операции механической обработки техпроцесса изготовления шестерни. Обработка производится автономно, оператор осуществляет только мониторинг процесса. Перед началом работы заготовки загружаются в БЗУ; обработанные детали отводятся из зоны ГАК на конвейере. Промежуточное размещение и накопление полуфабрикатов осуществляется на транспортере ЛУК 200-800/4.

Для всех станков предусмотрена система удаления отходов производства. Для сбора и удаления стружки на участке используются скребковые транспортеры. Они располагаются под полом ГАК и осуществляют отвод стружки и СОЖ в цеховую систему очистки СОЖ. У станков в центре поворотно-делительных столов имеется отверстие – стружкосборник в виде желоба, в который стружка попадает вместе с СОЖ.

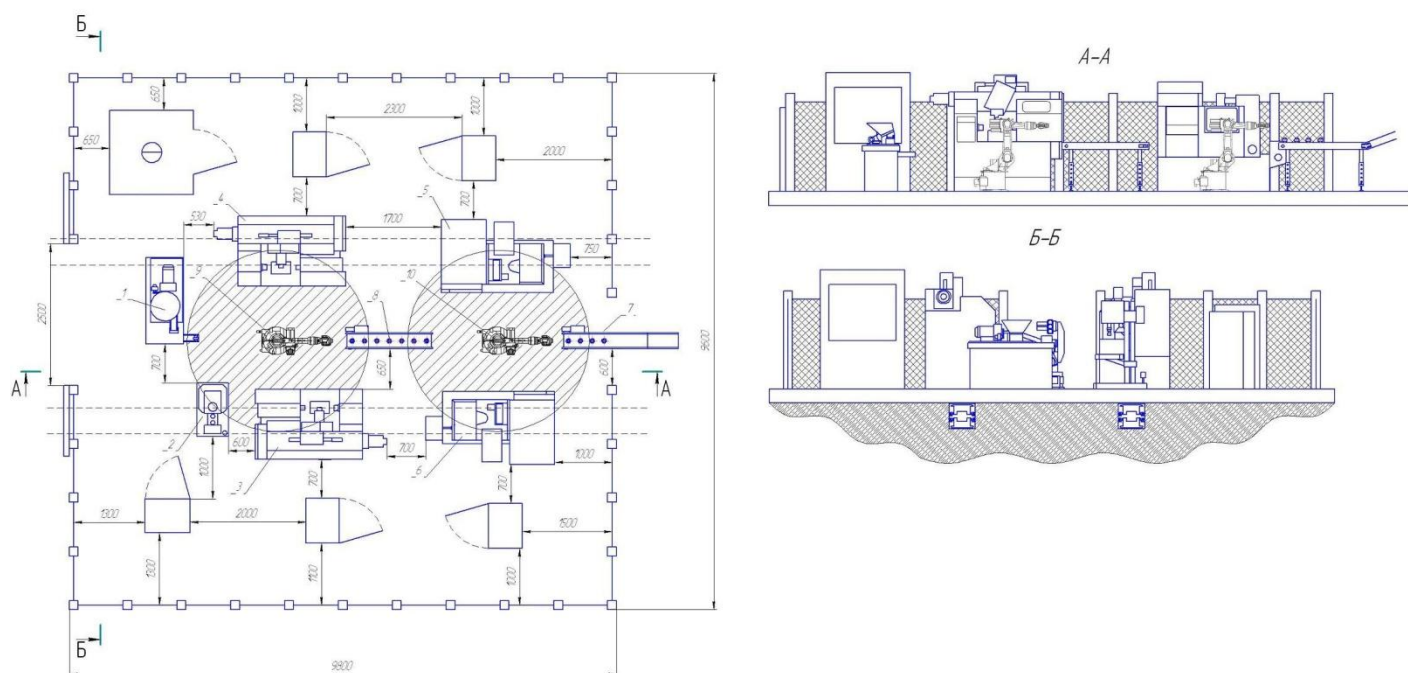


Рисунок 5.6 – Планировка ГАЗ

1 – бункерное загрузочное устройство, 2 – вертикально-сверлильный станок 2Т140, 3,4 – токарный многорезцовый автомат 1Н713, 2 шт., 5,6 – зубофрезерный станок 53В30П, 2 шт., 7,8 – универсальный транспортер ЛУК 200-800/4, 2 шт., 9,10 – промышленный робот КР 6-2, 2 шт.

Основная навигация осуществляется через экран основного меню, представленного на рисунке 5.7.

В левой части меню расположены кнопки перехода к экранам состояния роботов, станков и вспомогательного оборудования, а также к экрану выполняемых операций.

В правой части находится кнопка включения/выключения работы комплекса; при помощи этой кнопки также можно определить, включен комплекс в данный момент или нет.

Внизу экрана расположен индикатор возникновения нештатной ситуации и кнопка перехода к экрану просмотра аварийных сигналов, а также аварийный выключатель работы комплекса.

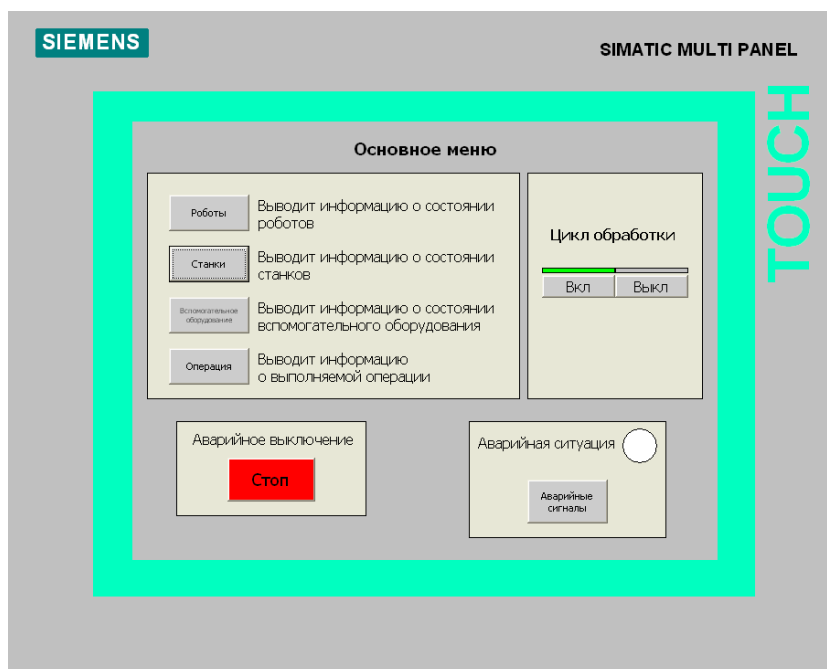


Рисунок 5.7 – Основное меню

Экран состояния роботов изображен на рисунке 5.8.

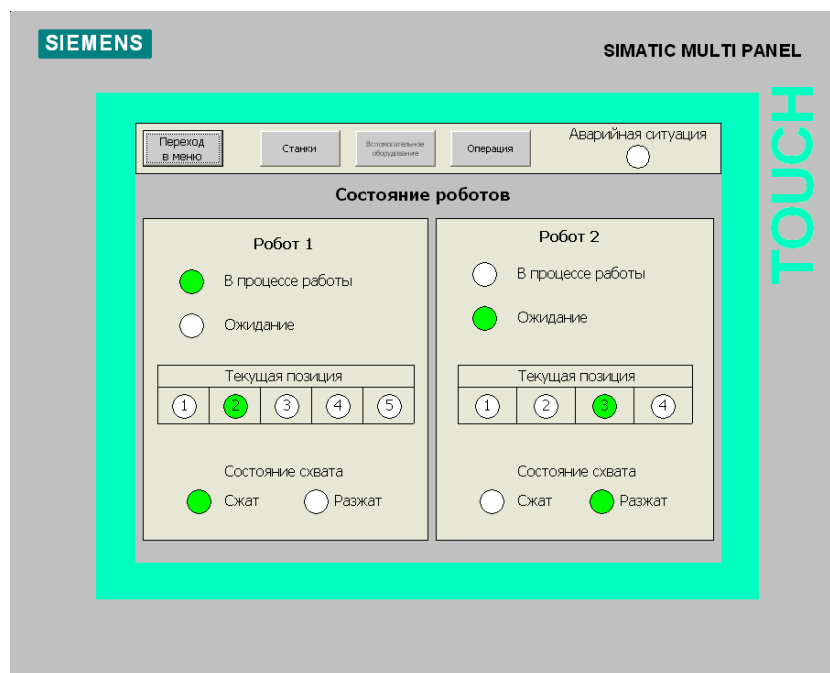


Рисунок 5.8 – Экран состояния роботов

В верхней части находится строка навигации, при помощи которой осуществляется возврат в основное меню или переход к другим экранам состояния. Также на ней расположен индикатор возникновения аварийной ситуации для своевременного оповещения оператора.

В центре отображается информация о роботах 1 и 2: занят робот или свободен, его текущая позиция и состояние схвата.

Экран состояния станков показан на рисунке 5.9.

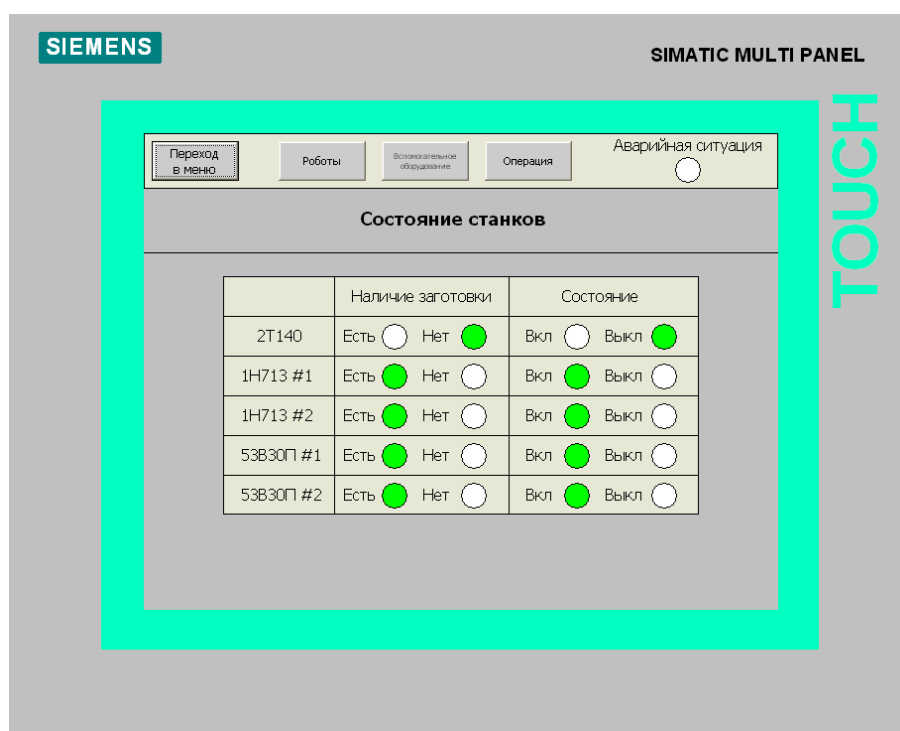


Рисунок 5.9 – Экран состояния станков

На данном экране также присутствует строка навигации, аналогичная расположенной на экране состояния роботов.

В центре отображается информация о текущем состоянии станков и о наличии/отсутствии заготовки в зажимном устройстве.

Экран состояния вспомогательного оборудования изображен на рисунке 5.10.

Как и на предыдущих двух, в верхней части этого экрана можно найти строку навигации.

В центре отображается информация о состоянии конвейеров (включен или выключен), а также о наличии детали на позициях разгрузки и загрузки.

Внизу находится индикатор наличия детали в БЗУ на позиции захвата.

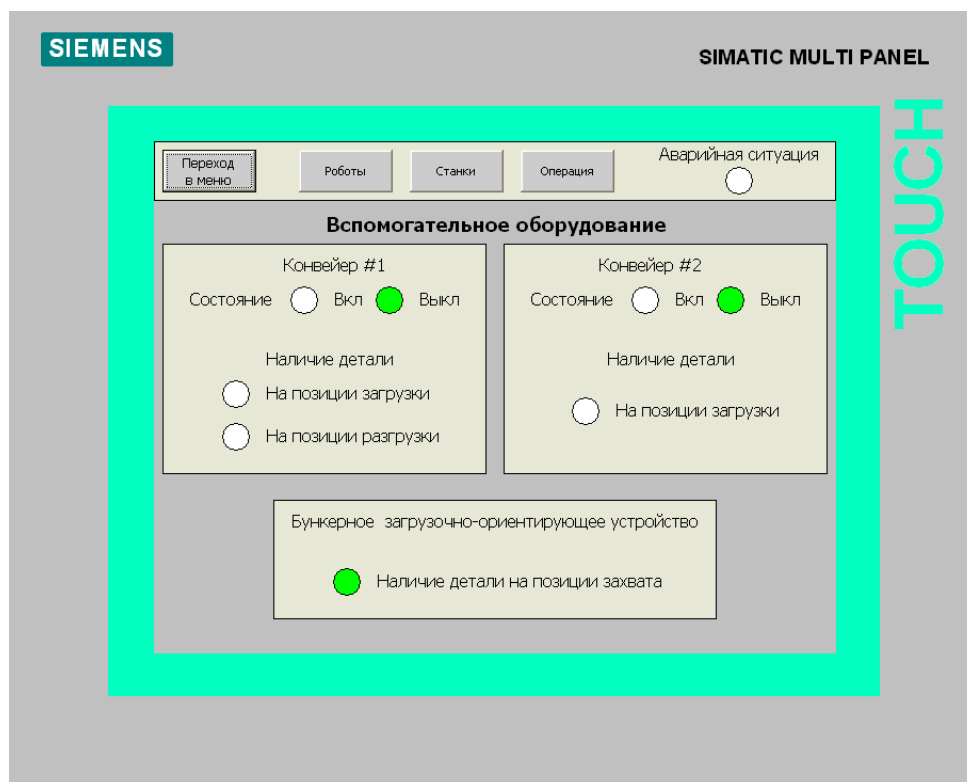


Рисунок 5.10 – Экран состояния вспомогательного оборудования

Экран выполняемых операций изображен на рисунке 5.11.

В верхней части расположена строка навигации, позволяющая осуществлять переход от одного экрана к другому.

В центре отображается информация о текущих процессах, происходящих в ГАК. Каждый индикатор соответствует выполняемой в данный момент подпрограмме. Так как одновременно может осуществляться несколько действий, на экране может гореть несколько индикаторов.



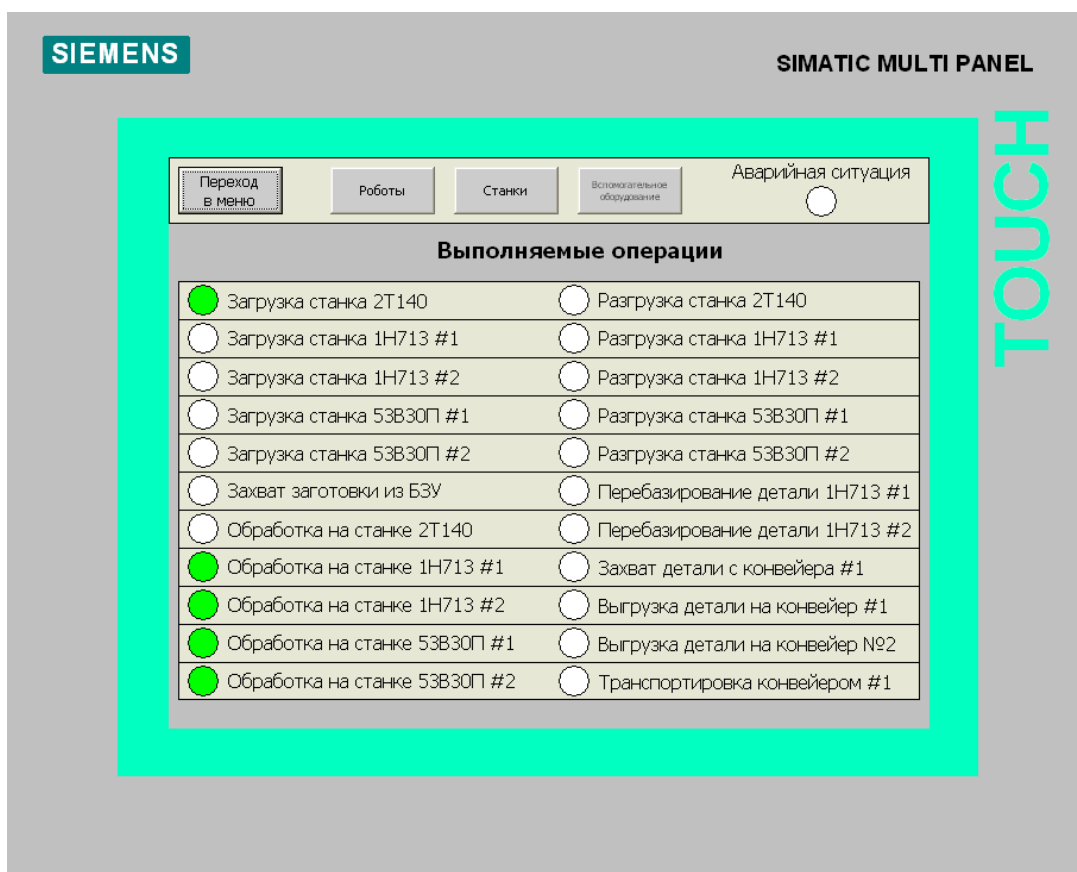


Рисунок 5.11 – Экран выполняемых операций

Экран аварийных сигналов изображен на рисунке 5.12.

Здесь оператор может просмотреть информацию об исправности всего оборудования, а также о наличии/отсутствии посторонних людей и предметов в рабочей зоне.

Как правило, информация на данном экране используется для определения источника возникшей нештатной ситуации, однако переход сюда может осуществляться в любое время.

Как и на предыдущих экранах, в верхней части этого расположена строка навигации.

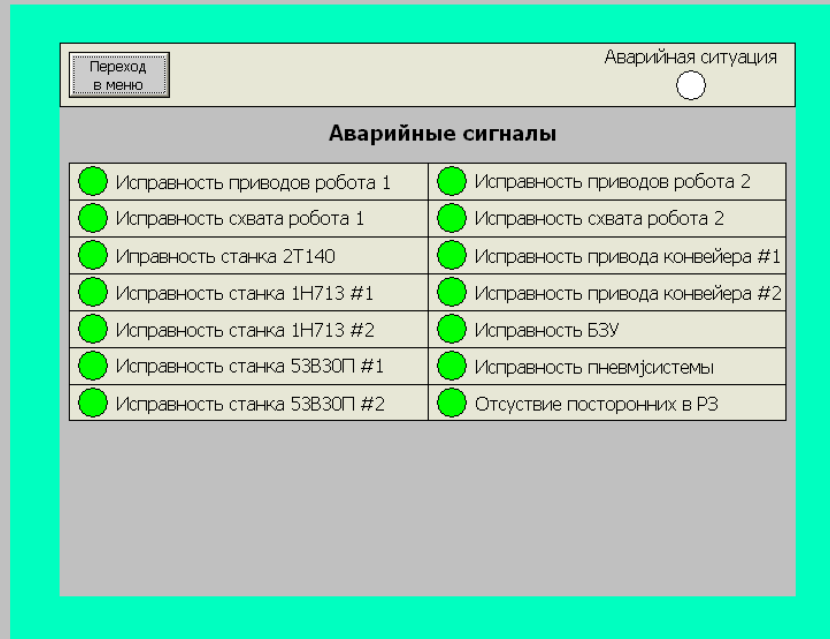


Рисунок 5.12 – Экран аварийных сигналов

## Заключение

В ходе выполнения бакалаврской работы произведена разработка технологического процесса для производства шестерни.

Спроектирован гибкий автоматизированный комплекс. При этом было исключено использование ручного труда при загрузке и разгрузке станков. Планировка ГАК проводилась с учетом требований производственной безопасности и доступности оборудования для обслуживания.

Разработана 3-ух уровневая система управления ГАК с выбором ее структуры, управляющих устройств и организации связи между ними.

В ходе выполнения данной бакалаврской работы поставленная цель и задачи выполнены.

## Список используемых источников

1. Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для студентов высших технических учебных заведений. - 7-е изд., перераб. - М.: Высшая школа, 1998. - 447 с.
2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб.пособие для машиностроительных специальностей вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1998. - 447 с.
3. Расчет и конструирование одноступенчатого зубчатого редуктора: Учеб.пособие / М.Ш.Мигранов, О.Ф. Ноготков, А.А.Сидоренко, Л.Ш. Шустер. - М.: Изд-во МАИ, 2002. - 125 с.
4. Допуски и посадки: Справочник в 2-х ч. / Под ред. В.Д. Мягкова, 6-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983.- 447 с.
5. В.И. Анурьев "Справочник конструктора-машиностроителя" том 1. - 2001. - 920 с.
6. В.И. Анурьев "Справочник конструктора-машиностроителя" том 2. - 2001. - 912 с.
7. В.К. Итбаев, Р.Г. Ахматвалиев, А.А. Сидоренко, Б.А. Беляев. Расчет зубчатых передач. Методические указания к выполнению курсового проектирования по дисциплине "Прикладная механика". - Уфа, 2009. - 35 с.
8. Расчет зубчатых передач. Методические указания к выполнению курсового проектирования по дисциплине "Прикладная механика". 4-е изд., испр. и доп. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: В.К. Итбаев, Р.Г. Ахматвалиев, А.А. Сидоренко, Б.А. Беляев. - Уфа, 2009. - 35 с.
9. Измерительные размеры зубчатых колес Сост.: О.Ф. Ноготков, В.Н. Рубцов, С. М. Минигалеев - Уфа, 2009. - 33 с.
10. СТО УГАТУ 016-2007. Графические и текстовые конструкторские документы. Требования к построению, изложению, оформлению. - Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2007. - 93 с.
11. Абдулханова, М. Технологии производства материалов и изделий и автоматизация технологических процессов на предприятиях дорожного строительства: учебное пособие / М. Абдулханова, В.А. Воробьев. — М.: Солон-пресс, 2014. — 564 с.
12. Безменов, В.С. Автоматизация процессов дозирования жидкостей в условиях малых производств / В.С. Безменов, В.А. Ефремов, В.В. Руднев. — М.: Ленанд, 2010. — 216 с.

13. Безменов, В.С. Автоматизация процессов дозирования жидкостей в условиях малых производств / В.С. Безменов, В.А. Ефремов, В.В. Руднев. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2010. — 216 с.
14. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ) / И.Ф. Бородин. — М.: КолосС, 2006. — 352 с.
15. Брюханов, В.Н. Автоматизация производства. / В.Н. Брюханов. — М.: Высшая школа, 2005. — 367 с.
16. Грекул, В.И. Автоматизация деятельности предприятия розничной торговли с использованием информационной системы MicrosoftDynamics NAV: Учебное пособие / В.И. Грекул, Н.Л. Коровкина, Д.А. Богословцев. — М.: Бином, 2014. — 182 с.
17. Дастин, Э. Тестирование программного обеспечения. Внедрение, управление и автоматизация / Э. Дастин, Д. Рэшка, Д. Пол; Пер. с англ. М. Павлов. — М.: Лори, 2013. — 567 с.
18. Евтушенко, С.И. Автоматизация и роботизация строительства: Учебное пособие / С.И. Евтушенко, А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, Д.Я. Паршин. — М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2013. — 452 с.
19. Ермоленко, А.Д. Автоматизация процессов нефтепереработки: Учебное пособие / А.Д. Ермоленко, О.Н. Кашин, Н.В. Лисицын; Под общ. ред. В.Г. Харазов. — СПб.: Профессия, 2012. — 304 с.
20. Ермоленко, А.Д. Автоматизация процессов нефтепереработки / А.Д. Ермоленко, О.Н. Кашин, Н.В. Лисицын и др... — Вологда: Инфра-Инженерия, 2012. — 304 с.
21. Зубарев, Ю.М. Автоматизация координатных измерений в машиностроении: Учебное пособие. 2-е изд., пер. и доп. / Ю.М. Зубарев, С.В. Косаревский. — СПб.: Лань, 2016. — 160 с.

22. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. — М.: Форум, 2012. — 224 с.

23. Капустин, Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. 2-е изд., стер. / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов. — М.: Высшая школа, 2007. — 415 с.

24. Ключев, А.С. Автоматизация настройки систем управления / А.С. Ключев, В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин. — М.: Альянс, 2015. — 272 с.

25. S. Mattsson, A. Fasth, J. Stahre. Describing Human-Automation Interaction in Production.

Chalmers University of Technology, Department of Product and Production Development,

Division of Production system, 2011

26. David B. Kaber, Jennifer M. Riley, Mica R. Endsley.

Department of Industrial Engineering North Carolina State University, 2001

27. Departamento de Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, 28040

Madrid, Spain

28. Kenjo, T., Sugawara, A. (2003), Stepping Motors and Microprocessor Control,

London, Oxford Clarendon Press.

29. Kalpakjian Serope. Manufacturing engineering and technology. — USA, Addison-Wesley

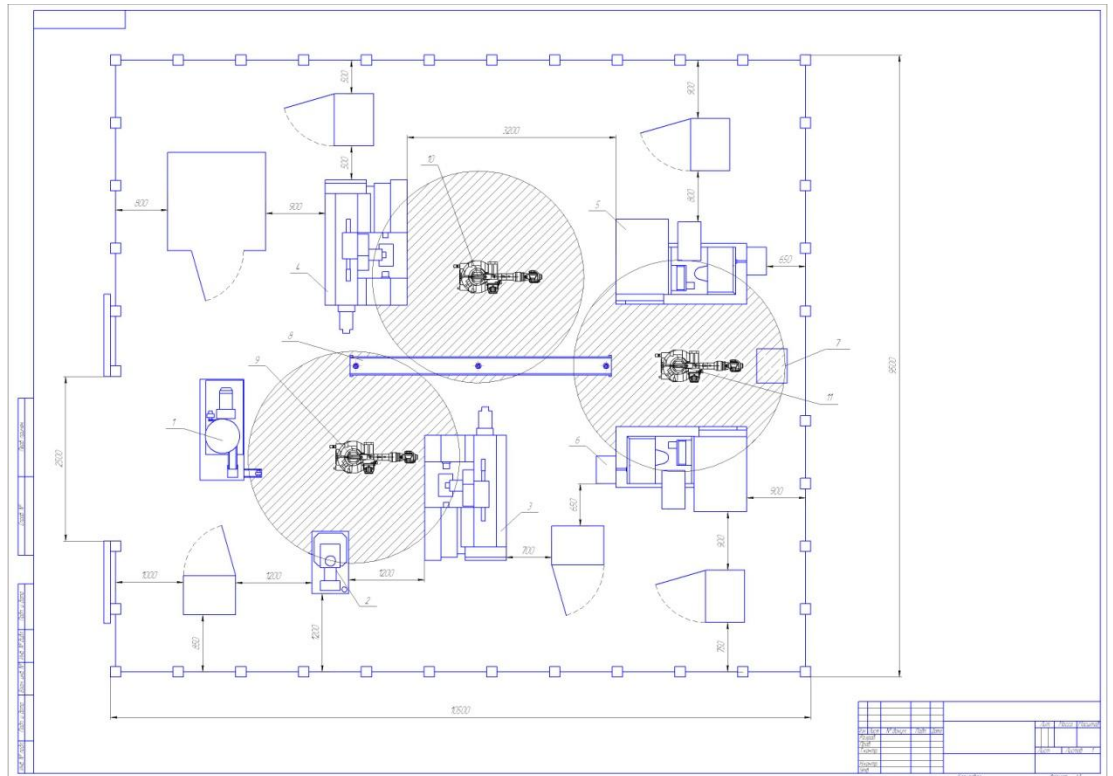
Publishing Company, Inc, 1999 – 1199 p.

# Г.А.К. Компонівка 2.

## Схема компоновки. Циклограмма.

Приложение А

### Схема компоновки



### Циклограмма

