

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

Институт энергетики и электротехники
(наименования 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 ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

| | | | |
|--------------|--|-------|------------------|
| Студент | <u>Ф.Ф. Шодибекова</u> (И.О. Фамилия) | _____ | (личная подпись) |
| Руководитель | <u>Д.Г. Токарев</u> (И.О. Фамилия) | _____ | (личная подпись) |
| Консультант | <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 бакалаврской работы

Тема данной выпускной работы: «Гибкий автоматизированный комплекс изготовления деталей типа тел вращения». Бакалаврская работа по направлению подготовки бакалавра 27.03.04 «Управление в технических системах»: - Тольятти, ТГУ, 2019.

Данная бакалаврская работа состоит из пояснительной записки на 54 стр., 5 таблиц, списка 23 источников литературы, в том числе 5 источников на иностранном языке и 6 листов графической части формата А1.

В бакалаврской работе был произведен анализ исходных технических характеристик станков и дополнительного оборудования для создания гибкого автоматизированного комплекса (ГАК), разработан автоматизированный технологический процесс обработки детали типа тела вращения (на примере ступицы) с расчетом припусков и режимов резания, спроектирован ГАК, разработана 2-х уровневая система управления ГАК на базе контроллера SIMATIC S7-300, составлена программа управления ГАК, и разработан процесс контроля состояния оборудования с возможностью вывода на экран текстовых сообщений по запросу пользователя.

Произведен расчет технико-экономических показателей. Оценка экономической эффективности проведена в сравнении с базовым (неавтоматизированным) вариантом. В результате условно-годовая экономия средств от внедрения спроектированного ГАК составит 434543,3 руб., срок окупаемости ГАК 10 лет.

Внедрение спроектированного ГАК приведёт к:

- повышению уровня автоматизации работ.
- повышению гибкости производственных систем.
- переходу на более высокий уровень организации производства.
- повышению эффективности производства в рамках ГПС и предприятия.

ABSTRACT

The title of the graduation work is Flexible Automated Complex for the Manufacture of Gears.

The work consists of an explanatory note on 54 pages, 5 tables, a list of 23 sources of literature, including 5 sources in a foreign language and 6 sheets of the graphic part of the A1 format.

The analysis of initial technical characteristics of machines and an additional equipment was made for creation of the flexible automated complex (FAC), the automated technological processing of a detail of type of an axially symmetrical body is developed (on the example of a nave) with calculation of allowances and modes of cutting, FAC is designed, the- 2 level control system of the FAC, based on the SIMATIC S7-300 controller was developed, the program of management FAC is made, and process of status monitoring of the equipment with a possibility of an output to the screen of text messages at the request of the user is developed.

Calculation of technical and economic indicators is made. The assessment of cost efficiency is carried out in comparison with basic (non-automated) option. As a result conditional and annual economy of means from the introduction designed SAC will make 434543.3 rub, a payback period of SAC is 10 years.

Introduction designed SAC can lead to:

- increase in level of automation of works,
- increase in flexibility of production systems,
- transition to higher level of the organization of production,
- increase in production efficiency within GPS and the enterprise.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 5 |
| 1 Разработка технологического процесса..... | 7 |
| 1.1 Обоснование типа производства и вида организации техпроцесса | 7 |
| 1.2 Выбор способа изготовления заготовки..... | 9 |
| 1.3 Обоснование выбора заготовки..... | 12 |
| 1.4 Разработка технологического маршрута обработки детали..... | 14 |
| 1.6 Расчет норм времени | 15 |
| 2 Проектирование ГАК..... | 19 |
| 1.7 Выбор основного технологического оборудования..... | 19 |
| 1.8 Выбор вспомогательного оборудования ГАК | 27 |
| 1.9 Размещение оборудования ГАК..... | 28 |
| 2.4 Составление алгоритма работы ГАК | 29 |
| 2.5 Расчет коэффициентов загрузки оборудования | 32 |
| 3 Разработка алгоритма управления ГАК..... | 33 |
| 3.1 Содержательная постановка задачи | 33 |
| 3.2 Общая формулировка задачи управления | 38 |
| 4 Регистрация аварийных сообщений..... | 39 |
| 4.1 Функциональное назначение | 39 |
| 4.2 Задачи компонентов системы Alarm Logging | 39 |
| 4.3. Настройка отображения..... | 40 |
| 4.4 Шаблон окна сообщения | 40 |
| 4.5 Задание параметров запуска..... | 41 |
| 5. Цифровая комплексная система автоматизации ГАК..... | 43 |
| 5.1 СЧПУ Sinumerik 840D | 43 |
| 5.2 СЧПУ Sinumerik 810D..... | 45 |
| 5.3 Привод SIMODRIVE 611D | 47 |
| Заключение | 50 |
| Список используемой литературы | 52 |

Введение

Современное производство невозможно без автоматизации технологических процессов с применением основного и вспомогательного технологического оборудования, реализующего производство различных деталей и сборку изделий.

Технологическое оборудование оснащается системами числового программного управления, контролирующими технологический процесс, обеспечивающими диагностику оборудования, контроль состояния его приспособлений, а также безопасность производства.

Технологический процесс производства сложных деталей включает несколько технологических операций, составляющих технологический маршрут изготовления деталей, реализуемых на различных единицах основного и вспомогательного технологического оборудования.

Для повышения производительности и качества технологического процесса необходимо обеспечить взаимодействие локальных систем управления технологическим оборудованием. Для этого необходимо сформировать систему управления автоматизированным комплексом оборудования, реализующую задачи управления всем комплексом технологического оборудования, контроль его взаимодействия и безопасной работы всего комплекса.

Проектирование ГАК базируется на анализе технологического процесса изготовления изделия. Построение технологического процесса во многом зависит от объективных факторов, характеризующих конкретное производство, таких как объем партии запуска, производительность, надежность обеспечения технологических и точностных параметров, занимаемая производственная площадь и т.д. Таким образом, проектирование автоматизированного технологического процесса изготовления изделия, а, следовательно, и ГАК является сложной многокритериальной задачей, успешное решение которой

требует разработки методов формализации процессов проектирования ГАК, моделирования процесса и оптимизации технической системы в целом.

1 Разработка технологического процесса

1.1 Обоснование типа производства и вида организации техпроцесса

Проектируемый гибкий автоматизированный комплекс предназначен для обработки тел вращения, причем их разновидность допускает обработку диаметров, значительно отличающихся по размеру. Типичным представителем такой детали является ступица.

Ступица предназначена для передачи крутящего момента от шлицевого хвостовика наружного шарнира привода колеса к диску колеса посредством четырех болтов, а также тормозному диску посредством двух направляющих шпилек.

Ступица относится к корпусным деталям второй группы – с гладкими внутренними цилиндрическими исполнительными поверхностями.

Ступица работает в условиях статических и динамических нагрузок от нулевого и знакопеременного циклов, в различных климатических условиях окружающей среды.

Деталь изготавливается штамповкой из стали АЦ40ХГНМ.

Сталь имеет повышенную обрабатываемость резанием.

Заготовка имеет удобные технологические базы на первых черновых операциях, возможность свободного подвода инструментов при изготовлении детали. Хотя геометрия детали сложна (а, следовательно, и технология изготовления), при обработке используют стандартный инструмент. При возможности обработку ведут сразу несколькими инструментами. Форма детали позволяет использовать простой захват для перемещения заготовки между операциями.

Для определения типа производства необходимо оценить годовую программу выпуска деталей и их трудоемкость.

Деталь имеет среднюю трудоемкость (применяются точные операции обработки поверхностей и отверстий).

Определим годовую программу выпуска N_{Γ} , учитывая, что выпуск данной детали должен обеспечивать ремонтное обслуживание автомобилей:

$$N_{\Gamma} = N_1 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right), \quad (1.1)$$

где N_1 – количество изделий в год, шт; $N_1=15000$ шт;

m – количество деталей в изделии, $m=1$;

β – количество деталей на запасные части в процентах от годовой программы, $\beta=0$.

$$N_{\Gamma} = 15000 \cdot 1 \cdot 1 = 15000 \text{ шт.}$$

Величина такта выпуска рассчитывается по формуле (1.2):

$$t_B = \frac{\Phi_D \cdot 60}{N_{\Gamma}}, \quad (1.2)$$

где t_B – такт выпуска деталей, мин.

Φ_D – действительный годовой фонд времени работы оборудования по производству данной детали, ч;

N_{Γ} – годовая программа выпуска данной детали, шт.

Действительный фонд времени рассчитаем по формуле:

$$\Phi_D = \Phi_K - T_{PEM}, \quad (1.3)$$

где Φ_K – календарный фонд времени, ч, принимаем на 2019 г. $\Phi_K = 4440$ ч;

T_{PEM} – время на ремонт оборудования, ч.

Принимаем, что время на ремонт оборудования составляет 10% от календарного фонда времени:

$$T_{PEM} = \frac{\Phi_K \cdot 10\%}{100\%} = \frac{4440 \cdot 10\%}{100\%} = 444 \text{ ч.}$$

Тогда, подставив данные в формулу (1.3), получаем:

$$\Phi_D = 4440 - 444 = 3996 \text{ ч.}$$

Такт выпуска детали – промежуток времени, отделяющий выпуск двух следующих одна за другой деталей. Определим такт выпуска, подставив полученные значения в формулу (1.2):

$$t_B = \frac{3996 \cdot 60}{15000} = 7,59 \text{ мин.}$$

Программ выпуска детали и ее трудоемкость определяет тип производства. На основании годовой программы мы рассчитали такт выпуска детали $t_B=7,59$ мин. Трудоемкость примем равной времени выполнения самой продолжительной операции с учетом кратности оборудования (т.е. данную операцию выполняют две единицы оборудования) $T_{шт}=4,2$ мин.

$$k_c = \frac{t_B}{T_{шт}} = \frac{7,59 \text{ мин}}{3,2 \text{ мин}} = 2,33 \approx 3 \quad (1.4)$$

Получили $k_c=3$, следовательно производство является среднесерийным.

1.2 Выбор способа изготовления заготовки

Заготовку данной детали можно получить горячей штамповкой на прессе и ковкой на горизонтальной ковочной машине.

Исходные данные:

1. Деталь – ступица;
2. Годовая программа выпуска – 15000 шт;
3. Масса детали – 1,9 кг;
4. Материал – сталь АЦ40ХГНМ.

Выберем рациональный способ получения заготовки.

Рассмотрим первый способ получения заготовки – горячая штамповка в закрытых штампах.

1. Определяем массу заготовки:

$$m_3^1 = V^1 \cdot \gamma, \quad (1.5)$$

где V^1 – объем заготовки, см^3 ;

γ - плотность материала, $\gamma = 0,00785 \text{ кг/см}^3$.

$$V^1 = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 - V_6, \quad (1.6)$$

где $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ – объемы цилиндров.

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = V_6 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l, \quad (1.7)$$

где D – диаметр цилиндра, мм,

l – ширина цилиндра, мм.

$$V_1 = 3,14 \cdot (1,25)^2 \cdot 8 / 4 = 64,7 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = 3,14 \cdot (8,4)^2 \cdot 8 / 4 = 213,72 \text{ см}^3;$$

$$V_3 = 3,14 \cdot (6)^2 \cdot 65 / 4 = 127,56 \text{ см}^3;$$

$$V_4 = 3,14 \cdot (3)^2 \cdot 12,5 / 4 = 27,563 \text{ см}^3.$$

$$V_5 = 3,14 \cdot (11 - 85)^2 \cdot 5 / 4 = 2,653 \text{ см}^3.$$

$$V_6 = 3,14 \cdot (5)^2 \cdot 25 / 4 = 12,265 \text{ см}^3.$$

Тогда объем заготовки:

$$V^1 = 423,9838 \text{ см}^3.$$

Ее масса:

$$m_3^1 = 423,9838 \cdot 0,00785 = 3,33 \text{ кг}.$$

2. Рассчитаем коэффициент использования материала:

$$K_{ИМ} = \frac{m_{\partial}}{m_3^1} = \frac{1,9}{3,37} = 0,57. \quad (1.8)$$

3. Степень сложности поковки:

$$C = \frac{m_3^1}{m_{\phi}} = \frac{3,33}{19,239} = 0,18. \quad (1.9)$$

Принимаем степень сложности С1.

Исходя из размеров обрабатываемой поверхности, ее шероховатости, и степени сложности назначаем припуски на механическую обработку, которые сводим в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры размеров для обработки при штамповке

| Размер детали, мм | Шероховатость Ra, мкм | Основной припуск, мм | Полный припуск, мм | Размер заготовки, мм | Допуски на поковку, мм |
|-------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| ø101,5 | 1,2 | 1,8 | 2,3 | ø103 | +1,3 -0,7 |
| ø53 | 0,32 | 1,5 | 2,0 | ø55 | +1,1 -0,5 |
| ø50 | 0,20 | 1,6 | 2,1 | ø54 | +1,3 -0,7 |
| ø42 | 25 | 1,1 | 2,0 | ø45 | +1,1 -0,5 |
| ø85 | 2,5 | 1,5 | 2,0 | ø87 | +1,3 -0,7 |
| ø184,5 | 12,5 | 1,1 | 1,5 | ø187 | +0,9 -0,5 |
| 65 | 12,5 | 1,1 | 1,5 | 69 | +0,9 -0,5 |
| 8 | 12,5 | 1,2 | 1,6 | 9 | +0,9 -0,5 |
| 14,5 | 12,5 | 1,1 | 1,5 | 16 | +0,9 -0,5 |

Назначаем штамповочные уклоны и радиусы:

уклоны: внешние $\alpha=7^\circ$

внутренние $\beta=5^\circ$

радиусы: внешние R=3мм;

внутренние r=9мм.

Рассмотрим второй способ получения заготовки с помощьюковки.

1. Определяем массу заготовки:

$$m_3^2 = V^2 \cdot \gamma, \quad (1.10)$$

где V^2 – объем заготовки, см³,

γ – плотность материала, $\gamma = 0,00785$ кг/см³.

Объем заготовки как совокупность объема цилиндров:

$$V^2 = V_1 + V_2 + V_3. \quad (1.11)$$

$$V_1 = 3,14 \cdot (1,25)^2 \cdot 14 / 4 = 104,96 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = 3,14 \cdot (84,5)^2 \cdot 8 / 4 = 374,102 \text{ см}^3;$$

$$V_3 = 3,14 \cdot (1,35)^2 \cdot 65 / 4 = 134,55 \text{ см}^3;$$

Тогда объем заготовки:

$$V^2 = 613,612 \text{ см}^3.$$

Ее масса

$$m_3^2 = 613,612 \cdot 0,00785 = 4,817 \text{ кг}.$$

2. Рассчитаем коэффициент использования материала по формуле (1.8):

$$K_{ИМ} = \frac{m_{\partial}}{m_3^2} = \frac{1,9}{4,817} = 0,39.$$

3. Степень сложности поковки по формуле (1.9):

$$C = \frac{m_3^2}{m_{\phi}} = \frac{4,817}{19,23} = 0,25.$$

Принимаем степень сложности С1.

Назначаем штамповочные уклоны и радиусы:

Уклоны: внешние $\alpha=7^\circ$,

внутренние $\beta=6^\circ$.

Радиусы: внешние R=4мм,

внутренние r=8мм.

1.3 Обоснование выбора заготовки

Стоимость заготовки, получаемой штамповкой:

$$S_{заг}^{штам} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_e \cdot k_M \cdot k_n \right) - \left(Q - q \right) \cdot \frac{S_{отх}}{1000} \quad (1.12)$$

где C_i – базовая стоимость 1 т заготовок, руб. Для штамповок $C_i = 59000$ руб/т,

Q – масса заготовки, кг.

В данном случае:

- масса штамповки $Q = 3,33$ кг,

- масса поковки $Q = 4,817$ кг.

K_T – коэффициент точности заготовки, $K_T = 1,05$,

K_M – коэффициент марки материала штамповки, для $K_M = 1,98$ (сталь АЦ40ХГНМ),

K_B – коэффициент, учитывающий массу штамповок, $K_B = 1$,

K_C – коэффициент, учитывающий группу сложности отливок, $K_C = 0,89$,

K_n – коэффициент, учитывающий объем производства, $K_n = 0,8$,

q – масса детали; $q = 1,9$ кг,

$S_{отх}$ – цена за 1 тонну отходов, $S_{отх} = 11000$ руб/т.

Подставив значения стоимостей и коэффициентов в формулу (1.12), получим:

- штамповка:

$$S_{заг}^{штам} = \left(\frac{19000}{1000} \cdot 3,33 \cdot 1,05 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 1,98 \cdot 0,8 \right) - \left(3,33 - 1,9 \right) \cdot \frac{1405}{1000} = 83,23 \text{ руб/шт}$$

- поковка:

$$S_{заг}^{штам} = \left(\frac{19000}{1000} \cdot 4,817 \cdot 1,05 \cdot 0,81 \cdot 0,9 \cdot 1,98 \cdot 0,8 \right) - \left(4,817 - 1,9 \right) \cdot \frac{1405}{1000} = 106,87 \text{ руб/шт}$$

Окончательно принимаем способ получения заготовки ступицы штамповкой, что дает экономию по сравнению с поковкой:

$$\Delta_{заг} = \left(S_{заг}^{КГШП} - S_{заг}^{ГКМ} \right) \cdot N = \left(106,87 - 83,23 \right) \cdot 300000 = 7092484,5 \text{ руб/год}$$

1.4 Разработка технологического маршрута обработки детали

Вид технологических операций и их последовательность зависит от заданной точности и шероховатости обрабатываемой поверхности.

При разработке технологического маршрута необходимо учитывать, что:

- как можно большее количество поверхностей должно обрабатываться на одном станке с одной установкой,
- необходимо использовать автоматизированное высокопроизводительное оборудование,
- обрабатывающий инструмент должен быть рассчитан на высокоскоростные режимы обработки,
- станочные приспособления должны быть автоматизированными, обеспечивать точное базирование обрабатываемого изделия и осуществлять автоматическую загрузку и разгрузку детали или обеспечивать возможность их обслуживания роботами.

1.5 Разработка технологических операций

Заготовка детали в процессе обработки подвергается токарным операциям, на которых обрабатываются цилиндрические поверхности детали для получения необходимых диаметральных размеров.

Затем выполняются операции по сверлению отверстий и доводке цилиндрических поверхностей до требований рабочего чертежа по шероховатости.

Первая группа операций выполняется на станках токарной группы. Автоматизация обработки достаточно проста, т.к. ось детали имеет постоянную ориентацию при обработке, несмотря на пере установки.

Вторая группа операций представляет интерес для автоматизации. Поэтому при проектировании ГАК выбираем следующие операции:

- 080 шлифование,
- 090 сверление,
- 100 шлифование.

Для выполнения операции 080 используем шлифовальный станок 3М151Ф2.

Для выполнения операции 090 используем сверлильный станок ИР320ПМФ4.

Для выполнения операции 100 используем шлифовальный станок 3Т162Ф2.

1.6 Расчет норм времени

Для составления алгоритма функционирования ГАК необходимо рассчитать времена обработки детали на основном технологическом оборудовании.

За время выполнения операции принимается штучное время:

$$T_{шт} = T_O + T_{BC} + T_{OB} + T_{OT}, \quad (1.13)$$

где T_O – основное время, мин,

T_{BC} – вспомогательное время, мин,

T_{OB} – время обслуживания оборудования, мин,

T_{OT} – время на отдых, мин.

Основное время рассчитываем по формуле:

$$T_O = \frac{L_{PX} \cdot i}{s_M}, \quad (1.14)$$

где L_{PX} – длина рабочего хода, мм,

i – число рабочих ходов, $i=1$,

s_M – минутная подача инструмента, мм/мин,

Минутная подача рассчитывается по формуле:

$$S_{M1} = S_0 \cdot n, \quad (1.15)$$

где S_0 – подача, мм/об,

n – скорость вращения шпинделя, об/мин,

Тогда

$$T_O = 0,64 \text{ мин.}$$

Вспомогательное время:

$$T_{BC} = T_{У.С.} + T_{З.О.} + T_{УП} + T_{ИЗ}, \quad (1.16)$$

где $T_{У.С.}$ – время на установку и снятие детали, мин,

$T_{З.О.}$ – время на зажим и разжим детали, мин,

$T_{УП}$ – время на управление, мин,

$T_{ИЗ}$ – время на измерение, мин.

Тогда суммарное время:

$$T_{У.С.} + T_{З.О.} = 0,1 \text{ мин.}$$

Время на управление принимаем:

$$T_{УП} = 0,06 \text{ мин.}$$

Время на измерение:

$$T_{ИЗ} = 0,024 \text{ мин.}$$

Подставив данные в формулу (1.16), получаем:

$$T_{BC} = 0,1 + 0,06 + 0,024 = 0,184 \text{ мин.}$$

Время на обслуживание рабочего места рассчитаем по формуле:

$$T_{ОБ} = T_{ТЕХ} + T_{ОРГ}, \quad (1.17)$$

где $T_{ТЕХ}$ – время технического обслуживания, мин,

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

Время на техническое обслуживание для токарных операций:

$$T_{ТЕХ} = \frac{T_O \cdot t_{СМ}}{T}, \quad (1.18)$$

где $t_{СМ}$ – время на наладку инструментов и под наладку станка, мин,

T – стойкость инструмента, мин.

Принимаем $t_{СМ} = 2$ мин.

Тогда

$$T_{ТЕХ} = \frac{0,46 \cdot 2}{50} = 0,02 \text{ мин.}$$

Время организационного обслуживания:

$$T_{ОРГ} = \frac{T_{ОП} \cdot П_{ОРГ}}{100}, \quad (1.19)$$

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

$$T_{ОП} = T_O + T_{ВС}. \quad (1.20)$$

Тогда

$$T_{ОП} = 0,64 + 0,184 = 0,82 \text{ мин.}$$

$П_{ОРГ}$ – затраты организационного обслуживания оборудования, %.

Принимаем $П_{ОРГ} = 1,7\%$. Тогда

$$T_{ОРГ} = \frac{0,65 \cdot 1,7}{100} = 0,011 \text{ мин.}$$

По формуле (1.17) вычисляем время на обслуживание рабочего места:

$$T_{ОБ} = 0,02 + 0,011 = 0,033 \text{ мин.}$$

Время отдыха составляет 6% от суммы основного и вспомогательного времени:

$$T_{ОТ} = 0,06 \cdot (T_O + T_{ВС}) = 0,06 \cdot 0,65 = 0,04 \text{ мин.} \quad (1.21)$$

Тогда по формуле (1.13) штучное время операции 090:

$$T_{шт} = 0,64 + 0,184 + 0,033 + 0,04 = 0,9 \text{ мин.}$$

Аналогично определим штучное время для остальных операций:

- шлифовальная (080): $T_{шт}=1,2$ мин,
- сверлильная (090): $T_{шт}=0,9$ мин,
- шлифовальная (100): $T_{шт}=0,8$ мин.

2 Проектирование ГАК

При проектировании ГАК выполняются следующие этапы:

1. На основе технико-экономического анализа производства выбирают объекты роботизации, необходимый состав основного технологического оборудования и последовательность обработки на нем изделий.

2. В процессе непосредственного проектирования формируют структуру ГАК, выбирают количество и характеристики роботов и вспомогательного оборудования.

3. Разрабатывают планировку ГАК в производственных помещениях, составляют алгоритм работы ГАК, строят траектории манипулирования.

Наиболее подходят для организации ГАК операции, где обработка проводится на станках с ЧПУ и используются зажимные приспособления, позволяющие производить установ и снятие заготовки при помощи промышленного робота.

2.1 Выбор основного технологического оборудования

В качестве основного технологического оборудования, используемого в ГАК, были выбраны следующие модели станков (таблица 2.1.):

- универсальный кругло шлифовальный полуавтомат высокой точности с ЧПУ модели 3М151Ф2,

- сверлильно-фрезерно-расточной станок с ЧПУ модели ИР320ПМФ4,

- кругло шлифовальный полуавтомат высокой точности с ЧПУ модели 3Т162Ф2,

Кругло шлифовальный полуавтомат высокой точности с ЧПУ модели 3М151Ф2 (рисунок 2.1)

позволяет обрабатывать ступенчатые валы (их цилиндрические и конические поверхности) путем наружного шлифования различными методами: врезным, строчным, продольным шлифованием. Оборудование можно

применять при продольной подачи стола для под шлифовки торцов. Рекомендуется использовать станок для производства различной серийности. Станок имеет класс точности В.

Таблица 2.1 – Модели станков ГАК

| Модель станка | Номера выполняемых операций |
|---------------|-----------------------------|
| 3М151Ф2 | 080 |
| ИР320ПМФ4 | 090 |
| 3Т162Ф2 | 100 |

Станок-полуавтомат автоматизирован. Все механизмы станка (механизмы шлифования различного вида, подачи по трем осям, перемещение обрабатываемого изделия и его останов, подача и прекращение подачи смазывающе-охлаждающей жидкости, перемещение механизмов станка, уравнивание шлифовального круга) имеют программное управление.

Эффективность функционирования станка поддерживается автоматизированными средствами активного контроля процесса обработки и правки шлифовального круга с компенсацией его износа.

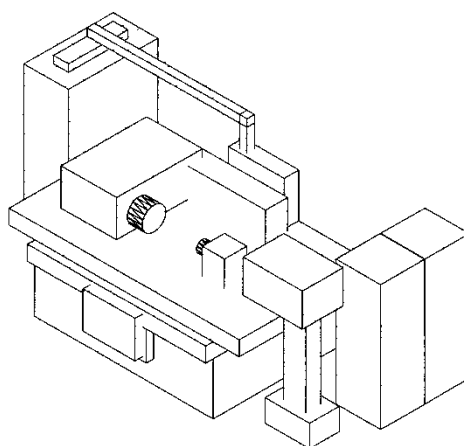


Рисунок 2.1 – Станок мод. 3М151Ф2

Основные характеристики станка:

Максимальные габариты обрабатываемого изделия, мм:

| | |
|--|----------------|
| диаметральный размер | 200 |
| осевой размер | 700 |
| Максимальный диаметральный размер обработки, мм | 20...180 |
| Максимальный размер осевой обработки, мм | 650 |
| Расстояние от стола центров, мм | 125 |
| Максимальное осевое перемещение стола, мм | 700 |
| Угловой поворот стола, град: | |
| в направлении часовой стрелки | 6 |
| в направлении часовой стрелки | 7 |
| Диапазон бесступенчатого регулирования скорости стола, м/мин | 0,05..5 |
| Диапазон скорости бесступенчатого регулирования скорости вращения шпинделя, об/мин | 50..500 |
| Максимальные параметры шлифовального круга, мм: | |
| диаметральный размер | 600 |
| ширина | 80 |
| Параметры движения шлифовальной бабки, мм: | |
| максимальное | 235 |
| пошаговое | 0,005 |
| ручное | 0,001 |
| Рабочая скорость вращения круга, об/мин | 1590 |
| Осевая скорость перемещения шлифовальной бабки, мм/мин | 0,02..1,2 |
| Минимальное программное перемещение шлифовальной бабки, мм | 0,001 |
| Габаритные размеры оборудования, мм | 5400x2400x2170 |
| Масса оборудования, кг | 6500 |
| Электрооборудование: | |
| Число двигателей на оборудовании | 7 |
| Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт | 15,2 |

| | |
|--|-----------------------------|
| Мощность, потребляемая устройством ЧПУ, Вт | 120 |
| Суммарная мощность всех электродвигателей, кВт | 20 |
| Оперативная система программного управления: | |
| Вид ЧПУ | контурное с обратной связью |
| Тип устройства | «Электроника НЦ-31» |
| Число независимых управляемых координат | 1 |
| Вид индикации | цифровая |

Сверлильно-фрезерно-расточной станок повышенной точности с ЧПУ модели ИР320ПМФ4 (рисунок 2.2) обеспечивает корпусную обработку различных деталей с высокой производительностью. Оборудование оснащено автоматизированными механизмами, обеспечивающими различные режимы скоростей вращения шпинделя и подачи. Станок имеет поворотный стол. Автоматизированное вспомогательное оборудование станка дает возможность встраивать его в гибкие автоматизированные комплексы.

Станок имеет оперативную систему программного управления «Электроника НЦ-31», которая обеспечивает оперативный ввод управляющей программы, редактирование с клавиатуры пульта непосредственно на рабочем месте, исполнение программ обработки и управление станком.

Винтовые пары качения обеспечивают подачи механизмов оборудования. Используются двигатели постоянного тока, точность вращения которых обеспечивается датчиками обратной связи. Подачи по осям реализуются бесступенчатым регулированием. Привод оборудования оснащен механизмом двенадцати ступенчатой автоматического переключения скоростей.

Закрепление детали при обработке осуществляется автоматическим пневмо патроном. Оборудование оснащено двумя противоположно ориентированными резцедержателями, что позволяет обрабатывать детали сложной формы с высокой производительностью. Для повышения точности обработки используется смазочно-охлаждающая жидкость, подаваемая при обработке в требуемых различных направлениях.

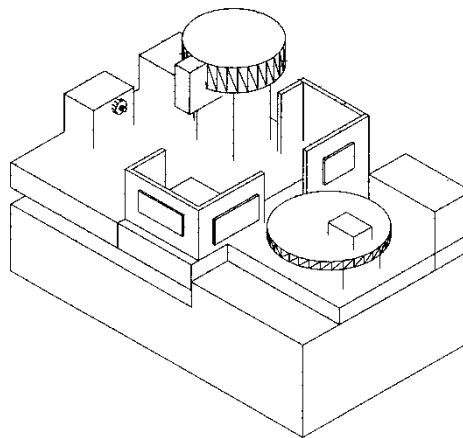


Рисунок 2.2 – Станок мод. ИР320ПМФ4

Основные характеристики:

| | |
|--|--|
| Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм: | |
| над станиной | 320 |
| над суппортом, не менее | 125 |
| Максимальный продольный размер обрабатываемого изделия, мм, не менее | 750 |
| Наибольшая длина хода суппорта, мм, не менее: | |
| продольного | 320 |
| поперечного | 125 |
| Ход пиноли задней бабки, мм, не менее | 120 |
| Диаметральный размер прутка в отверстии шпинделя, мм, не менее | 36 |
| Высота резца, мм, не менее | 25 |
| Число скоростей вращения шпинделя | 18 |
| Программная скорость переключения шпинделя, об/мин | 40..500, 160..2000 |
| Скорость вращения шпинделя, об/мин | 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 |
| Подача, мм/мин: | |
| вдоль продольной оси | 2...1200 |

| | |
|---|-----------------------------|
| вдоль поперечной оси | 1...1200 |
| Быстрая скорость передвижения суппорта, м/мин: | |
| вдоль продольной оси | 6,0 |
| вдоль поперечной оси | 5,0 |
| Шаг перемещений, мм: | |
| вдоль продольной оси | 0,01 |
| вдоль поперечной оси | 0,005 |
| Максимальная сила обработки резанием, Н, не менее | 6000 |
| Максимальный шпиндельный вращающий момент, Нм, не менее | 350 |
| Габарит станка, мм: | |
| без выносного оборудования | 3990x2300x2507 |
| с выносным оборудованием | 3990x2900x2507 |
| электро шкафа | 950x550x870 |
| Масса станка, кг: | |
| без выносного оборудования | 8000 |
| с выносным оборудованием | 9000 |
| Электрооборудование: | |
| Число двигателей на оборудовании | 7 |
| Мощность, потребляемая устройством ЧПУ, кВт, не более | 0,4 |
| Мощность, потребляемая приводами подачи, кВт, не более: | |
| продольного перемещения | 2,0 |
| поперечного перемещения | 1,5 |
| Наибольшая потребляемая мощность, кВт, не более | 13,0 |
| Оперативная система программного управления: | |
| Вид ЧПУ | контурное с обратной связью |
| Тип устройства | «Электроника НЦ-31» |
| Число одновременно управляемых координат | 2 |
| Вид индикации | цифровая |
| Ввод управляемой программы | автоматический |

Универсальный кругло шлифовальный полуавтомат высокой точности с ЧПУ модели 3Т162Ф2 (рисунок 2.3) предназначен для врезного шлифования цилиндрических, конических и торцевых поверхностей деталей в условиях серийного и массового производства. Работают с программным устройством, управляющим работой станка при шлифовании. Возможен вариант обработки наружных торцов изделия путем применения торце шлифовального устройства. Класс точности станка В.

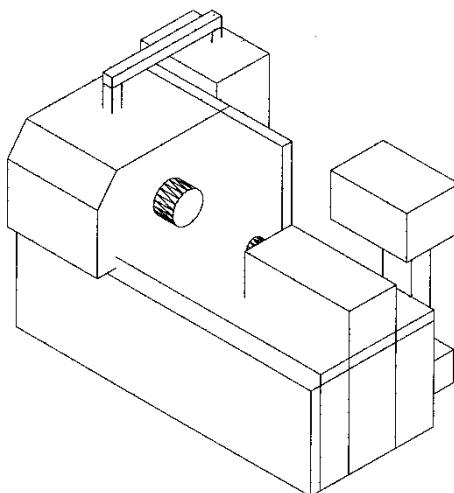


Рисунок 2.3 – Станок мод. 3Т162Ф2

Полуавтоматы просты в наладке, обслуживании и эксплуатации, укомплектованы набором шлифовальных шпинделей с широким диапазоном чисел оборотов шлифовальных кругов, обеспечивающих обработку деталей с прогрессивными режимами. Механизм поперечных подач с приводом от шагового электродвигателя осуществляет перемещение с высокой точностью и стабильностью во всем диапазоне скоростей. Автоматический режим работы полуавтоматов с настройкой элементов цикла управления декадными переключателями программного устройства не требует собственного станкам с ЧПУ математического обеспечения. Все приставное оборудование соединено со станком и электро шкафом электропроводкой со штепсельными разъемами. Полуавтоматы комплектуются трех- и четырех кулачковыми патронами; пазовыми планшайбами для крепления обрабатываемых изделий; слесарно-

монтажными инструментами; абразивными кругами и оправками под них. Могут быть установлены устройства для правки круга по радиусу, на конус, по торцу; встройка измерительного устройства, люнет, электра шпиндели и запасные части.

Основные характеристики:

| | |
|--|----------------|
| Максимальный диаметральный размер изделия, мм | 400 |
| Максимальный осевой размер изделия, мм: | |
| при зажиме в патронах | 200 |
| при применении люнетов | 200 |
| Максимальный диаметральный шлифовального круга, мм | 125 |
| Минимальный диаметральный размер обрабатываемого отверстия, мм | 20 |
| Удаление стола от шпиндельной оси, мм | 285 |
| Максимальный поворотный угол бабки, град. | 45 |
| Минимальное смещение бабки относительно одного оборота двигателя, мм | 0,1 |
| Скорость перемещения стола, м/мин: | |
| при обработке | 1...7 |
| при быстрых вспомогательных ходах | 10 |
| Максимальное перемещение стола, мм | 560 |
| Диапазон скорости бесступенчатого вращения шпинделя, мин ⁻¹ | 60...1200 |
| Продольное перемещение торцевого шлифовального круга, мм: | |
| наибольшее | 160 |
| наименьшее | 4 |
| Габарит полуавтомата, мм: | |
| без выносного оборудования | 3100x1950x1850 |
| с выносным оборудованием | 3100x2100x2050 |
| Масса станка, кг: | |

| | |
|---|-----------------------------|
| без выносного оборудования | 3600 |
| с выносным оборудованием | 4500 |
| Электрооборудование: | |
| Число двигателей на оборудовании | 7 |
| Суммарная мощность всех электродвигателей, кВт | 9 |
| Мощность электродвигателя шлифовальной бабки, кВт | 4,4 |
| Мощность, потребляемая устройством ЧПУ, Вт | 120 |
| Оперативная система программного управления: | |
| Вид ЧПУ | контурное с обратной связью |
| Тип устройства | «Электроника НЦ-31» |
| Число независимых управляемых координат | 1 |
| Вид индикации | цифровая |
| Ввод управляемой программы | автоматический |

2.2 Выбор вспомогательного оборудования ГАК

Для обслуживания основного технологического оборудования используется промышленный робот портального типа УМ 160Ф2.81.01.

Характеристики промышленного робота УМ 160Ф2.81.01:

| | |
|--|-------------|
| грузоподъемность | до 160 кг |
| количество подвижностей | 4 |
| количество рук | 1 |
| количество захватов на руке: | 1 |
| главный привод | гидропривод |
| погрешность позиционирования | +/- 0,5 |
| максимальный размер рабочей зоны | 2300 мм |
| осевые перемещения (мм)/скорость (м/с) | |
| X: | 16000/1,2 |
| Y: | 2560/1,8 |
| Z: | 1200 |

угловые перемещения ($^{\circ}$), угловая скорость ($^{\circ}/с$):

α : 180/90

β : 180/30

максимальная длина монорельса: 18 м

масса: 6500 кг

Загрузка входа ГАК производится из заготовительного производства через шаговый цепной транспортер КЦ-31. После обработки детали помещаются на другой шаговый цепной транспортер КЦ-31 (позиция выхода), который передает их на соседний участок для окончательной доработки. Контейнеры со стружкой увозит электрокар и ставит взамен их пустые. Стружка от станков отводится ленточными транспортерами в контейнеры бункерного типа.

Транспортер КЦ-31 предназначен для перемещения изделий из одного участка (цеха) в другой. Цепной транспортер имеет подвижную цепь, несущую на себе конструкцию, состоящую из призм, которые сделаны специально под вид детали. Это позволяет детали не смещаться относительно своей оси и обеспечивает точное позиционирование при захвате изделия роботом.

Характеристики транспортера КЦ-31:

Скорость перемещения изделия, м/с 0,25

Ширина, мм 300

Высота, мм 795

Длина, мм, не менее 5000

Расстояние между точками позиционирования ячеек, мм 400

2.3 Размещение оборудования ГАК

Планировка ГАК представлена на листе графического материала. Она включает в себя всё вышеперечисленное основное и вспомогательное оборудование, а именно: станки 3М151Ф2, ИР329ПМФ4, 3Т162Ф2 со шкафами (силовыми и управления), промышленный робот порталного типа УМ

160Ф2.81.01 с системой управления, шаговые транспортеры КЦ-31, пульт управления, шкаф с контроллером SIMATIC S7-300, ограждение. ГАК занимает площадь $S=197$ м².

Рассмотрим порядок работы оборудования ГАК. Промышленный робот портального типа УМ160Ф2.81.01 берёт заготовку со станка 3Т162Ф2 и загружает выходной транспортер. Затем идет к станку ИР320ПМФ4 берет деталь и загружает станок 3М162Ф2. После этого подходит к станку 3М151Ф2, разгружает и загружает станок ИР320ПМФ4. Затем робот проверяет, есть ли заготовка на транспортере, если есть, цикл начинается заново. Робот перемещается к транспортеру, разгружает его, загружает станок 3М151Ф2. Перемещается к станку 3Т162Ф2, ждет 4с, и разгружает станок 3М162Ф2, загружает выходной транспортер. Если на входном транспортере нет деталей, робот выходит из цикла, разгружая станки на выходной транспортер. Процесс обработки заканчивается помещением последней детали на шаговый транспортер КЦ-31 – выход ГАК.

2.4 Составление алгоритма работы ГАК

Составим алгоритм работы промышленного робота портального типа УМ 160Ф2.81.01 по обслуживанию станков. Присвоим индексы оборудованию в соответствии с порядковым номером выполняемой на нём операции: станок 3М151Ф2 – №1, станок ИР320ПМФ4 – №2, станок 3Т162Ф2 – №3.

Таблица 2.1 – Алгоритм работы ГАК

| | Содержание алгоритма переходов | G | j | P1 | C1 | C2 | C3 | φ | t |
|---|--|------|-----|----|----|----|----|-----|------|
| | Разгрузка 3-го оборудования | | | | | | | | |
| 1 | Вход в рабочую зону С3 | Gj6 | j6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 50 | 1,67 |
| 2 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj7 | j7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 85 | 2,83 |
| 3 | Захват детали | Gj8 | j8 | 0 | 1 | 0 | 0 | | 2,00 |
| 4 | Выход из рабочей зоны С1 | Gj9 | j9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 135 | 4,5 |
| 5 | Переход от 3-го оборудования к 2-му транспортеру | Gj15 | j15 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2,33 |

Таблица 2.1 – Алгоритм работы ГАК (продолжение)

| | Содержание алгоритма переходов | G | j | P1 | C1 | C2 | C3 | φ | t |
|----|---|------|-----|----|----|----|----|-------|------|
| | Загрузка выходного транспортера | | | | | | | | |
| 6 | Вход в рабочую зону транспортера | Gj1 | j1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,00 | 0,33 |
| 7 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj2 | j2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,00 | 0,67 |
| 8 | Отпускание детали | Gj3 | j3 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2 |
| 9 | Выход из рабочей зоны транспортера | Gj4 | j4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 30,00 | 1 |
| 10 | Переход от выходного транспортера к 2-му оборудованию | Gj5 | j5 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 7,61 |
| | Разгрузка 2-го оборудования | | | | | | | | |
| 11 | Вход в рабочую зону C2 | Gj16 | j16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 50 | 1,67 |
| 12 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj17 | j17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 90 | 3 |
| 13 | Захват детали | Gj18 | j18 | 0 | 0 | 1 | 0 | | 2,00 |
| 14 | Выход из рабочей зоны C2 | Gj19 | j19 | 0 | 0 | 1 | 0 | 140 | 4,67 |
| 15 | Переход от 2-го оборудования к 3-му | Gj20 | j20 | 0 | 0 | 1 | 0 | | 5,28 |
| | Загрузка 3-го оборудования | | | | | | | | |
| 16 | Вход в рабочую зону C3 | Gj6 | j6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 50 | 1,67 |
| 17 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj7 | j7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 85 | 2,83 |
| 18 | Отпускание детали | Gj8 | j8 | 0 | 1 | 0 | 0 | | 2,00 |
| 19 | Выход из рабочей зоны C1 | Gj9 | j9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 135 | 4,5 |
| 20 | Переход от 3-го оборудования к 1-му | Gj15 | j15 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 7,98 |
| | Разгрузка 1-го оборудования | | | | | | | | |
| 21 | Вход в рабочую зону C1 | Gj11 | j11 | 0 | 1 | 0 | 0 | 30 | 1 |
| 22 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj12 | j12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 50 | 1,67 |
| 23 | Захват детали | Gj13 | j13 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2,00 |
| 24 | Выход из рабочей зоны C1 | Gj14 | j14 | 1 | 0 | 0 | 0 | 80 | 2,67 |
| 25 | Переход от 1-го оборудования к 2-му | Gj15 | j15 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2,69 |
| | Загрузка 2-го оборудования | | | | | | | | |
| 26 | Вход в рабочую зону C2 | Gj16 | j16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 50 | 1,67 |
| 27 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj17 | j17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 90 | 3 |
| 28 | Отпускание детали | Gj18 | j18 | 0 | 0 | 1 | 0 | | 2,00 |
| 29 | Выход из рабочей зоны C2 | Gj19 | j19 | 0 | 0 | 1 | 0 | 140 | 4,67 |

Таблица 2.1 – Алгоритм работы ГАК (продолжение)

| | Содержание алгоритма переходов | G | j | P1 | C1 | C2 | C3 | φ | t |
|----|---|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 30 | Переход от 2-го оборудования к 1-му транспортеру | Gj20 | j20 | 0 | 0 | 1 | 0 | | 5,56 |
| | Разгрузка входного транспортера | | | | | | | | |
| 31 | Вход в рабочую зону транспортера | Gj1 | j1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,00 | 0,33 |
| 32 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj2 | j2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,00 | 0,67 |
| 33 | Захват детали | Gj3 | j3 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2 |
| 34 | Выход из рабочей зоны транспортера | Gj4 | j4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 30,00 | 1 |
| 35 | Переход от 1-го транспортера к 1-му оборудованию | Gj5 | j5 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2,87 |
| | Загрузка 1-го оборудования | | | | | | | | |
| 37 | Вход в рабочую зону C1 | Gj6 | j6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 30 | 1 |
| 38 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj7 | j7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 50 | 1,67 |
| 39 | Отпускание детали | Gj8 | j8 | 0 | 1 | 0 | 0 | | 2,00 |
| 40 | Выход из рабочей зоны C1 | Gj9 | j9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 80 | 2,67 |
| 41 | Переход от 1-го оборудования к 3-му | Gj15 | j15 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 7,98 |
| | Разгрузка 3-го оборудования | | | | | | | | |
| 42 | Вход в рабочую зону C3 | Gj6 | j6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 50 | 1,67 |
| 43 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj7 | j7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 85 | 2,83 |
| 44 | Захват детали | Gj8 | j8 | 0 | 1 | 0 | 0 | | 2,00 |
| 45 | Выход из рабочей зоны C1 | Gj9 | j9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 135 | 4,5 |
| 46 | Переход от 3-го оборудования к 2-му транспортеру | Gj15 | j15 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2,33 |
| | Загрузка выходного транспортера | | | | | | | | |
| 47 | Вход в рабочую зону транспортера | Gj1 | j1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,00 | 0,33 |
| 48 | Заведение схвата в рабочую зону | Gj2 | j2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,00 | 0,67 |
| 49 | Опускание детали | Gj3 | j3 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2 |
| 50 | Выход из рабочей зоны транспортера | Gj4 | j4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 30,00 | 1 |
| 51 | Переход от выходного транспортера к 2-му оборудованию | Gj5 | j5 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 7,61 |

Используя алгоритмы работы оборудования, построим циклограмму для вхождения в цикл (начало смены), работы в цикле (установившийся режим) и выхода из цикла (конец смены).

Циклограмма представлена на чертеже графического материала.

2.5 Расчет коэффициентов загрузки оборудования

Расчет коэффициентов загрузки произведем по формуле:

$$k_3 = t_p / T_p, \quad (2.1)$$

где t_p – время работы оборудования,

T_p – время цикла.

Тогда

$$K_1 = 72 / 112 = 0,648,$$

$$K_2 = 54 / 112 = 0,482$$

$$K_3 = 48 / 112 = 0,418$$

$$K_3 \text{ работа} = 108 / 112 = 0,964$$

3 Разработка алгоритма управления ГАК

3.1 Содержательная постановка задачи

Состав ГАК:

С1 – кругло шлифовальный полуавтомат высокой точности с ЧПУ модели 3М151Ф2,

С2 – сверлильно-фрезерно-расточной станок повышенной точности с ЧПУ модели ИР320ПМФ4,

С3 – универсальный кругло шлифовальный полуавтомат высокой точности с ЧПУ модели 3Т162Ф2,

Т1 – входной транспортер,

Т2 – выходной транспортер,

Р – промышленный робот УМ160Ф2.81.01.

Целью разработки алгоритма управления является:

1. Обеспечение эффективного управления обработкой детали «ступица» на данном участке.

2. Обеспечение заданного технологического регламента функционирования оборудования в различных производственных ситуациях посредством выдачи управляющих воздействий на локальные системы управления (ЛСУ) технологическим оборудованием в соответствии с разработанным ранее технологическим процессом.

3. Поддержание взаимодействия ЛСУ между собой.

4. Организация диалога управляющей ЭВМ с пультом оператора.

5. Эффективное реагирование на возникновение нештатных ситуаций.

Ограничениями данной задачи являются:

1. Заданный технологический регламент и технические возможности станков и роботов.

2. Возможности локальных устройств управления с реализованными в них программами, т. е. набор решаемых ими задач.

3. Датчики, задающие состав входной информации о состоянии процесса. Рассмотрим задачи, решаемые ЛСУ каждой группы оборудования.

Система управления роботом позволяет запрограммировать следующие режимы работы применительно к данному ГАК:

- режим 1: загрузка станка С1,
- режим 2: разгрузка станка С1,
- режим 3: загрузка станка С2,
- режим 4: разгрузка станка С2,
- режим 5: загрузка станка С3,
- режим 6: разгрузка станка С3,
- режим 4: разгрузка входного транспортера,
- режим 5: загрузка выходного транспортера.

Кроме этого системой ЧПУ робота решаются задачи перемещения и позиционирования, заключающиеся в установке нужной высоты, а также положения блока на портале. В связи с этим в память ЧПУ заносят эти значения для каждой из пяти основных позиций робота. При подаче команды на перемещение в одну из позиций СЧПУ автоматически подводит робот в заданное положение. Таким образом, можно выделить следующие команды:

- перемещение робота к станку С1,
- перемещение робота к станку С2,
- перемещение робота к станку С3,
- перемещение робота к входному транспортеру,
- перемещение робота к выходному транспортеру.

Каждый из станков содержит в памяти СЧПУ свою программу обработки, так что после подачи сигнала на обработку, она реализуется автоматически.

При разработке управляющего алгоритма учитывается превышение лимита времени на выполнение цикла обработки, которое контролируется системой управления с помощью двух таймеров, первый таймер контролирует

время обработки, второй таймер задержки выключения выдает сигнал о неисправностях на станке, если станок не завершит обработку за назначенное время.

При появлении аварийной ситуации системе управления необходимо сообщать об этом оператору.

Эффективная работа оборудования обеспечивается локальными системами управления (ЛСУ): системами ЧПУ станков и контроллером низкого уровня робота. Каждая ЛСУ, кроме этого, собирает информацию со встроенных датчиков. Общая координация этих систем управления и обмен данными производится с помощью центрального контроллера второго уровня.

Станки снабжены системами ЧПУ типа CNC и необходимыми датчиками. Работа робота обеспечивается контроллерами SIMATIC S7.

Центральный контроллер представляет контроллер SIMATIC фирмы SIEMENS с подключенным пультом оператора и дисплеем для контроля состояния и программы.

Систематизируем входные данные, получаемые с датчиков, и задаваемые оператором.

Таблица 3.1 – Входные данные

| № | Описание входных данных | характеристика типа данных | |
|----|---------------------------------------|----------------------------|-----------|
| | | X | \bar{X} |
| 1 | положение робота: робот на позиции T1 | да | нет |
| 2 | положение робота: робот на позиции C1 | да | нет |
| 3 | положение робота: робот на позиции C2 | да | нет |
| 4 | положение робота: робот на позиции C3 | да | нет |
| 5 | положение робота: робот на позиции T2 | да | нет |
| 6 | наличие заготовки на транспортере T1 | да | нет |
| 7 | наличие детали на станке C1 | да | нет |
| 8 | наличие детали на станке C2 | да | нет |
| 9 | наличие детали на станке C3 | да | нет |
| 10 | наличие детали на транспортере T2 | да | нет |
| 11 | рука робота вверху | да | нет |
| 12 | рука робота внизу | да | нет |
| 13 | схват зажат | да | нет |
| 14 | схват разжат | да | нет |

| | | | |
|----|-------------------------|----|-----|
| 15 | наличие детали в схвате | да | нет |
| 16 | ручной сброс аварии | да | нет |

Систематизируем выходные управляющие сигналы.

Таблица 3.2 – Выходные сигналы

| № | Описание выходных сигналов |
|----|--|
| 1 | сигнал роботу на разгрузку входного транспортера Т1- загрузку станка С1 |
| 2 | сигнал роботу на разгрузку станка С1- загрузку станка С2 |
| 3 | сигнал роботу на разгрузку станка С2- загрузку станка С3 |
| 4 | сигнал роботу на разгрузку станка С3- загрузку выходного транспортера Т2 |
| 5 | сигнал роботу на перемещение с позиции С2 на позицию Т1 |
| 6 | сигнал роботу на перемещение с позиции С1 на позицию С2 |
| 7 | сигнал роботу на перемещение с позиции С3 на позицию С1 |
| 8 | сигнал роботу на перемещение с позиции С1 на позицию С3 |
| 9 | сигнал роботу на перемещение с позиции Т2 на позицию С2 |
| 10 | сигнал роботу на перемещение с позиции С2 на позицию С3 |
| 11 | аварийный режим на станке С1 |
| 12 | аварийный режим на станке С2 |
| 13 | аварийный режим на станке С3 |

В соответствии с описанным порядком работы ГАК для работа можно выделить простейшие задачи, реализуемые при помощи ЛСУ. Сформулируем эти задачи оперативного управления ГАК и определим условия их выполнения.

Разгрузка входного транспортера Т1 – загрузка станка С1:

- схват робота пустой,
- на позиции Т1 есть деталь,
- на позиции С1 нет детали.

Разгрузка станка С1 – загрузка станка С2:

- робот на позиции С1,
- станок С1 завершил обработку,
- на позиции С2 нет детали,
- в схвате нет детали.

Разгрузка станка С2 – загрузка станка С3:

- робот на позиции С2,

- станок С2 завершил обработку,
- на позиции С3 нет детали,
- в схвате нет детали.

Разгрузка станка С3 – загрузка выходного транспортера Т2:

- робот на позиции С3,
- станок С3 завершил обработку,
- на позиции Т2 нет детали,
- в схвате нет детали.

Перемещение с позиции С2 на позицию Т1:

- станок С2 загружен,
- на позиции Т1 есть деталь,
- на позиции С1 нет детали.

Перемещение с позиции С1 на позицию С2:

- станок С1 загружен,
- на позиции С2 есть деталь,
- на позиции С3 нет детали.

Перемещение с позиции С3 на позицию С1:

- станок С3 загружен,
- на позиции С1 есть деталь,
- на позиции С2 нет детали.

Перемещение с позиции С1 на позицию С3:

- станок С1 загружен,
- на позиции С3 есть деталь,
- на позиции Т2 нет детали.

Перемещение с позиции Т2 на позицию С2:

- транспортер Т2 загружен,
- на позиции С2 есть деталь,
- на позиции С3 нет детали.

Перемещение с позиции С2 на позицию С3:

- станок С2 загружен,

- на позиции С3 есть деталь,
- на позиции Т2 нет детали.

Аварийная ситуация:

- аварийный режим на станке С1
или
- аварийный режим на станке С2
или
- аварийный режим на станке С3.

3.2 Общая формулировка задачи управления

Необходимо на основе информации, получаемой системой управления в процессе функционирования ГАК, оперативно выдавать управляющие сигналы для ЛСУ на выполнение подзадач в соответствии с вышеуказанными условиями, обеспечивая жесткую последовательность технологических операций, определённую ранее разработанным технологическим процессом, и безаварийную работу комплекса.

4 Регистрация аварийных сообщений

4.1 Функциональное назначение

Редактор Alarm Logging (Регистрация Аварийных Сообщений) отвечает за сбор и хранение сообщений. Он содержит разнообразные функции, предназначенные для приема сообщений от различных процессов, а также функции подготовки, отображения, квитирования и хранения этих сообщений. Ниже поясняется, каким образом редактор Alarm Logging (Регистрация Аварийных Сообщений) оказывает поддержку в поиске причин ошибок.

Система Alarm Logging имеет следующие цели:

1. Обеспечение понятной и доступной информации об ошибках и состояниях управления.
2. Обеспечение раннего распознавания критических ситуаций.
3. Помощь в исключении и уменьшении времени простоя и задержек.
4. Увеличение качества процесса управления.
5. Обеспечение выходной документации.

Система Alarm Logging подразделяется на два компонента: систему конфигурирования (Alarm Logging CS) и систему Run-Time (Alarm Logging RT).

4.2 Задачи компонентов системы Alarm Logging

Систему конфигурирования редактора Alarm Logging (Alarm Logging CS) следует использовать для конфигурирования собственных сообщений, в результате чего они будут отображаться в необходимом виде. Конфигурирование следует производить перед тем, как будет запущена система Run-Time. Система конфигурирования редактора Регистрация Аварийных Сообщений системы WinCC имеет специальный интерфейс, с помощью которого можно произвести все предварительные установки.

Задачей системы Run-Time редактора Alarm Logging (Alarm Logging RT) является накопление сообщений и принятие квитанций (результатов подтверждения – квитирования). Она подготавливает сообщения для отображения и хранения.

4.3. Настройка отображения

Формат строки сообщения устанавливает последовательность полей сообщений в строке сообщения. Выберите поля сообщений, подлежащие отображению в строке сообщения модуля Run-Time из сконфигурированных полей сообщений.

Для загрузки формата строкового сообщения необходимо:

1. В окне перемещения выбрать пункт «Message Line Formats» («Форматы строки сообщения») и кликнуть правой кнопкой мыши, открыв тем самым его всплывающее меню. Выбрать пункт «New» («Новый»). В результате появится диалоговое окно. Если необходимо, установить новое имя для строки сообщения.

2. Выйти из диалогового окна.

4.4 Шаблон окна сообщения

Чтобы установить структуру, тип отображения и возможности управления окном сообщений необходимо использовать шаблон окна сообщения. Можно также указать, будет ли окно сообщений отображать текущее сообщение (список сообщений) или сообщение из архива.

Для загрузки нового шаблона окна сообщений необходимо:

1. В окне перемещения активировать пункт «Message Window Templates» («Шаблоны окна сообщения»).

2. Кликнуть правой кнопкой мыши, открыв всплывающее меню, и выбрать пункт «Add/Remove» («Добавить/Удалить»). В результате появляется

диалоговое окно «Configure Message Window» («Конфигурирование окна сообщений»), содержащее предварительно сконфигурированное окно сообщения. Окно сообщения можно отредактировать или:

1. В окне перемещения по проекту открыть всплывающее меню объекта «Message Window Templates» («Шаблоны окон сообщений»).

2. Выбрать команду «Start Wizard» («Запуск Мастера»).

В результате запускается мастер окна сообщения. Этот мастер используется для конфигурирования окна сообщения с параметрами, далее принимаемыми по умолчанию.

Для редактирования шаблона окна сообщения необходимо:

1. В окне перемещения выбрать пункт «Message Window Templates» («Шаблоны окна сообщения»).

2. В окне данных выбрать требуемый шаблон «Message Window Template» («Шаблон окна сообщения»).

3. Кликнуть правой кнопкой мыши для открытия всплывающего меню и выбрать пункт «Properties» («Свойства»). В результате появляется диалоговое окно «Configure Message Window» («Окно конфигурирования сообщения»). Для отображения и редактирования свойств следует выбрать соответствующую вкладку.

4. Выйти из диалогового окна.

4.5 Задание параметров запуска

Для задания параметров запуска:

1. Открываем Application Window.

2. Вызываем в Windows Objects, выбираем Button.

3. Заходим в свойства, выбираем Mouse, Press Left, установить соединение Direct Connection.

4. В открывшемся окне в поле Constant вводим 1, а в правом поле окна в окне Variable указываем тег кватирования, например New Tag.

5. Выбираем Release Left, устанавливаем соединение Direct Connection.
6. В открывшемся окне в поле Constant вводим 0, а в правом поле окна в окне Variable указываем тег квитирования, например New Tag.
7. Вызываем в Windows Objects, выбираем I/O Field, и каждое I/O Field связываем с определенным тегом, например tag1, по событию которого происходит авария.
8. В редакторе Alarm Logging предварительно указываем в строке сообщений в колонке Event tag, tag1, а в поле Event bit вводим номер бита вызывающего событие, например 0.
9. Запускаем Run time.

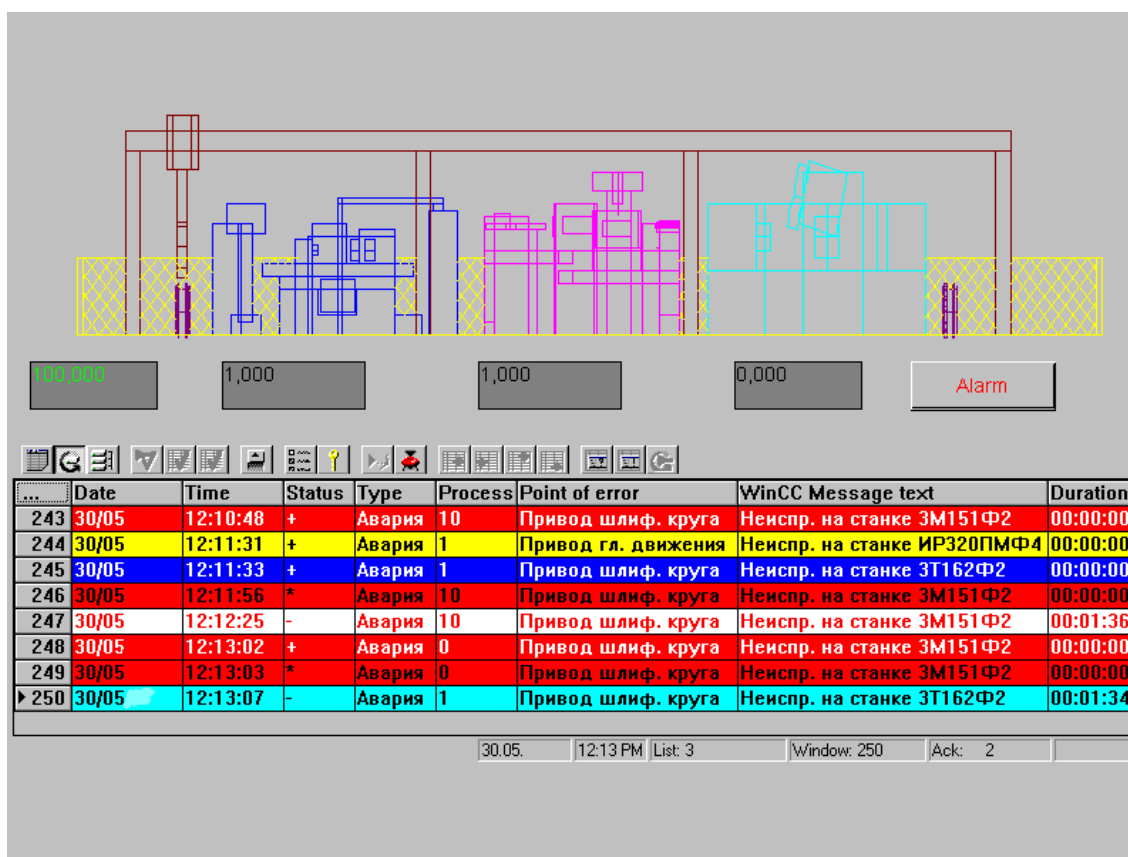


Рисунок 4.1 – Экранная форма

5. Цифровая комплексная система автоматизации ГАК

Характерной особенностью современного машиностроительного производства является использование станков в составе автоматизированных станочных систем. Это объясняет ряд их конструктивных особенностей, так как необходимо обеспечить станок соответствующими интерфейсами для интегрирования его в станочную систему.

Существенным шагом в реализации механической обработки явился переход к технологическим комплексам из станков с ЧПУ на базе ЭВМ (устройства ЧПУ типа CNC), обеспечивающих обработку заготовок, транспортные операции и подготовку производства.

Применение комплексов из станков с ЧПУ позволяет значительно упростить и ускорить переход на изготовление новой продукции, стабилизировать производственный процесс путем сокращения брака (особенно при изготовлении сложных деталей), повысить точность и качество обработки, уменьшить цикл изготовления деталей (многоцелевые станки), сократить сроки подготовки рабочих требуемой квалификации.

Применение в комплексе станков с ЧПУ типа CNC позволяет: обеспечить сокращение числа входящих единиц оборудования за счет многофункциональности станков, повысить надежность и упростить обслуживание, расширить диагностику неисправностей, редактировать программы непосредственно на станке в режиме диалога оператор - станок. Кроме того, обеспечен выход на связь с ЭВМ верхнего уровня, ведение адаптивного управления по показаниям датчиков и устройств контроля размеров деталей на станке, управление транспортной системой и т.д.

5.1 СЧПУ Sinumerik 840D

Sinumerik 840D – это центральная часть систем Sinumerik Motion-Control, предлагающая благодаря модульности, открытости и убедительной

унифицированной структуре значительные возможности при управлении, программировании и визуализации. Sinumerik 840D представляет собой системную платформу с основополагающими функциями практически для всех технологий. В комбинации с линейкой приводов Simodrive 611D и расширением на систему автоматизации SIMATIC S7-300 Sinumerik 840D образует цифровую комплексную систему, подходящую, прежде всего, для сложных задач обработки и характеризующуюся высокой динамикой и точностью.

Масштабируемость аппаратного и программного обеспечения, как в области ЧПУ, так и в области управления создает отличные предпосылки для использования Sinumerik 840D во многих областях. Возможности распространяются от простых задач позиционирования до сложных многоосевых установок. Существует 5 различных типов NCU для различных задач обработки: от NCU 561.4 до NCU 573.5. Заказываемое отдельно системное программное обеспечение NCU поставляется для 2, 6, 12 или 31 управляемых осей. На одно NCU может быть реализовано до 10-ти каналов ЧПУ и до 10 групп режимов работы. Эта масштабируемость обеспечивает оптимальное согласование, как со станком, так и с задачей обработки. При большой потребности в осях и каналах (на пример, у агрегатных или многошпиндельных станков), вычислительная способность, возможности конфигурирования и области памяти различных NCU могут быть объединены через Link-модули и благодаря этому значительно расширены (Fast-IPO-Link). Задачи 5-ти осевой обработки, на пример, фрезерование поверхностей свободной формы, с помощью этого пакета обработки могут решаться просто и удобно. Следующие функции включены в 5-ти осевой пакет обработки:

- 5-ти осевая трансформация с ориентацией инструмента;
- 5-ти осевая коррекция длин инструмента;
- ориентированный отвод инструмента.

Для наивысших требований по динамике и точности рекомендуется использование NCU 573.4 или 573.5.

Благодаря открытости в HMI, ЧПУ и PLC возможно внедрение своих собственных разработок для получения желаемого индивидуального управления оборудованием. Sinumerik 840D предлагает открытость вплоть до ядра ЧПУ. Благодаря такой открытой архитектуре и высокой вычислительной производительности Sinumerik 840D могут реализовываться гибкие, быстрые и недорогие адаптации функций ЧПУ к различным кинематикам станков. Специфические для технологий дополнительные функции могут догружаться в качестве так называемых компилируемых циклов. Для СЧПУ Sinumerik 840D используется надежное программное обеспечение для управления и программирования: ManualTurn, ShopMill или ShopTurn.

СЧПУ Sinumerik 840D состоит из высокопроизводительных модулей NCU в комбинации с актуальными панелями оператора Sinumerik. Sinumerik 840D используется по всему миру в

Sinumerik 840D объединяет на одном модуле NCU задачи ЧПУ, PLC и коммуникации. Высокопроизводительный многопроцессорный модуль NCU после установки в NCU-Box напрямую интегрируется в цифровую линейку приводов Simodrive 611, при этом он размещается справа рядом с модулем E/R. Все NCU имеют подключение 4-х быстрых цифровых входов/выходов ЧПУ. Другие быстрые входы/выходы могут быть подключены через терминальные блоки NCU на приводной шине. В объем поставки всех NCU включен кабель приборной шины и конечный штекер приводной шины.

5.2 СЧПУ Sinumerik 810D

Система управления SINUMERIK 810D объединяет в модуле CCU (compact control unit) все задачи ЧПУ, PLC, регулирования и коммуникации. Мощный модуль CCU находится в основном корпусе (блок CCU) со встроенными силовыми модулями.

Существуют две различные конфигурации блока CCU:

1. Для внутреннего охлаждения в распределительном шкафу блок CCU с 3 силовыми модулями:

- 2 x 6 A/12 A для приводов подачи,

- 1 x 18 A/36 A для приводов подачи или 24 A/32 A для приводов главного шпинделя.

2. По выбору для внутреннего охлаждения в распределительном шкафу или для внешнего охлаждения через заднюю стенку распределительного шкафа с 2 силовыми модулями 2 x 9 A/18 A для приводов подачи.

Модуль CCU поставляется в двух вариантах:

1. CCU 1 для компактных серийных станков, для токарных станков с традиционным управлением с ManualTurn, вертикальных и универсальных фрезерных станков с ShopMill, а также для простых задач манипулирования

2. CCU 2 с дополнительными функциями для комплексных станков и специальных машин, а также для задач манипулирования

Конструкция системы управления SINUMERIK 810D совместима с серией модулей цифрового преобразователя SIMODRIVE 611. Посредством сменных модулей расширения осей она может быть расширена с силовыми модулями SIMODRIVE 611 до 5 приводов.

SINUMERIK 810D эксплуатируется с модулями нерегулируемого питания или модулями питания/рекуперации серии SIMODRIVE 611.

SINUMERIK 810D имеет 6 измерительных каналов и может осуществлять цифровое управление максимум 5 осями (или 4 осями + 1 шпинделем). Если количество встроенных измерительных каналов не достаточно, то для подключения дополнительных измерительных систем в силовые модули SIMODRIVE 611 можно установить сменные модули регулирования SIMODRIVE 611 (смотри руководство по проектированию).

К системе управления SINUMERIK 810D можно подключить следующие компоненты:

- панель управления с модулем MMC и панель управления станком,

- SIMATIC OP7/OP17,

- кнопочная панель PP 031-МС,
- периферия SIMATIC S7-300,
- простой периферийный модуль,
- распределительная панель,
- распределитель кабелей,
- программатор PG 7,
- терминальный блок NCU,
- двигатели 1FT6, 1FK6 и 1PH,
- ручной пульт управления, тип В-MPI,
- ручной пульт программирования PHG, тип MPI,
- ручной мини пульт управления для ShopMill.

Системное программное обеспечение 2.4 системы управления SINUMERIK 810D находится на Flash-EEPROM и является составной частью объема поставки (при необходимости возможна конфигурация с PC-Card).

При использовании версии 3.1 программного обеспечения или выше PC-Card остается воткнутой. Свободное место в памяти на PC-Card может использоваться для данных последовательного ввода в эксплуатацию/сервисного обслуживания.

Оси позиционирования PLC в SIMATIC S7-300 могут реализовываться посредством модулей FM 353 и FM 354.

5.3 Привод SIMODRIVE 611D

Централизованные системы приводов предлагают широкий набор возможностей. С помощью различных плат управления преобразователей могут быть реализованы различные интерфейсы заданного значения и соединения с системой ЧПУ. 2-х осевые модули позволяют осуществлять компактные модульные структуры. С помощью предложенной модульной системы могут быть реализованы любые конфигурации приводов. Таким образом, возможно

сквозное проектирование для любого оборудования, от компактного станка до комплексной установки.

Simodrive 611 – это гибкая система приводов, отвечающая как экономическим, так и экологически-техническим требованиям современных станков. С Simodrive 611 фирма Siemens предлагает различные модули управления движением с аналоговым или цифровым управлением, отвечающие наивысшим требованиям в динамике, в установленном диапазоне оборотов, и точности вращения. Благодаря модульной конструкции системы приводов, могут быть реализованы конфигурации приводов с практически любым количеством осей или главных шпинделей. Осевые модули предназначены для двигателей подачи 1FT6/1FK/1FW6/1FN, а также двигателей главного движения 1PH/1FE1/2SP1/1LA. Мощность двигателя определяет необходимый силовой модуль. Требуемая для этого силового модуля мощность промежуточного контура определяет выбор необходимого модуля питания. Через модуль питания системная структура Simodrive 611 подключается к сети низкого напряжения с заземленной нейтралью (сеть TN).

Все модули системы приводов Simodrive 611 имеют унифицированную конструкцию. Интерфейсы для питания и коммуникации друг с другом, а также стандартизированные интерфейсы между платами управления и силовыми модулями. Система приводов Simodrive 611 состоит из следующих функциональных модулей: сетевой фильтр; коммутирующие дроссели; модули питания; силовые модули; платы управления, предназначенные для определенных технологий использования и типов двигателей; специальные модули и прочие принадлежности.

Система приводов предназначена для установки в электро шкафах, выполненных в соответствии с действующими стандартами. Для модулей сетевого питания и приводов (зависящих от мощности) имеются различные типы охлаждения: внутреннее, внешнее, воздушное.

При конструировании модулей преобразователей особые усилия были направлены на требования легкости управления, простоты монтажа и проводки.

Здесь, например, благодаря постоянной кратной ширине модулей в 50 мм и хорошо зарекомендовавшим себя на практике соединениям силовых, сигнальных и шинных кабелей были реализованы подходящие решения, при этом проводка кабеля проверена на электромагнитную совместимость (ЭМС).

Модули системы приводов Simodrive 611 имеют закрытые и отвечающие требованиям ЭМС корпуса, соответствующие DIN EN 60529 (IEC 60529). Электрическая система изготовлена согласно EN 50178 (VDE 0160) и EN 60204.

Система приводов Simodrive 611 предназначена для работы в промышленности на заземленных сетях TN-S и TN-C (VDE 0100, часть 300). При других типах сети требуется предварительное включение трансформатора с отдельными обмотками, соединение звездой вторичной обмотки с заземленным нулевым проводом (группа соединений Yn). Для этого имеются согласованные с модулями питания Simodrive 611 типы трансформаторов.

Заключение

Создание гибкого автоматизированного производства, позволило повысить точность обработки и снизить процент брака, а также освободить рабочих от тяжелого монотонного труда, повысить эффективность технологического процесса, благодаря использованию современных средств вычислительной и микропроцессорной техники и эффективных методов и средств контроля и управления.

Разработанная система управления ГАК, включающая современные средства ЧПУ, обеспечивает более высокие технические характеристики и расширяет технологические возможности станков. Разработанный процесс регистрации аварийных сообщений позволяет осуществлять постоянный контроль состояния оборудования.

Для создания автоматизированного комплекса были использованы системы ЧПУ типа CNC, что позволило повысить надежность, упростить обслуживание оборудования, расширить диагностику неисправностей, обеспечить выход на контроллер второго уровня.

Планировка ГАК проводилась с учетом экономии производственных площадей, требований производственной безопасности и доступности оборудования для обслуживания.

Произведен расчет технико-экономических показателей. Оценка экономической эффективности проведена в сравнении с базовым (неавтоматизированным) вариантом. В результате условно-годовая экономия средств от внедрения спроектированного ГАК составит 434543,3 руб., срок окупаемости ГАК 10 лет.

Внедрение спроектированного ГАК приведёт к:

- повышению уровня автоматизации работ,
- повышению гибкости производственных систем,
- переходу на более высокий уровень организации производства,
- повышению эффективности производства в рамках ГПС и предприятия,

- повышение уровня автоматизации работ обеспечит экономический и социальный эффект, который выразится в:

- сокращении трудоёмкости работ и численности рабочих,

- улучшении условий труда персонала,

- высвобождении человека от непроизводительного участия в производственном процессе.

Список используемой литературы

1. Хватов Б.Н. Гибкие производственные системы. Расчет и проектирование. Учебное пособие. Издательско-полиграфический центр Тамбовского государственного технического университета 392000, Тамбов, ул. Советская, 106, к. 14. Гибкие производственные системы. Расчет и проектирование.
2. Пуховский Е.С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства. Учеб.пособие. — К.: Вицашк. Головное изд-во, 1989. — 240 с.: 87 ил.— Библиогр.: 35 назв.ISBN 5-11-001340-3.
3. О.И Аверьянов О.И. Дащенко А.И. ЛескинаА.А.идр.;под общ ред. Федотова А.И.иМиляева. О.Н.Л.: Политехника, 1991 — 320 с. Технологические оборудование ГПС.
4. Учебник для высших учебных заведений. — 3-е изд. — М.: Академия, 2007. — 576 с.
5. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учебное пособие. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2001. – 448 с.
6. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. Учебник для вузов.- М.: Высш. школа, 1982.
7. Расчет электронных схем. Примеры и задачи: Учеб. пособие для вузов по спец. электрон.техн / Г.И.Изьюрова, Г.В.Королев и др.- М.: Высш. школа, 1987.- 335 с.
8. Быстров Ю.А., Мироненко И.Г., Хижа Г.С. Электронные цепи и устройства. Учебник для вузов. С.-Пб.; Энергоатомиздат. Санкт-Петербургскоеотдние, 1999.-512 с.: ил.
9. Л.А. Бессонов «Теоретические основы электротехники», М., «Высшая школа», 1989 г.
10. Э.Г. Атамаян «Приборы и методы измерения электрических величин», М., «Высшая школа», 1989 г.

11. Л.П. Мелешкина и др. «Руководство к лабораторным работам по основам промышленной электроники», М, «Высшая школа», 1977, 255с. 57
12. Т.Ф Березкина, Н.Г. Гусев. В.В. Масленников «Задачник по общей электротехнике с основами электроники», М., «Высшая школа», 2001, 377 с.
13. Основы промышленной электроники: Учебник для неэлектротехн. спец. вузов /В.Г. Герасимов, О М. Князьков, А Е. Краснопольский, В.В. Сухоруков; под ред. В.Г. Герасимова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2008. – 336 с., ил.
14. Электротехника и электроника в 3-х кн. Под ред. В.Г. Герасимова Кн.2. Электромагнитные устройства и электрические машины. – М.: Высшаяшк. – 2007 г.
15. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование: Справочник: Учебное пособие для вузов / И.И. Алиев. - М.: Высш. шк., 2010. - 1199 с.
16. Данилов, И.А. Общая электротехника 2-е изд., испр. и доп. учебное пособие для бакалавров / И.А. Данилов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 673 с.
17. Иванов, И.И. Электротехника и основы электроники: Учебник. 8-е изд., стер / И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я. Фролов. - СПб.: Лань, 2016. - 736 с.
18. Иньков, Ю.М. Электротехника и электроника: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Б.И. Петленко, Ю.М. Иньков, А.В. Крашенинников. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 368 с.
19. DEVELOPMENT DRIVE KINETIC ENERGY OF THE FLYWHEEL TYPE MAGNETIC AXES. [Электронныйресурс] : Magnus Hedlund, Johan Lundin, Juan de Santiago, - URL : <http://doaj.org>. / 2015;8(10):10636-10663 DOI 10.3390/en81010636
20. A new technology proposed to recycle waste plastics into hydrocarbon fuel in USA. [Электронныйресурс] : - URL : <http://doaj.org>. / 2016
21. Wireless Design for Power Theft Monitoring,” [Электронныйресурс] IEEE 2010 Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications

22. Decision Support using a Multi-Agent System for Hardware Upgrades in Smart Grids. [Электронныйресурс] : u-Ting Wu, Biao Lei, Chong-Fang Ma, Lei Zhao. - URL :<http://doaj.org>.

23. Microcontroller based PWM Inverter for Speed Control of a Three Phase Induction Motor. [Электронныйресурс] :Móslém SAMI, Mohammad Javad SHIEKHDAVOODI, Morteza ALMASSI- URL : <http://doaj.org>