

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

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра « Промышленная электроника »

(наименование кафедры)

27.03.04 Управление в технических системах

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы и технические средства автоматизации и управления

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Гибкий автоматизированный комплекс обработки шестерни

Студент

Г.М. Мародасейнов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

О.Ю. Копша

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультант

М.А. Четаева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент, А.А. Шевцов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2018 __

АННОТАЦИЯ

Тема: Гибкий автоматизированный комплекс обработки шестерни: Бакалаврская работа по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах»: - Тольятти: ТГУ, 2018.

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, зубофрезерной 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 экранный интерфейс АРМ (автоматизированное рабочее место) оператора ГАК.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки с приложениями, 8 листов графического материала формата А1. -55с.

Abstract

The title of the bachelor's thesis 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 bachelor's thesis, 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 ancillary technological equipment and a safety system for the FAC were selected. Special gripping device was 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 has been made for implementing the interface of the automated workplace were selected.

The bachelor's thesis consists of computational and explanatory notes on 55 pages including appendices, and also graphic material on 8 A1 format sheets.

Содержание

Введение	5
1. Технологический процесс изготовления шестерни	6
1.1 Анализ служебного назначения детали	6
1.2 Технологический контроль чертежа детали.....	6
1.3 Выбор типа производства и формы организации технологического процесса	7
1.4 Выбор и проектирование заготовки	7
1.5 Расчет припусков механической обработки.....	10
1.6 Выбор способов обработки поверхностей шестерни	12
1.7 Разработка технологического маршрута обработки шестерни	13
1.8 Расчет норм времени	14
2 Проектирование специального захватного устройства	17
2.1 Силовой расчет захватного устройства	19
2.2 Прочностной расчет захватного устройства	21
2.3 Расчет оси губки захватного устройства	22
2.4 Расчет пружины	23
2.5 Расчет рабочего давления пневмоцилиндра.....	24
2.6 Выбор пневмоцилиндра захватного устройства	24
2.7 Выбор смазки.....	25
3 Проектирование ГАК механической обработки шестерни	26
3.2 Выбор основного технологического оборудования	27
3.3 Выбор промышленных роботов	29
3.4 Алгоритм функционирования ГАК	32
3.5 Выбор вспомогательных систем.....	35
4.5 Обобщенная структура АСУ ГАК.....	38
4.6 Спецификация данных системы управления второго уровня	39
Таблица 4.3 – Идентификация входных данных	40
Продолжение таблицы 4.3.....	41
Продолжение таблицы 4.3.....	42
Продолжение таблицы 4.3.....	43
4.8 Разработка основной логико-математической модели	43
5 Разработка НМІ интерфейса в среде GENESIS 32	47
Список используемой литературы	53

Введение

Управление производственными процессами необходимо при автоматизации технологических процессов и производств. С использованием автоматизированного технологического оборудования с системами управления появилась возможность автоматизации всего производственного цикла изготовления деталей. Однако при этом необходимо синхронизировать работу как основного, так и вспомогательного технологического оборудования.

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

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

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

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

1. Технологический процесс изготовления шестерни

1.1 Анализ служебного назначения детали

Деталь (шестерня) работает в неравномерном режиме в приводном редукторе.

В качестве материала используется сталь 45, подвергаемая термической обработки. При эксплуатации шестерня подвергается деформации из-за различных скоростей и нагрузок.

В таблице 1.1 рассмотрена классификация поверхностей шестерни.

Таблица 1.1 – Поверхности шестерни

Поверхность	Номер
Основная база	5, 6
Вспомогательная база	1, 2, 3
Исполнительная поверхность (ОКБ)	6, 7
Свободные поверхности	4

С учетом служебного назначения шестерни при проектировании технологического процесса необходимо выбрать способы обработки отверстия под вал и торца шестерни (поверхности 2, 3 соответственно) и поверхности зубьев, которые являются исполнительными поверхностями (поверхности 5, 6).

Все поверхности шестерни необходимо подвергнуть механической обработки потому, что необработанные поверхности могут привести к значительной неуравновешенности. Это может стать причиной появления вибрации при вращении шестерни.

1.2 Технологический контроль чертежа детали

Рабочий чертёж шестерни содержит требуемую информацию, позволяющую обеспечить понимание конструкции детали. Приведены размеры с величинами отклонений, указаны требуемые значения шероховатости, большинство допустимых геометрических отклонений формы.

1.3 Выбор типа производства и формы организации технологического процесса

Тип производства определяется с учетом годовой программы выпуска деталей и трудоёмкости. Изготовление шестерни имеет среднюю трудоёмкость, т.к. применяются точные операции, связанные с обработкой поверхностей зубьев и отверстия. Поэтому, несмотря на то, что шестерня имеет небольшую массу (0,6 кг), принимаем, что при годовой программе $N_f = 8000$ шт. – это массовое производство, для которого характерна поточная форма организации технологического процесса.

Тогда такт выпуска изделия:

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

где $P_g=3987$ часа – фонд рабочего времени для поточной линии.

1.4 Выбор и проектирование заготовки

Заготовку шестерни можно получить штамповкой или отрезанием из прутка.

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

Произведем выбор, ориентируясь на стоимость заготовки, полученной различными способами.

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

где C_i – базовая стоимость 1 т заготовок, руб. Для штамповок $C_i = 21000$ руб.

Q – масса заготовки, кг. С учетом массы шестерни 0,6 кг массу заготовки определим по формуле:

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

где K_M – коэффициент использования материала.

$K_T = 1,05$ – коэффициент точности заготовки

K_c – коэффициент сложности штамповки.

Значение, зависящее от сложности заготовки:

$$C = Q / G_{\phi} = 0,86 / 0,95 = 0,91 \quad (1.4)$$

Штамповка относится к группе сложности С2.

$K_c = 0,92$, для углеродистой стали 2-ой группы сложности,

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

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

$K_o = 1$ – коэффициент объема производства заготовок,

$S_{отх} = 3840$ руб/т – стоимость отходов в рублях за тонну,

$S_{заг} = (11000 \cdot 0,86 \cdot 1,05 \cdot 0,92 \cdot 0,7 \cdot 1,21 \cdot 1/1000) - (0,86 - 0,6 \cdot 3840/1000) = 12,75$

руб/шт.

При обосновании выбора способа изготовления заготовки отрезкой из круглого проката, требуется учет стоимости изготовления заготовки и стоимости ее последующей обработки.

Рассчитаем цену заготовки при отрезке из проката:

$$S_{заг}^{прок} = M + \Sigma C_{O3}; \quad (1.5)$$

где M – цена материала заготовки, руб,

ΣC_{O3} – себестоимость технологических операций правки, калибрования прутка, разрезки его на штучные заготовки,

M – затраты на материал

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot S_{отх} / 1000 \quad (1.6)$$

где $Q = 0,9$;

$S = 10$ руб/кг;

$M = 0,9 \cdot 10 - (0,9 - 0,6) \cdot 3840 / 1000 = 7,7$ руб/шт.

Тогда затраты на отрезку:

$$C_{o.3} = C_{п.з} \cdot T_{шт} / 60 \cdot 100 \quad (1.7)$$

где $C_{п.з} = 100$ руб/час;

$T_{шт}$ – штучное время заготовительной операции:

$$T_{шт} = d / S_M = 70 / 100 = 0,7 \text{ мин} \quad (1.8)$$

Тогда

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

Время на обработку напуска заготовки определяется по формуле:

$$T_o = 10^{-3} \cdot 0,17 \cdot d \cdot l \cdot i \cdot K_x \quad (1.9)$$

где $d=70$,

$l=20$ мм,

$i=4$ число проходов,

$K_X=1.5$ – коэффициент холостого хода.

Тогда

$$T_0=10^{-3} \cdot 0,17 \cdot 70 \cdot 20 \cdot 4 \cdot 1,5=1,4 \text{ мин.}$$

Стоимость 1 станко-минуты составляет 70 руб/час.

В итоге стоимость обработки:

$$N_0=7000 \cdot 1,4/60 \cdot 100=1 \text{ руб.}$$

Время на обработку второго напуска аналогично первому. При этом $T_0=1$ руб;

Тогда время на обработку второго напуска также определяется как:

$$T_0=10^{-3} \cdot 0,17 \cdot d \cdot l \cdot i \cdot K_X; \quad (1.10)$$

где $d=70$ мм,

$l=30$ мм,

$i=8$ число проходов,

$K_X=1.5$ – коэффициент холостого хода.

Тогда

$$T_0=10^{-3} \cdot 0,17 \cdot 70 \cdot 30 \cdot 8 \cdot 1,5=2,9 \text{ мин.}$$

При стоимости 1 станко-минуты (70 руб/час)

Определяем стоимость обработки заготовки:

$$N_0=7000 \cdot 2,9/60 \cdot 100=2,2 \text{ руб;}$$

Суммарная стоимость обработки заготовки:

$$\Sigma N_0=1+1+2,2=4,2 \text{ руб.}$$

Тогда стоимость заготовки из проката:

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

При этом коэффициент использования металла:

- для проката: $K^{\text{пр}}=0,6/0,9=0,67$

- для штамповки: $K^{\text{шт}}=0,6/0,86=0,7$

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

В результате анализа производство заготовок из проката является более выгодным, чем использование штамповки. В итоге разница стоимости получения заготовки:

$$\Theta_{\text{заг}} = (S_{\text{заг}}^{\text{по}} - S_{\text{заг}}^{\text{шт}}) * N = (12.75 - 12.46) * 8000 = 290 \text{ руб} \quad (1.11)$$

1.5 Расчет припусков механической обработки

Рассчитаем припуски механической обработки отверстия $\varnothing 20H8^{+0,033}$. Последовательность обработки этой поверхности 8 качества точности с шероховатостью $Ra = 0,32$ включает сверление, развертывание, шлифование.

Минимальный припуск на обработку внутренних цилиндрических поверхностей определяем по формуле:

$$2z_{\text{min}} = 2 \left(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \xi_i^2} \right) \quad (1.12)$$

где $R_{Z_{i-1}}$ - размер неровностей, полученный на предыдущей операции;

h_{i-1} - размер слоя дефектов поверхности, полученный на предыдущей операции;

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ - суммарное отклонение расположения поверхности обработки, полученное на предыдущей операции;

ξ_i - погрешность установки на выполняемом переходе.

Расчет припусков на обработку $\varnothing 20^{(+0,033)}$ приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Величины припусков обработки поверхности $\varnothing 20^{(+0,033)}$

Технологические операции	Составляющие припуска, мкм				Расчетный припуск $2Z_{\text{min}}$, мм	Расчетный размер др, мм	Технологический допуск Td,	Предельные размеры, мм		Предельные значения припусков,	
	Rz	h	$\Delta\Sigma$	ϵ				d_{min}	d_{max}	$2Z_{\text{min}}$	$2Z_{\text{max}}$
Заготовка	160	20- t\	570			16,56	1.4	15,16	16,56		
Сверление	40	60	28	100	1,86	19,426	0,18	19,246	19,826	1,86	3,086
Развертывание	10	20	1		0,456	19,882	0,07	19,812	20,012	0,456	0,566
Шлифование	5	10		5	0,061	19,993	0,033	19,951	20,043	0,061	0,098

Причем:

1. h – глубина дефектного поверхностного, мкм.
2. Ra 0,32 (Rz 5) обеспечивается шлифованием.
3. Суммарное отклонение расположения поверхности обработки рассчитываем по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{см}^2 + \Delta_{экс}^2} \quad (1.13)$$

где $\Delta_{см}$ – смещение по линии разъема штампов

$$\Delta_{см} = 300 \text{ мкм};$$

$\Delta_{экс}$ – несоосность наружного и внутреннего диаметров заготовки

$$\Delta_{экс} = 400 \text{ мкм}.$$

Тогда

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{0,3^2 + 0,4^2} = 0,570 \text{ мм}.$$

4. Ошибку установки заготовки рассчитаем по формуле:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2} \quad (1.14)$$

где ε_{δ} – ошибка базирования, мкм;

ε_3 – ошибка закрепления, мкм.

Так как $\varepsilon_{\delta} = 0$, то $\varepsilon = \varepsilon_3$.

5. Максимальный расчетный диаметр определяем по формуле:

$$d_{\text{расч}(i-1)} = d_{\text{расч. } i} - 2z_{\text{min. } i} \text{ мм} \quad (1.15)$$

6. Определяем минимальные предельные значения припусков $z_{\text{min}}^{\text{пр}}$:

$$2 z_{\text{min}}^{\text{пр}} = d_{\text{max. } i} - d_{\text{max}(i-1)} \quad (1.16)$$

$$2 z_{\text{max}}^{\text{пр}} = d_{\text{max. } i} - d_{\text{max}(i-1)} \quad (1.17)$$

Тогда

- для шлифования:

$$2 z_{\text{min } 4}^{\text{пр}} = 19,943 - 19,882 = 0,061 \text{ мм},$$

$$2 z_{\text{max } 4}^{\text{пр}} = 19,951 - 19,812 = 0,098 \text{ мм};$$

- для токарной обработки:

$$2 z_{\text{min } 3}^{\text{пр}} = 19,882 - 19,426 = 0,566 \text{ мм};$$

$$2 z_{\max 3}^{\text{пр}} = 19,812 - 19,246 = 0,456 \text{ мм};$$

- для сверления:

$$2 z_{\min 2}^{\text{пр}} = 19,426 - 16,56 = 3,086 \text{ мм};$$

$$2 z_{\max 2}^{\text{пр}} = 19,246 - 15,16 = 3,086 \text{ мм}.$$

Расчетные припуски на остальные поверхности вычисляем по формуле:

$$z_{\min} = K_{\text{пр}} \cdot z_{\text{табл}} \quad (1.18)$$

где $K_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий уточнение формы детали при обработке:

$$K_{\text{пр}} = z_{\min}^{\text{р}} / z_{\min}^{\text{м}} = 2.337 / 3.5 = 0.679 \quad (1.19)$$

Расчетные значения припусков на поверхности детали приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Расчетные значения припусков на поверхности

Номер поверхности	Припуски табличные	$2 z_{\min}$ расчётные $z_{\min}^{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \cdot z_{\text{табл}}$
3, 4	5	4,4
2	4,5	4
5	3,2	3

1.6 Выбор способов обработки поверхностей шестерни

Способы обработки поверхностей шестерни выбираются с учетом их требуемой точности и шероховатости.

Виды способов обработки поверхностей приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Способы обработки поверхностей

Номер поверхности	Квалитет точности	Заданная шероховатость, мкм	Методы обработки
1	9	1,6	Д
2	7	0,8	С, То, Шч
3	10	1,6	Т, Ш
4	10	2,5	Т, Ш
5	11	2,5	Зб, Ш

В таблице 1.4 приведены следующие виды операций:

долбление – Д,

сверление – С,

токарная обдирочная – Т_о,

шлифовальная черновая – Шч,

токарная – Т,

шлифовальная – Ш,

зубофрезерная – Зб.

1.7 Разработка технологического маршрута обработки шестерни

Разработанный технологический процесс изготовления шестерни включает в себя следующие технологические операции:

000 заготовительная,

005 токарная,

010 токарная,

015 токарная,

020 токарная,

025 токарная,

030 долбежная,

035 зубофрезерная,

040 шлифовальная,

045 шлифовальная

При выборе оборудования для реализации технологического процесса следует учитывать степень автоматизации станков (возможность программной обработки, наличие систем числового программного управления), а также максимальные размеры обрабатываемых на них деталей.

Операции 005-025 реализуются на токарном патронном полуавтомате с четырехпозиционной инструментальной головкой (ЧПУ СКЕ 6136Z),

- Операция 030 – долбежная машина (ЧПУ S200TG),
- Операция 035 – зубофрезерный станок (ЧПУ 53С50Ф4),
- Операция 040 – шлифовальный полуавтомат 3Г71,
- Операция 045 – шлифовальный полуавтомат 3К12.

1.8 Расчет норм времени

Рассчитаем время затрачиваемое на технологические операции, которое оценивается штучным временем, рассчитываемым по формуле:

$$T_{шт} = T_o + T_{вс} + T_{об} + T_{от} \quad (1.20)$$

где

- T_o – основное время, мин;
- $T_{вс}$ – вспомогательное время, мин;
- $T_{об}$ – обслуживающее время, мин;
- $T_{от}$ – личное время отдыха, мин.

Для токарной операции.

Основное время для чернового растачивания поверхности рассчитаем по формуле:

$$T_{o1} = L_{рх} \cdot i / S_m = 30,32 \cdot 1 / 80 = 0,379 \text{ мин} \quad (1.21)$$

- где $L_{рх}$ – расстояние рабочего хода, мм (принимаем $L_{рх} = 30,32$ мм);
- i – количество рабочих ходов, $i=1$;
- S_m – перемещение инструмента в минуту, мм/мин:

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

где n – скорость вращения шпинделя, об/мин.

Аналогично рассчитаем время остальных переходов операции 010.

Определим основное время:

$$T_o = \sum T_{oi} = 0,379 + 0,48 = 0,859 \text{ мин} \quad (1.22)$$

И вспомогательное время:

$$T_{вс} = T_{у.с} + T_{з.о} + T_{уп} + T_{изм} \quad (1.23)$$

- где $T_{у.с}$ – время установки-снятия шестерни, мин;
- $T_{з.о}$ – время закрепления-открепления шестерни, мин;

$T_{уп}$ – управляющее время, мин;

$T_{изм}$ – время метрологических измерений шестерни, мин

Суммарное время на манипуляции с деталью в токарном патроне:

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

Управляющее время:

$$T_{уп} = 0,06 \text{ мин.}$$

Время метрологических измерений шестерни:

$$T_{Изм} = 0,024 \text{ мин}$$

Подставляя составляющие в формулу (1.23), получим:

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

Время технического обслуживания рассчитываем по формуле:

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг} \quad (1.24)$$

где $T_{тех}$ – техническое время обслуживания оборудования, мин;

$T_{орг}$ – организационное время обслуживания оборудования, мин.

Для токарных операций:

$$T_{тех} = T_o \cdot t_{см} / T \quad (1.25)$$

где $t_{см}$ – время на наладку инструментов на подналадку станка, мин: примем

$t_{см} = 2 \text{ мин}$,

T – период стойкости одного инструментанструмента, мин: примем $T = 50 \text{ мин}$.

Тогда

$$T_{тех} = 0,859 \cdot 2 / 50 = 0,034 \text{ мин}$$

Определим время на организационное обслуживание :

$$T_{орг} = T_{оп} \cdot П_{орг} / 100 \quad (1.26)$$

где $T_{оп}$ – оперативное время, мин, определяемое по формуле

$$T_{оп} = T_o + T_{вс} \quad (1.27)$$

Тогда

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

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

Принимаем $П_{орг} = 1,7\%$.

По формуле (1.26) определяем:

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

По формуле (1.24) вычисляем время технического обслуживания оборудования:

$$T_{\text{об}}=0,034+0,017=0,051 \text{ мин};$$

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

$$T_{\text{от}}=0,06(T_o+T_{\text{вс}})=0,06(0,859+0,154)=0,0607 \text{ мин} \quad (1.28)$$

Тогда по формуле (1.20) рассчитаем штучное время операции 010:

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

Таким же образом рассчитываем времена выполнения других технологических операций.

2Проектирование специального захватного устройства

При автоматизации процесса обработки детали необходимо выполнять следующие виды манипуляций:

- поштучный захват детали из накопителя;
- ориентирование детали;
- транспортирование в зону обработки;
- базирование детали в станочном приспособлении;
- разгрузка станочного приспособления;
- транспортирование детали из зоны обработки;
- загрузка выходного накопителя.

Для выбора промышленного робота (ПР) необходимо учитывать его грузоподъемность. Масса шестерни 0,6 кг. Поэтому выбираем ПР легкой серии с максимальной грузоподъемностью 5кг.

С учетом компоновки выбранного основного технологического оборудования и вышеперечисленных требуемых манипуляций робот должен иметь необходимое число степеней подвижности, которые обеспечивают возможность транспортировки и укладки деталей:

- поворот руки относительно вертикальной оси для обеспечения перемещения детали между оборудованием;
- выдвижение руки вдоль горизонтальной оси для перемещения детали к технологическим позициям оборудования;
- подъем руки вдоль вертикальной оси для компенсации разницы высот технологических позиций в зависимости от компоновок технологического оборудования;
- поворота кисти манипулятора вокруг горизонтальной оси для захвата деталей.

Следовательно ПР должен иметь не меньше четырех степеней подвижности и работать в полярной цилиндрической системе координат.

ПР целесообразно использовать для автоматизации загрузки-выгрузки деталей, имеющих поверхности для базирования, ориентации, захвата и удерживания.

С учетом всех вышеуказанных требований выбираем ПР МЕРО 7 (рисунок 2.1).

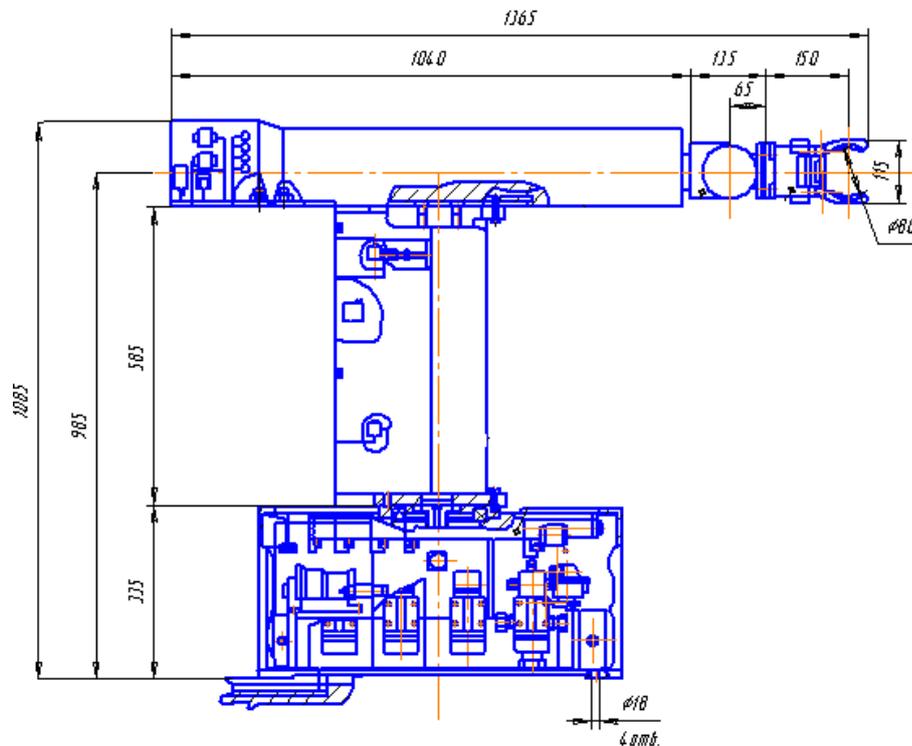


Рисунок 2.1 – Промышленный робот МЕРО 7

ПР МЕРО-7 имеет следующие технические характеристики:

1. Грузоподъемность – 5кг
2. Число степеней подвижности – 5
3. Поворот оси вокруг вертикальной оси- 360 град
4. Поворот (качение) кисти – 90 град
5. Поворот схвата относительно продольной оси – 90 и 180 град
6. Скорость линейных перемещений – 0,5 м/с
7. Скорость угловых перемещений – 60 град/с
8. Масса – 34,5 кг

2.1 Силовой расчет захватного устройства

При конструировании захватного устройства (ЗУ) учитываем форму детали, материал и условия проведения технологического процесса. При этом необходимо обеспечить точность позиционирования детали и допустимое усилие на губках захвата при удержании детали.

Расчет ЗУ сводится к расчету сил, действующих в зоне контакта заготовки и губок, определению усилий привода ЗУ, расчету на прочность деталей устройства.

Расчетная схема захватного устройства приведена на рисунке 2.2

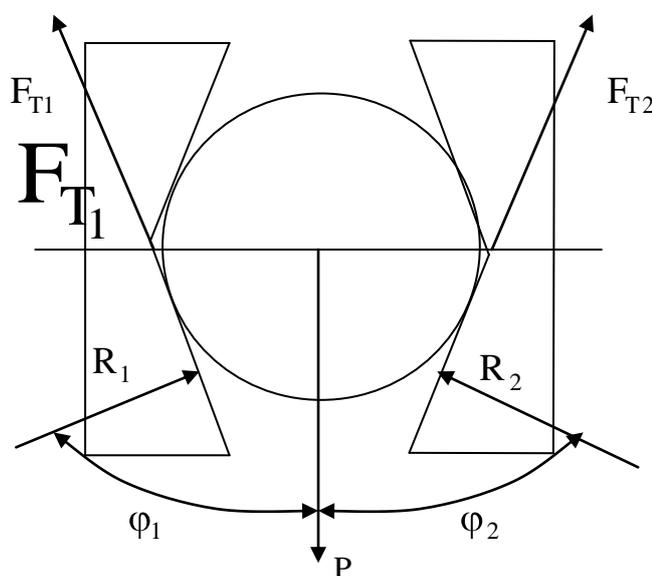


Рис. 2.2 - Расчетная схема захвата

Силы, действующие в зоне контакта детали и губок, определяем по формуле

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

где $i, j = 1, 2; i \neq j$,

Т.к. рассчитываемый захват симметричный, рассмотрим схему нагрузки одной из губок. Учитываем, что объектом манипулирования является шестерня массой $m = 0,6$ кг.

Тогда определим вес детали:

$$G = mg, \text{ Н} \quad (2.2)$$

Или, подставляя значения:

$$G = 0,6 * 9,8 = 5,88 \text{ Н}$$

Весовую нагрузку Q рассчитаем по формуле

$$Q = G * K_d * K_3 \quad (2.3)$$

где K_d – динамический коэффициент влияния манипуляционных инерционных сил, принимаем $K_d = 1,4$;

K_3 – коэффициент запаса надежности при удержании и манипулировании детали, принимаем $K_3 = 1,5$.

Подставляя значения в формулу (2.3), получим

$$Q = 5,88 * 1,4 * 1,5 = 12,348 \text{ Н} \quad (2.4)$$

С учетом материала губок (Сталь 45 незакаленная) коэффициент трения между губками и деталью $\mu = 0.15$.

Конструктивно захват имеет одну пару губок, поэтому реакция губок от действия нагрузки Q определяется как

$$R = Q = 12,348 \text{ Н} \quad (2.5)$$

Рассчитаем силы $|N_1| = |N_2|$, приложенные к детали в местах контакта к губкам. Учтем, что деталь удерживается губками с помощью сил трения, которые приложены в местах контакта детали и губок и направлены вверх.

$$|N_1| = |N_2| = R / 2 * \mu \quad (2.6)$$

Подставляя значения, получим:

$$|N_1| = |N_2| = 12,348 / 2 * 0.15 = 41,16 \text{ Н}$$

Для обеспечения силы сжатия губок для удержания детали рассчитаем силу давления штока пневмоцилиндра P:

Сила P определим по формуле:

$$P = N * i_c \quad (2.7)$$

где i_c – передаточное отношение кинематического механизма схвата, определяемое по формуле:

$$i_c = \Delta x / \Delta y \quad (2.8)$$

Подставляя значения проектируемых перемещений механизма схвата:

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

Найдем силу Р:

$$P=41,16 \cdot 0,89=36,63 \text{ Н} \quad (2.9)$$

Принимая массу губок сравнительно большую, учитывая коэффициент запаса, обеспечиваем силу $P = 70 \text{ Н}$.

2.2 Прочностной расчет захватного устройства

Удержание детали осуществляется за счет сил трения. Для их обеспечения усилия в при контактировании детали и губки значительны, что может привести повреждению поверхности детали или поверхности губок. Напряжения в местах контакта σ_H должны быть меньше, чем предельно допустимые $\sigma_{пр}$.

Рассчитываем напряжения контакта:

$$\sigma_H = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot N \cdot E_{пр}}{h \cdot D_{max}}} \quad (2.10)$$

где h – ширина губки;

$E_{пр}$ – приведенный модуль упругости, рассчитываемый по формуле:

$$E_{пр} = \frac{2 \cdot E_{заг} \cdot E_{Г}}{E_{заг} + E_{Г}} = 2 \text{ Н/см}^2 \quad (2.11)$$

где $E_{заг}=2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости заготовки;

$E_{Г}=2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости губки.

Тогда по формуле (2.10):

$$\sigma_H = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 77,8 \cdot 2}{15 \cdot 4}} = 9,53 \text{ МПа}$$

Определим допускаемые контактные напряжения с учетом вида нагрузки (статический характер):

$$\sigma_{пр} = \frac{\sigma_T}{S} = \frac{25 \text{ МПа}}{1,8} = 13,889 \text{ МПа} \quad (2.12)$$

где $\sigma_T = 25 \text{ МПа}$ – предел текучести материала детали,

$S = 1,8$ – коэффициент безопасности.

Напряжения контакта меньше предельных на 80,2 %, т.е. повреждения при захвате детали отсутствуют.

2.3 Расчет оси губки захватного устройства

Важной деталью захватного устройства является ось, вокруг которой поворачивается губка. От надежности оси зависит функционирование всего захватного устройства.

Произведем расчет оси на срез.

Губка захватного устройства шарнирно закреплена в двух точках, т.е. сила нагрузки равномерно распределяется между ними. Определим величину данной силы:

$$F := \sqrt{N^2 + (P_{\text{г}} + P)^2} \quad (2.13)$$

где $P_{\text{г}}$ – вес губки, равный 0,874 Н

Тогда

$$F = 17,4 \text{ Н}$$

Определим величину напряжений на срез:

$$\tau = \frac{F}{\sigma} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot 2 \cdot d^2} \quad (2.14)$$

где $[\tau]_{\text{сп}} = 850 \text{ Н/см}^2$ (материал детали Сталь 45)

Тогда искомый диаметр оси губок:

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

Рассчитаем допустимую нагрузку на смятие губок

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{d \cdot \delta}$$

Откуда выражаем диаметр:

$$d = \frac{F}{\sigma_{\text{см}} \cdot \delta} = \frac{17,4}{300 \cdot 30} = 0,002 \text{ мм} \quad (2.15)$$

Механизм включает еще несколько осей, однако нагрузка на рассчитываемой оси максимальная из всех остальных, следовательно, прочностной расчет остальных осей не требуется.

Из технологических соображений выбираем ось диаметром $d = 4$ мм.

2.4 Расчет пружины

Для обеспечения безопасности манипулировании необходимо предусмотреть в конструкции захватного устройства пружину, позволяющую закрыть губки захватного устройства при отсутствии усилия со стороны пневмопривода (отсутствии давления воздуха в магистрали промышленного робота).

Произведем расчет цилиндрической винтовой пружины, работающей на сжатие, обеспечивающей удержание детали в захватном устройстве при отсутствии давления воздуха в магистрали промышленного робота (без учета сил действия пневмоцилиндра).

Таблица 2.1 – Расчет параметров пружины

Параметр	Обозначения и расчетные формулы	Численное значение
Сила пружины при предварительной деформации, Н	P_1	7
Сила пружины при рабочей деформации (соответствует наибольшему принудительному перемещению подвижного звена в механизме), Н	P_2	10
Рабочий ход, мм	h	22.387
Сила пружины при максимальной деформации, Н	$P_3 = P_2 / 1 - \delta$	10,4
Наружный диаметр пружины, мм	D	46
Диаметр проволоки, мм	d	4
Жесткость пружины, Н/мм	$z = P_2 - P_1 / h$	0,13
Число рабочих витков	$n = z_1 / z$	2,45
Полное число витков	$n_1 = n + 1.5$	3,95
Средний диаметр пружины, мм	$D_0 = D - d$	42
Предварительная деформация, мм	$F_1 = P_1 / z$	53,85

2.5 Расчет рабочего давления пневмоцилиндра

Для обеспечения перемещения губок захватного устройства необходимо давление воздуха, который обеспечивает пневмоцилиндр. Произведем расчет конструктивных параметров пневмоцилиндра.

Предварительно зададимся конструктивными параметрами:

- сила, развиваемая пневмоцилиндром $P = 10 \text{ Н}$,
- внешний радиус пневмоцилиндра $R = 2,5 \text{ см}$,
- внутренний радиус штока пневмоцилиндра $r = 0,6 \text{ см}$,
- толщина стенок $\Delta = 0,3 \text{ см}$.
- площадь пневмоцилиндра $S = 19,6 \text{ см}^2$

Тогда давление, необходимое в пневмоцилиндре для перемещения губок захватного устройства:

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

2.6 Выбор пневмоцилиндра захватного устройства

Усилие на штоке: 70 Н.

Внешний диаметр: 56 мм.

Внутренний диаметр: 50 мм.

Давление в пневмоцилиндре: $0,51 \text{ Н/см}^2$

Толщина стенок: 3 мм.

Диаметр штока: 12 мм.

Ход поршня: 25 мм.

С учетом конструктивных особенностей захватного устройства выбираем цилиндр с креплением на переднем фланце.

С учетом всех расчетов, требований и особенностей выбираем пневмоцилиндр со следующими характеристиками:

Пневмоцилиндр 1211- ГОСТ 15608-81:

- диаметр цилиндра $D = 50 \text{ мм}$,
- диаметр штока $d_{\text{ш}} = 12 \text{ мм}$,
- длина хода $L = 25 \text{ мм}$.

2.7Выбор смазки

Для надежной работы захватного устройства необходимо периодически производить его смазку, поэтому, исходя из режима его работы, необходимо выбрать смазку захватного устройства.

Учитывая режим работы захватного устройства, ориентируясь на отечественного производителя, выбираем смазку ВНИИ НП-401.

3 Проектирование ГАК механической обработки шестерни

3.1 Выбор технологических операций для автоматизации

Технологический процесс обработки детали состоит из технологических операций, представленных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технологические операции обработки шестерни

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

Указанные технологические операции характеризуются штучным временем их выполнения. Учитывая, операционные времена и, соответственно, загрузку оборудования, выбираем для автоматизации операции 005 – 035, что позволяет выделить наиболее активные операции и объединить их общими транспортными средствами и оборудованием для разгрузочно-погрузочных операций. Кроме того, операции, выполняемые на одинаковых станках, целесообразно объединить в качестве переходов.

В итоге штучное время операций для автоматизации представлено в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Штучное время выполнения автоматизированных операций

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

Для автоматизации технологического процесса на основе применения автоматизированного оборудования применяем операции 005 – 035. Выбор обосновывается штучным временем выполнения технологических операций. При выборе операций учитывалась возможность повышения коэффициентов загрузки оборудования.

Операции 040 – шлифовальная, 045 – шлифовальная, 050 – контрольная выполняются на участке финишной обработки.

3.2 Выбор основного технологического оборудования

Для выполнения технологических операций выбираем следующие станки:

- операции 005 – 025: токарный станок СКЕ 6136 (рис. 3.1),
- операция 030: долбежный станок S200TG (рис. 3.2),
- операция 035: зубофрезерный станок 53С50Ф4 (рис. 3.3).



Рисунок 3.1 – Токарный станок с ЧПУ СКЕ 6136

Станок предназначен для обработки дисков, фланцев, шестерен и других деталей со ступенчатыми и криволинейными поверхностями.

Таблица 3.3 – Технические характеристики токарного станка с ЧПУ СКЕ 6136

Наибольший диаметр обрабатываемой наружной поверхности,	320 мм
Наибольшая высота обрабатываемого изделия в патроне	200 мм
Пределы частот вращения шпинделя	22-1600 мин ⁻¹
Устройство ЧПУ	КМ85
Мощность привода главного движения	37,0 кВт
Габариты: без выносного оборудования с выносным оборудованием	3340x2300x3500 мм 4145x4130x3500 мм



Рисунок 3.2 – Долбежный станок с ЧПУ S200TG

Таблица 3.4 – Технические характеристики долбежного станка с ЧПУ S200TG

Ход инструмента	мм	0-200
Количество двойных ходов в минуту	ход/мин	20-70
Регулирование инструмента по высоте	мм	250
Угол наклона инструмента	°	±45
Расстояние от долбежной головки до стола	мм	390
Расстояние от инструмента до колонны	мм	380
Размер рабочего стола	мм	300x600
Продольный ход	мм	250
Поперечный ход	мм	210
Вес	кг	1000
Габарит без упаковки	мм	840x1450x1850

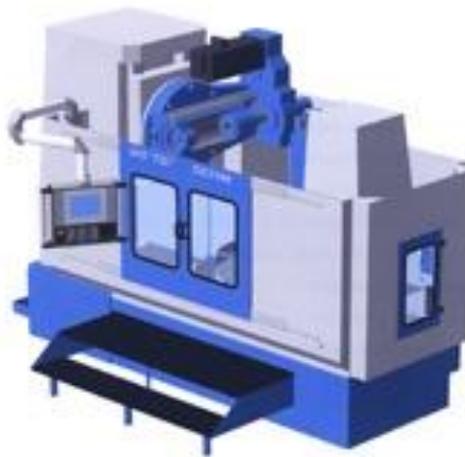


Рисунок 3.3 – Зубофрезерный станок с ЧПУ 53С50Ф4

Таблица 3.5 – Технические характеристики зубофрезерного станка с ЧПУ 53С50Ф4

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм	320
Наибольший внешний окружной модуль, мм	12
Наибольшая внешняя высота зуба, мм	25
Наибольшее среднее конусное расстояние, мм	195
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	65
Число зубьев изделия	5 – 150
Расстояние от торца шпинделя бабки изделия до центра станка, мм	100 – 400
Номинальный диаметр зуборезных головок, мм	100 – 315
Частота вращения инструментального шпинделя, об/мин	20 – 250
Угловая скорость подачи обкаткой, град/с	0,3 – 9,0
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	7,5
Габаритные размеры	3100x3095x2090
Масса станка, кг, не более	8700

3.3 Выбор промышленных роботов

3.3.1 Выбор роботов (первый вариант компоновки)

Первый вариант компоновки предполагает использование в ГАК двух роботов.

Для обслуживания ГАК первого варианта компоновки в соответствии с компоновочными размерами оборудования выбираем промышленный робот KUKA KR16 и транспортный робот МЕРО 7.



Рисунок 3.4 – Промышленный робот KUKA KR16

Таблица 3.6 – Технические характеристики промышленного робота KUKA KR16

Грузоподъемность, кг	16
Число степеней свободы	6
Погрешность позиционирования, мм	±0,1
Расположение	Напольное
Вес, кг	235
Объем рабочей зоны, м ³	14,5

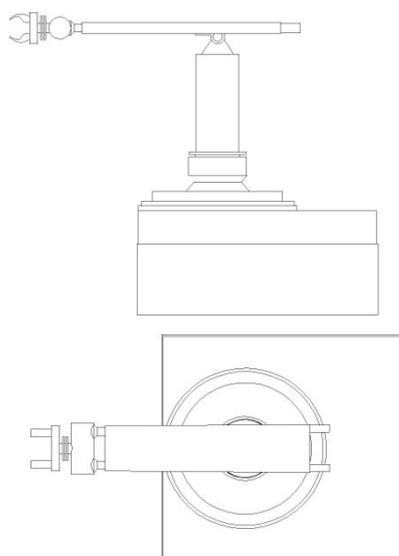


Рисунок 3.5 – Промышленный робот MEPO 7

Основные характеристики робота MEPO 7:

- грузоподъемность, кг: 40;
- число рук/число захватов на руке: 1/1;
- число степеней подвижности : 5;
- тип привода: пневматический;
- система управления: позиционная;
- погрешность позиционирования, ±мм: 1,0;
- габаритные размеры, мм 2005x1400x1500
- масса, кг: 1600.

3.3.2 Выбор робота (второй вариант компоновки)

Второй вариант компоновки использует порталный робот СМ40 (рисунок 3.6).

Таблица 3.7 – Технические характеристики промышленного робота СМ40

Грузоподъемность, кг	40
Число степеней подвижности	4
Тип привода	Пневматический
Погрешность позиционирования, мм	± 1
Максимальный вылет руки, мм	1900
Линейные перемещения: - горизонтальные ($v=1.2$ м/с), мм - вертикальные	10000 -
Угловые перемещения	90^0 ; 90^0 ; 180^0
Скорость угловых перемещений, 0 /сек	30; 30; 90
Скорость линейных перемещений, м/с	0,8
Масса, кг	3400

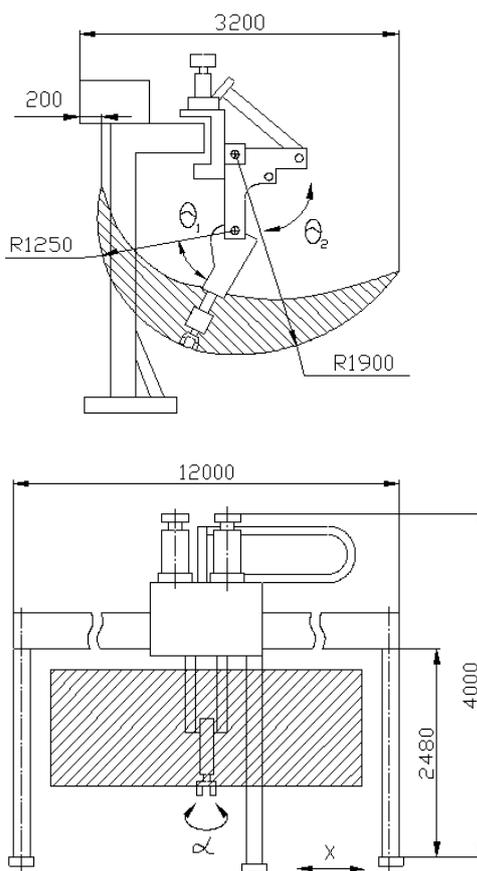


Рисунок 3.6 – Промышленный робот СМ40

3.4 Алгоритм функционирования ГАК

Составим алгоритм функционирования ГАК первого варианта компоновки.

Алгоритм работы робота 1 показан в таблице 3.8, робота 2 в таблице 3.9.

В таблице:

Схв – схват ПР (1 – загружен, 0 – пуст),

С1 – станок 1 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

С2 – станок 2 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

С3 – станок 3 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

С5 – станок 5 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

С6 – станок 6 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

t – время перемещения робота,

l – длина перемещения (угол перемещения)

Таблица 3.8 – Алгоритм функционирования первого робота

№	Действие	Схв	С1	С2	С3	t, сек	l, мм/
1	Станок 1 (разгрузка)	1	0	0	1	3,75	
2	Станок 2 (поворот робота)	1	1	0	1	2	90
3	Станок 2 (загрузка)	1	1	0	1	3,75	
4	Станок 2 (поворот робота)	0	1	1	1	2	180
5	Обработка (ожидание)	0	1	1	1	10	
6	Станок 2 (переустановка полуфабриката)	1	1	1	0	3	
7	Станок 2 (поворот робота)	0	1	1	1	2	180
8	Обработка (ожидание)	0	1	1	1	10	
9	Станок 1 (переустановка полуфабриката)	1	1	0	1	3	
10	Станок 2 (поворот робота)	0	1	1	1	2	180
11	Обработка (ожидание)	0	0	1	1	7	
12	Станок 2 (разгрузка)	1	0	1	0	3,75	
13	Промежуточный стол 4 (поворот робота)	1	0	1	0	2	90
14	Промежуточный стол 4 (загрузка)	1	0	1	0	2	
15	Станок 1 (поворот робота)	0	0	1	0	2	90
16	Обработка (ожидание)	0	0	1	0	8	
17	Станок 1 (разгрузка)	1	0	0	0	3,75	
18	Станок 3 (поворот робота)	1	0	0	0	2	180
19	Станок 3 (загрузка)	1	0	0	0	3,75	
20	Станок 1 (поворот робота)	0	0	0	1	7	90

Таблица 3.9 – Алгоритм функционирования второго робота

№	Содержание алгоритма	Схв	С5	С6	t, сек	l, мм/
1	Промежуточный стол (разгрузка)	1	0	1	3,75	

2	Станок 3 (поворот робота)	1	0	1	2	90
3	Станок 3 (загрузка)	1	0	1	3,75	

Продолжение таблицы 3.9

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

Для данного варианта рассчитаны коэффициенты загрузки оборудования:

- первый токарный станок: $k = \frac{103}{144} = 0,65$

- второй токарный станок: $k = \frac{100}{144} = 0,67$

- третий токарный станок: $k = \frac{100}{144} = 0,58$

- долбежный станок: $k = \frac{118}{144} = 0,7$

- зубофрезерный станок: $k = \frac{108}{144} = 0,63$

- первый ПР: $k = \frac{72}{144} = 0,5$

- второй ПР: $k = \frac{52}{144} = 0,37$

Составим алгоритм функционирования ГАК второго варианта компоновки.

Алгоритм функционирования ГАК с ПР УМ40 показан в таблице 3.10.

В таблице:

Схв – схват ПР (1 – загружен, 0 – пуст),

С1 – станок 1 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

С2 – станок 2 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

С3 – станок 3 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

C5 – станок 5 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

C6 – станок 6 (1 – обработка, 0 – нет обработки),

t – время перемещения робота,

l – длина перемещения (угол перемещения)

Таблица 3.10 – Алгоритм функционирования ПР УМ40

№	Действие	Cxв	C1	C2	C3	C4	C5	t, сек	l, мм/
1	Станок 1 (разгрузка)	1	0	0	1	1	1	5	
2	Станок 2 (перемещение робота)	1	1	0	1	1	1	3	1200
3	Станок 2 (загрузка)	1	1	0	1	1	1	5	
4	Станок 3 (перемещение робота)	0	1	1	1	1	1	3	1000
5	Обработка (ожидание)	0	1	1	1	1	1	26	
6	Станок 3 (переустановка полуфабриката)	1	1	1	0	1	1	8	
7	Станок 2 (перемещение робота)	0	1	1	1	1	1	3	1000
8	Обработка (ожидание)	0	1	1	1	1	1	3	
9	Станок 2 (переустановка полуфабриката)	1	1	0	1	1	1	8	
10	Станок 5 (перемещение робота)	0	1	1	1	1	1	3	3200
11	Обработка (ожидание)	0	0	1	1	1	1	9	
12	Станок 5 (разгрузка)	1	0	1	1	1	0	5	
13	Тара (перемещение робота)	1	0	1	1	0	0	3	950
14	Тара (загрузка)	1	0	1	1	0	0	5	
15	Станок 4 (перемещение робота)	0	0	1	1	0	0	3	950
16	Станок 4 (разгрузка)	1	0	0	1	0	0	5	
17	Станок 5 (перемещение робота)	1	0	0	0	0	0	3	1000
18	Станок 5 (загрузка)	1	0	0	0	0	0	5	
19	Станок 3 (перемещение робота)	0	0	0	0	0	1	3	3200
20	Станок 3 (разгрузка)	1	0	0	0	0	1	5	
21	Станок 4 (перемещение робота)	1	0	0	0	0	1	3	3200
22	Станок 4 (загрузка)	1	0	0	0	0	1	5	
23	Станок 2 (перемещение робота)	0	0	0	0	1	1	3	3200
24	Станок 2 (разгрузка)	1	0	0	0	1	1	5	
25	Станок 3 (перемещение робота)	1	0	0	0	1	1	3	1000
26	Станок 3 (загрузка)	1	0	0	0	1	1	5	
27	Станок 1 (перемещение робота)	0	0	0	1	1	1	3	1200

Рассчитанные коэффициенты загрузки оборудования:

- первый токарный станок: $k = \frac{103}{147} = 0,4$

- второй токарный станок: $k = \frac{100}{144} = 0,52$

- третий токарный станок: $k = \frac{100}{144} = 0,47$

- долбежный станок: $k = \frac{118}{147} = 0,5$

- зубофрезерный станок: $k = \frac{108}{147} = 0,47$

- промышленный робот: $k = \frac{97}{147} = 0,54$

Сравнительные результаты характеристик вариантов компоновок приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Характеристики вариантов компоновок

Характеристики	Компоновка 1	Компоновка 2
Площадь, м ²	140	190
Входное время цикла	261	294
Такт производства детали	142	147
Загрузочные коэффициенты станков	0,65; 0,67; 0,58; 0,7; 0,63	0,4; 0,52; 0,47; 0,5; 0,47

По результатам сравнения вариантов принимаем первую компоновку.

3.5 Выбор вспомогательных систем

При обработке детали в результате выполнения технологических операций побочным результатом обработки являются промышленные отходы (стружка). Система удаления промышленных отходов предусматривает удаление стружки и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Использованная СОЖ и стружка попадают в систему, размещенную на площади участка, затем с помощью конвейерной системы – в централизованную систему очистки и утилизации отходов.

Для всех станков предусмотрена система удаления отходов производства. Для сбора и удаления стружки на участке используются двухвинтовые конвейеры. Они располагаются под полом ГАК. У станков в центре поворотных-делительных столов имеется отверстие-стружкосборник в виде желоба, в который стружка попадает вместе с СОЖ.

Компоновка ГАК учитывает необходимые требованиями удобства обслуживания ГАК оператором и наладчиком. Рабочее место оператора имеет кнопку общей остановки работы ГАК. По периметру участок огорожен забором,

предупреждающим проникновение людей на территорию ГАК и визуализации площади ГАК. В состав ограждения ГАК входят два световых барьера, располагаемые на въезде-выезде из комплекса. При прерывании лучей светового барьера происходит аварийная остановка оборудования ГАК.

4 Проектирование системы управления ГАК

4.1 Постановка задачи разработки системы управления ГАК

Создание системы управления ГАК определено следующими целями:

1. Оперативное и эффективное сопровождение техпроцесса обработки детали;
2. Предупреждение, интерактивное представление аварийных ситуаций и устранение их последствий;
3. Соблюдение технологического регламента работы ГАК с помощью сигналов управления локальным системам технологического оборудования с их диспетчеризацией оператору.

4.2 Штатная работа систем управления оборудованием

Управления технологическим оборудованием реализуется путем эксплуатации системы управления SINUMERIK 810D.

Задачами системы управления являются:

- диагностирование работы оборудования;
- инициализация программ управления обработки детали;
- контролирование качественного протекания технологического процесса при соблюдении регламента;
- безопасность работы ГАК;
- передача информации верхнему уровню системы управления после окончания технологического процесса для разгрузки-загрузки оборудования.

Управляющая система робота предназначена для:

- диагностирования систем робота;

- разгрузка-загрузка оборудования, в том числе контроль захвата и манипуляций заготовок;
- перемещение робота между технологическими позициями оборудования.

4.3 Нештатные ситуации локальных систем управления

При управлении ГАК необходимо соблюдать заданный технологический регламент. В противном случае обработка детали прекращается, и определяются причины аварийной ситуации путем диагностирования оборудования с последующей его под наладкой.

Причинами неисправности технологического оборудования могут являться неполадки:

- обрабатываемого инструмента,
- системы подачи СОЖ,
- приспособлений оборудования,
- механизмов оборудования.

В таких случаях невозможно проведение технологического процесса обработки детали. При таких обстоятельствах происходит аварийный останов ГАК и пересылается сообщение оператору.

При появлении посторонних на территории ГАК (нарушении ограждения/светового барьера) ГАК также останавливается.

4.4 Декомпозиция задачи управления

Задача управления ГАК состоит из множества подзадач, связанных с управлением каждым оборудованием комплекса. Управление обеспечивается путем передачи сигналов управления от нижнего уровня управления оборудованием на второй уровень управления ГАК.

При этом нужно обеспечить решение следующих задач:

1. Обеспечение обработки детали,
2. Обеспечение обслуживания роботом технологического оборудования.

Условиями реализации указанных задач является следующее:

1. Инициализация обрабатываемой программы на станке происходит при:

- отсутствию сигнала нарушения ограждения рабочей зоны оборудования;
- наличию сигнала об исправности оборудования;
- наличию заготовки в оборудовании;
- наличию сигнала фиксации заготовки;
- отсутствию автоматического останова ГАК.

При завершении обработки детали системами управления нижнего уровня формируется дискретный сигнал, передаваемый системе управления верхнего уровня. При этом разрешается доступ в рабочую зону оборудования.

2. Разгрузка оборудования роботом возможна при:

- позиционировании робота на технологической позиции оборудования;
- окончании обработки детали;
- возможности обслуживания рабочей зоны оборудования;
- наличию заготовки в зажимном приспособлении оборудования;
- ослаблении зажима заготовки в приспособлении;
- свободном состоянии схвата;
- отсутствию автоматического режима остановки работы ГАК.

3. Загрузка оборудования роботом возможна при:

- позиционирование робота на технологической позиции оборудования;
- возможности обслуживания рабочей зоны оборудования;
- отсутствию заготовки в зажимном приспособлении оборудования;
- присутствию заготовки в захватном устройстве робота;
- исправности механизмов робота;
- отсутствию автоматического режима остановки работы ГАК.

4.5 Обобщенная структура АСУ ГАК

Структура АСУ ГАК имеет два уровня. На нижнем уровне решаются задачи управления станками и роботами, что обеспечивается локальными системами управления (ЛСУ). На верхнем уровне происходит управление всем

технологическим процессом. В качестве системы автоматизации используется наиболее эффективный и надежный программируемый логический контроллер Simatic S7-300.

Каждая ЛСУ обеспечивает стабильную работу оборудования и выполнение поставленной задачи. В нее входят: центральный процессор, модули памяти, модули ввода/вывода, интерфейсные и функциональные модули.

Управление обработкой детали и диагностика состояния оборудования обеспечивается с помощью различных датчиков (датчики положения, угла поворота, позиционирования), расположенных на оборудовании.

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

Таким образом, в задачи оперативного управления ГАК входит поддержание взаимодействия ЛСУ с обеспечением дуплексного режима обмена информацией между датчиками и исполнительными устройствами.

4.6 Спецификация данных системы управления второго уровня

Таблица 4.1 – Данные входа системы управления второго уровня

№	Данные входа	Сигнал			
Технологические сигналы					
1	Робот 1 на позиции разгрузки-загрузки станка 1	Да	1	Нет	0
2	Робот 1 на позиции разгрузки-загрузки станка 2	Да	1	Нет	0
3	Робот 2 на позиции разгрузки-загрузки станка 3	Да	1	Нет	0
4	Робот 2 на позиции разгрузки-загрузки станка 4	Да	1	Нет	0
5	Робот 2 на позиции разгрузки-загрузки станка 5	Да	1	Нет	0
6	Робот 1 на позиции тары 1 (разгрузка)	Да	1	Нет	0
7	Робот 2 на позиции тары 2 (загрузка)	Да	1	Нет	0
8	Робот 1 на позиции промежуточного стола (загрузка)	Да	1	Нет	0
9	Робот 2 на позиции промежуточного стола (разгрузка)	Да	1	Нет	0
10	Робот1 (зажим заготовки захватом)	Есть	1	Нет	0
11	Доступ к каждому оборудованию ГАК	Есть	1	Нет	0
12	В зажимном приспособлении заготовки (полуфабрикаты)	Да	1	Нет	0
13	Обработка заготовки закончена	Да	1	Нет	0
14	Ослабление зажима заготовки (для разгрузки)	Да	1	Нет	0
15	Робот 2 (зажим заготовки)	Есть	1	Нет	0
Сигналы аварии					
16	Робот исправен	Да	0	Нет	1
17	Схват робота исправен	Да	0	Нет	1
18	Инструмент каждого станка исправен	Да	0	Нет	1
19	Система подачи СОЖ каждого станка исправна	Да	0	Нет	1
20	Станки исправны	Да	0	Нет	1

21	Пневматическая система робота исправна	Да	0	Нет	1
22	Транспортная система исправна	Да	0	Нет	1
23	Технологический процесс остановлен оператором	Да	1	Нет	0
24	Технологический процесс остановлен автоматически	Есть	1	Нет	0

Таблица 4.2 – Данные выхода системы управления второго уровня

№	Данные выхода	Сигнал			
Сигналы управления					
1	Станок 1 (разгрузка-загрузка)	Да	1	Нет	0
2	Инициализация программы обработки на станке 1	Есть	1	Нет	0
3	Станок 2 (разгрузка-загрузка)	Да	1	Нет	0
4	Инициализация программы обработки на станке 2	Есть	1	Нет	0
5	Станок 3 (разгрузка-загрузка)	Да	1	Нет	0
6	Инициализация программы обработки на станке 3	Есть	1	Нет	0
7	Станок 4 (разгрузка-загрузка)	Да	1	Нет	0
8	Инициализация программы обработки на станке 4	Есть	1	Нет	0
9	Станок 5 (разгрузка-загрузка)	Да	1	Нет	0
10	Инициализация программы обработки на станке 5	Да	1	Нет	0
11	Робот 1 (разгрузка тары 1)	Да	1	Нет	0
12	Робот 1 (загрузка промежуточного стола)	Да	1	Нет	0
13	Робот 1 (разгрузка промежуточного стола)	Да	1	Нет	0
14	Робот 2 (загрузка тары 2)	Да	1	Нет	0
Сигналы оповещения					
15	Останов работы ГАК оператором	Есть	0	Нет	1
16	Автоматический останов работы ГАК	Есть	0	Нет	1

4.7 Моделирования управляющего процесса

Моделирование управляющего процесса заключается в разработке математической модели, которая представляет абстрактные математические отношения, описывающие управляющий процесс гибкого автоматизированного комплекса.

Управляющие переменные входных и выходных сигналов приведены в таблицах 4.3 и 4.4 соответственно.

Таблица 4.3 – Идентификация входных данных

№	Сигнал	Идентификатор	Сигнал	Идентификатор
Состояние робота 1 при обслуживании группы станков				
1	Позиционирование на месте взятия	X_1	Отсутствие на месте взятия детали из	$\overline{X_1}$

	детали из тары 1		тары 1	
2	Робот на позиции разгрузки-загрузки С1	X_2	Робот отсутствует на позиции разгрузки-загрузки С1	$\overline{X_2}$
3	Робот на позиции разгрузки-загрузки С2	X_3	Робот отсутствует на позиции разгрузки-загрузки С2	$\overline{X_3}$

Продолжение таблицы 4.3

4	Робот на позиции выкладки детали на промежуточный стол	X_4	Робот отсутствует на позиции выкладки детали на промежуточный стол	$\overline{X_4}$
5	Робот зажал заготовку в схвате	X_5	Заготовка в схвате отсутствует	$\overline{X_5}$
6	Робот исправен	X_7	Робот неисправен	$\overline{X_7}$
7	Схват исправен	X_8	Схват неисправен	$\overline{X_8}$
8	Обслуживание ГАК возможно	X_9	Обслуживание ГАК невозможно	$\overline{X_9}$
Состояние станка 1				
10	Инструмент исправен	X_{10}	Инструмент неисправен	$\overline{X_{10}}$
11	Есть подача СОЖ	X_{11}	Нет подачи СОЖ	$\overline{X_{11}}$
12	Оснастка исправна	X_{12}	Оснастка неисправна	$\overline{X_{12}}$
13	Станок исправен	X_{13}	Станок неисправен	$\overline{X_{13}}$
14	Возможно обслуживание рабочей зоны станка	X_{14}	Обслуживание рабочей зоны станка невозможно	$\overline{X_{14}}$
Состояние заготовки на станке 1				
15	В приспособлении есть заготовка	X_{15}	В приспособлении нет заготовки	$\overline{X_{15}}$
16	Ослабление зажима заготовки (разгрузка)	X_{16}	Ослабление зажима заготовки отсутствует	$\overline{X_{16}}$
17	Окончание обработки детали	X_{17}	Обработка заготовки не завершена	$\overline{X_{17}}$
Состояние станка 2				
18	Инструмент исправен	X_{18}	Инструмент неисправен	$\overline{X_{18}}$
19	Есть подача СОЖ	X_{19}	Нет подачи СОЖ	$\overline{X_{19}}$
20	Оснастка исправна	X_{20}	Оснастка неисправна	$\overline{X_{20}}$
21	Станок исправен	X_{21}	Станок неисправен	$\overline{X_{21}}$
22	Возможно обслуживание рабочей зоны станка	X_{22}	Обслуживание рабочей зоны станка невозможно	$\overline{X_{22}}$
Состояние заготовки на станке 2				
23	В приспособлении есть заготовка	X_{23}	В приспособлении нет заготовки	$\overline{X_{23}}$
24	Ослабление зажима заготовки (разгрузка)	X_{24}	Ослабление зажима заготовки отсутствует	$\overline{X_{24}}$
25	Окончание обработки детали	X_{25}	Обработка заготовки не завершена	$\overline{X_{25}}$
Состояние аварии комплекса				
26	Прерывание техпроцесса оператором	X_{26}	Отсутствие прерывание техпроцесса оператором	$\overline{X_{26}}$
Состояние робота 2 при обслуживании группы станков				

27	Робот на позиции промежуточного стола (разгрузка)	X_{27}	Робот отсутствует на позиции промежуточного стола (разгрузка)	\overline{X}_{27}
28	Робот на позиции разгрузки-загрузки С3	X_{28}	Робот отсутствует на позиции разгрузки-загрузки С3	\overline{X}_{28}
29	Робот на позиции разгрузки-загрузки С4	X_{29}	Робот отсутствует на позиции разгрузки-загрузки С4	\overline{X}_{29}

Продолжение таблицы 4.3

30	Робот на позиции разгрузки-загрузки С5	X_{30}	Робот отсутствует на позиции разгрузки-загрузки С5	\overline{X}_{30}
31	Робот на позиции тары 2 (загрузка)	X_{31}	Робот отсутствует на позиции тары 2 (загрузка)	\overline{X}_{31}
32	Робот исправен	X_{32}	Робот неисправен	\overline{X}_{32}
33	Схват исправен	X_{33}	Схват неисправен	\overline{X}_{33}
34	Обслуживание ГАК возможно	X_{34}	Обслуживание ГАК невозможно	\overline{X}_{34}
Состояние станка 3				
35	Инструмент исправен	X_{35}	Инструмент неисправен	\overline{X}_{35}
36	Есть подача СОЖ	X_{36}	Нет подачи СОЖ	\overline{X}_{36}
37	Оснастка исправна	X_{37}	Оснастка неисправна	\overline{X}_{37}
38	Станок исправен	X_{38}	Станок неисправен	\overline{X}_{38}
39	Возможно обслуживание рабочей зоны станка	X_{39}	Обслуживание рабочей зоны станка невозможно	\overline{X}_{39}
Состояние заготовки на станке 3				
40	В приспособлении есть заготовка	X_{40}	В приспособлении нет заготовки	\overline{X}_{40}
41	Ослабление зажима заготовки (разгрузка)	X_{41}	Ослабление зажима заготовки отсутствует	\overline{X}_{41}
42	Окончание обработки детали	X_{42}	Обработка заготовки не завершена	\overline{X}_{42}
Состояние станка 4				
43	Инструмент исправен	X_{43}	Инструмент неисправен	\overline{X}_{43}
44	Есть подача СОЖ	X_{44}	Нет подачи СОЖ	\overline{X}_{44}
45	Оснастка исправна	X_{45}	Оснастка неисправна	\overline{X}_{45}
46	Станок исправен	X_{46}	Станок неисправен	\overline{X}_{46}
47	Возможно обслуживание рабочей зоны станка	X_{47}	Обслуживание рабочей зоны станка невозможно	\overline{X}_{47}
Состояние заготовки на станке 4				
48	В приспособлении есть заготовка	X_{48}	В приспособлении нет заготовки	\overline{X}_{48}
49	Ослабление зажима заготовки (разгрузка)	X_{49}	Ослабление зажима заготовки отсутствует	\overline{X}_{49}
50	Окончание обработки детали	X_{50}	Обработка заготовки не завершена	\overline{X}_{50}
Состояние станка 5				
51	Инструмент исправен	X_{51}	Инструмент неисправен	\overline{X}_{51}
52	Есть подача СОЖ	X_{52}	Нет подачи СОЖ	\overline{X}_{52}
53	Оснастка исправна	X_{53}	Оснастка неисправна	\overline{X}_{53}

54	Станок исправен	X_{54}	Станок неисправен	\overline{X}_{54}
55	Возможно обслуживание рабочей зоны станка	X_{55}	Обслуживание рабочей зоны станка невозможно	\overline{X}_{55}

Продолжение таблицы 4.3

Состояние заготовки на станке 5				
56	В приспособлении есть заготовка	X_{56}	В приспособлении нет заготовки	\overline{X}_{56}
57	Ослабление зажима заготовки (разгрузка)	X_{57}	Ослабление зажима заготовки отсутствует	\overline{X}_{57}
58	Окончание обработки детали	X_{58}	Обработка заготовки не завершена	\overline{X}_{58}

Таблица 4.4 – Идентификация выходных данных

Сигнал	Назначение
Y_1	Инициализация программы системы управления робота 1 по обслуживанию станка 1
Y_{11}	Инициализация программы системы управления станка 1 по обработке заготовок
Y_2	Инициализация программы системы управления робота 1 по обслуживанию станка 2
Y_{21}	Инициализация программы системы управления станка 2 по обработке заготовок
Y_3	Инициализация программы системы управления робота 1 по обслуживанию станка 3
Y_{31}	Инициализация программы системы управления станка 3 по обработке заготовок
Y_4	Инициализация программы системы управления робота 1 по обслуживанию станка 4
Y_{41}	Инициализация программы системы управления станка 4 по обработке заготовок
Y_5	Инициализация программы системы управления робота 1 по обслуживанию станка 5
Y_{51}	Инициализация программы системы управления станка 5 по обработке заготовок
Y_6	Операторное аварийное прерывание техпроцесса

4.8 Разработка основной логико-математической модели

Интерпретируя разработанную математическую модель

Проведем интерпретацию математической модели. Для этого сведем в одной таблице предусловия и постусловия выполнения управляющих задач.

Таблица 4.5 – Условия выполнения управляющих задач

Сигнал	Условия	
	Предусловия	Постусловия
Y1	$\overline{X_{26}} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_5 \cdot X_7 \cdot X_8 \cdot X_9$	$X_{10} \cdot X_{11} \cdot X_{12} \cdot X_{13} \cdot X_{14} \cdot X_{15} \cdot X_{16}$
Y1.1	$X_{10} \cdot X_{11} \cdot X_{12} \cdot X_{13} \cdot X_{14} \cdot X_{15} \cdot X_{16}$	X_{17}
Y2	$X_2 \cdot X_3 \cdot X_5 \cdot X_7 \cdot X_8 \cdot \overline{X_{26}} \cdot X_9$	$X_{18} \cdot X_{19} \cdot X_{20} \cdot X_{21} \cdot X_{22} \cdot X_{23} \cdot X_{24}$
Y2.1	$X_{18} \cdot X_{19} \cdot X_{20} \cdot X_{21} \cdot X_{22} \cdot X_{23} \cdot X_{24}$	X_{25}
Y3	$X_4 \cdot X_{27} \cdot X_{28} \cdot X_{32} \cdot X_{33} \cdot \overline{X_{26}} \cdot X_{34}$	$X_{35} \cdot X_{36} \cdot X_{37} \cdot X_{38} \cdot X_{39} \cdot X_{40} \cdot X_{41}$
Y3.1	$X_{35} \cdot X_{36} \cdot X_{37} \cdot X_{38} \cdot X_{39} \cdot X_{40} \cdot X_{41}$	X_{42}
Y4	$X_{28} \cdot X_{29} \cdot X_{32} \cdot X_{33} \cdot X_{34} \cdot \overline{X_{26}}$	$X_{43} \cdot X_{44} \cdot X_{45} \cdot X_{46} \cdot X_{47} \cdot X_{48} \cdot X_{49}$
Y4.1	$X_{43} \cdot X_{44} \cdot X_{45} \cdot X_{46} \cdot X_{47} \cdot X_{48} \cdot X_{49}$	X_{50}
Y5	$X_{29} \cdot X_{30} \cdot X_{32} \cdot X_{33} \cdot X_{34} \cdot \overline{X_{26}}$	$X_{51} \cdot X_{52} \cdot X_{53} \cdot X_{54} \cdot X_{55} \cdot X_{56} \cdot X_{57}$
Y5.1	$X_{51} \cdot X_{52} \cdot X_{53} \cdot X_{54} \cdot X_{55} \cdot X_{56} \cdot X_{57}$	X_{58}
Y6		

Рассмотрим представление модели ситуации аварии (сигнал Y6)/

Если возникает нештатная ситуация, то операторское прерывание техпроцесса X_{26} будет являться постусловием. Тогда предусловие:

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

4.9 Разработка архитектуры системы управления.

Каждый станок оснащен своей ЛСУ, которая обеспечивает работу данного технологического оборудования. Выбранное основное технологическое оборудование оснащено системами ЧПУ Siemens Sinumeric 810D.

Датчики оборудования осуществляют диагностику его состояния.

В качестве устройства управления верхнего уровня для проектируемого ГАК выбираем ПЛК SIMATIC S7-300, который обеспечивает гибкость системы управления, благодаря модульной структуре.

Для обеспечения высокой производительности при обеспечении поддержки локальной и распределенной систем ввода-вывода применяется процессор CPU 315-2DP, имеющий интерфейс PROFIBUS-DPV1.

Функционирование ЦПУ обеспечивает блок питания PS 307, который также питает цепи датчиков и исполнительных устройств

Для подключения компонентов системы управления к сети Industrial Ethernet выбираем коммутатор ESM TP80.

Рационально использовать коммуникационный процессор CP 343-1, чтобы разгрузить центральный процессор от выполнения коммуникационных задач.

Коммуникационный процессор CP 343-1 поддерживает:

- транспортные протоколы ISO, TCP/IP и UDP;
- протоколы PG/OP (связь с программаторами и устройствами HMI-интерфейса третьего уровня (цеховое управление);
- протокол S7 (связь клиент-сервер, мультиплексирование).

Встроенные интерфейсы AUI/ITP и RJ45 входят в состав вышеуказанного модуля.

Коммуникационный процессор CP 343-1 выполняет дистанционное программирование контроллера посредством сети, и подключение контроллера к сети Ethernet.

Коммуникационный процессор производит передачу данных с использованием сети Industrial Ethernet.

Для организации обслуживания ведомых устройств через AS-interface применяется коммуникационный процессор CP 343-2, что позволяет обслужить до 248 дискретных входов и до 186 дискретных выходов, а также 31 аналоговое ведомое устройства AS-Interface.

Для взаимодействия работы компонентов системы управления верхнего уровня и обмена информацией с системами управления нижнего уровня (ЛСУ) выбираем интерфейс Industrial Ethernet.

Интерфейс Profibus DP используем для организации сбора информации от систем управления нижнего уровня (ЛСУ станков и роботов) и полевых устройств (датчиков) и передачи этих информационных сигналов системе управления второго уровня.

5 Разработка HMI интерфейса в среде GENESIS 32

5.1 Основные принципы создания интерфейса

При разработке человеко-машинного графического интерфейса необходимо учитывать следующие принципы:

1. Принцип интуитивного интерфейса

Пользователь при работе с интерфейсом не должен испытывать сложностей при поиске необходимых его элементов.

2. Непротиворечивость

Если в процессе работы с системой пользователем были использованы некоторые приемы работы с некоторой частью системы, то в другой части системы приемы работы должны быть идентичны. Также работа с системой через интерфейс должна соответствовать установленным, привычным нормам (например, использование клавиши Enter).

3. Не избыточность

Это означает, что пользователь должен вводить только минимальную информацию для работы или управления системой. Например, пользователь не должен вводить незначимые цифры (00010 вместо 10). Аналогично, нельзя требовать от пользователя ввести информацию, которая была предварительно введена или которая может быть автоматически получена из системы. Желательно использовать значения по умолчанию где только возможно, чтобы минимизировать процесс ввода информации.

4. Непосредственный доступ к системе помощи

В процессе работы необходимо, чтобы система обеспечивала пользователя необходимыми инструкциями. Система помощи отвечает трем основным аспектам - качество и количество обеспечиваемых команд; характер сообщений об ошибках и подтверждения того, что система делает. Сообщения об ошибках должны быть полезны и понятны пользователю.

5. Гибкость

Интерфейс системы должен эффективно обслуживать пользователей с различным уровнем подготовки. Для неопытных пользователей интерфейс может быть организован как иерархическая структура меню, а для опытных пользователей – как команды, комбинации нажатий клавиш и параметры.

Количество отображаемой на экране информации – экранная плотность. Чем меньше экранная плотность, тем отображаемая информация наиболее доступна и понятна для пользователя. Если экранная плотность большая, это вызывает затруднения в усвоении информации и ее ясном понимании. Однако опытные пользователи могут предпочитать интерфейсы с большой экранной плотностью. Информация на экране может быть сгруппирована и упорядочена в значимые части. Это может быть достигнуто с использованием кадров (фреймов), цветового кодирования, рамок, негативного изображения или других методов привлечения внимания.

Для привлечения внимания к элементам интерфейса можно пользоваться выделением этих элементов большей яркостью на фоне других – более темных.

Использование цвета наиболее эффективно, когда цвет используется для:

- группировки информации;
- выделения различий между информацией;
- выделения простых сообщений (ошибки, состояния и т.д.)

В интерфейсе оператора ГАК цвет должен использоваться для отображения состояния процессов и оборудования:

- красный – опасность/стоп,
- зеленый – нормальное состояние/продолжение работы,
- желтый – предупреждение.

Данные на экране необходимо располагать таким образом, чтобы пользователь знал, где найти нужную информацию и где ожидать ее вывода.

При создании текстовых диалогов и отображений целесообразно учитывать, что:

- текст в нижнем регистре читается приблизительно на 13% быстрее, чем текст, который напечатан полностью в верхнем регистре;
- символы верхнего регистра наиболее эффективны для информации, которая должна привлечь внимание;
- выровненный по правому краю текст труднее читать, чем равномерно распределенный текст с не выровненным правым полем;
- оптимальный интервал между строками равен или немного больше, чем высота символов.

5.2 Разработка интерфейса ГАК в GENESIS 32

В соответствии с вышеуказанными требованиями разработан интерфейс для автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора ГАК.

Главный экран пользователя, включающий главное меню представлен на рисунке 5.1.

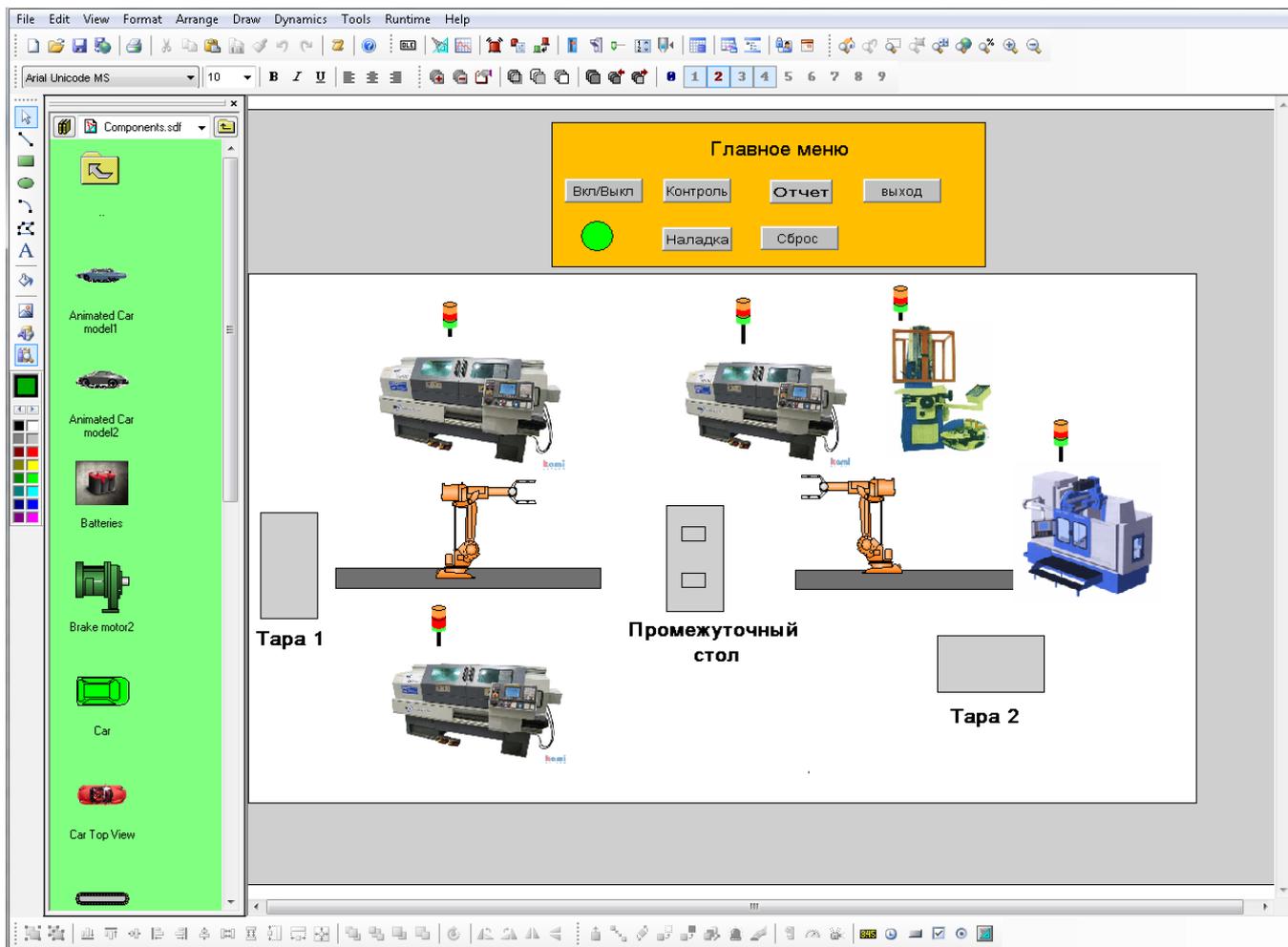


Рисунок 5.1 – Внешний вид интерфейса АРМ оператора

Главное меню АРМ оператора состоит из следующих кнопок:

- Вкл/Выкл – включение или выключение панели главного меню,
- Контроль – отображение состояния оборудования и работы всего ГАК,
- Отчет – вывод отчета о работе ГАК (рисунок 5.2),
- Наладка – вывод состояния каждого оборудования в отдельности (рисунок 5.3),
- Сброс – кнопка сброса при наличии ошибок системы,
- Выход – выход из программы мониторинга работы ГАК.

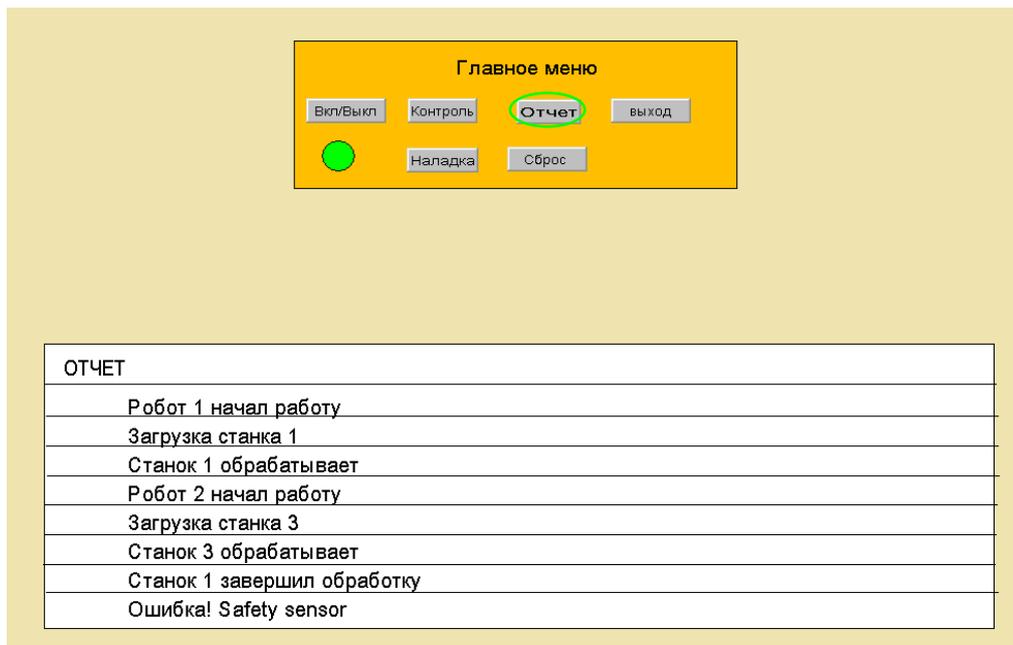


Рисунок 5.2 – Окно «Отчет»

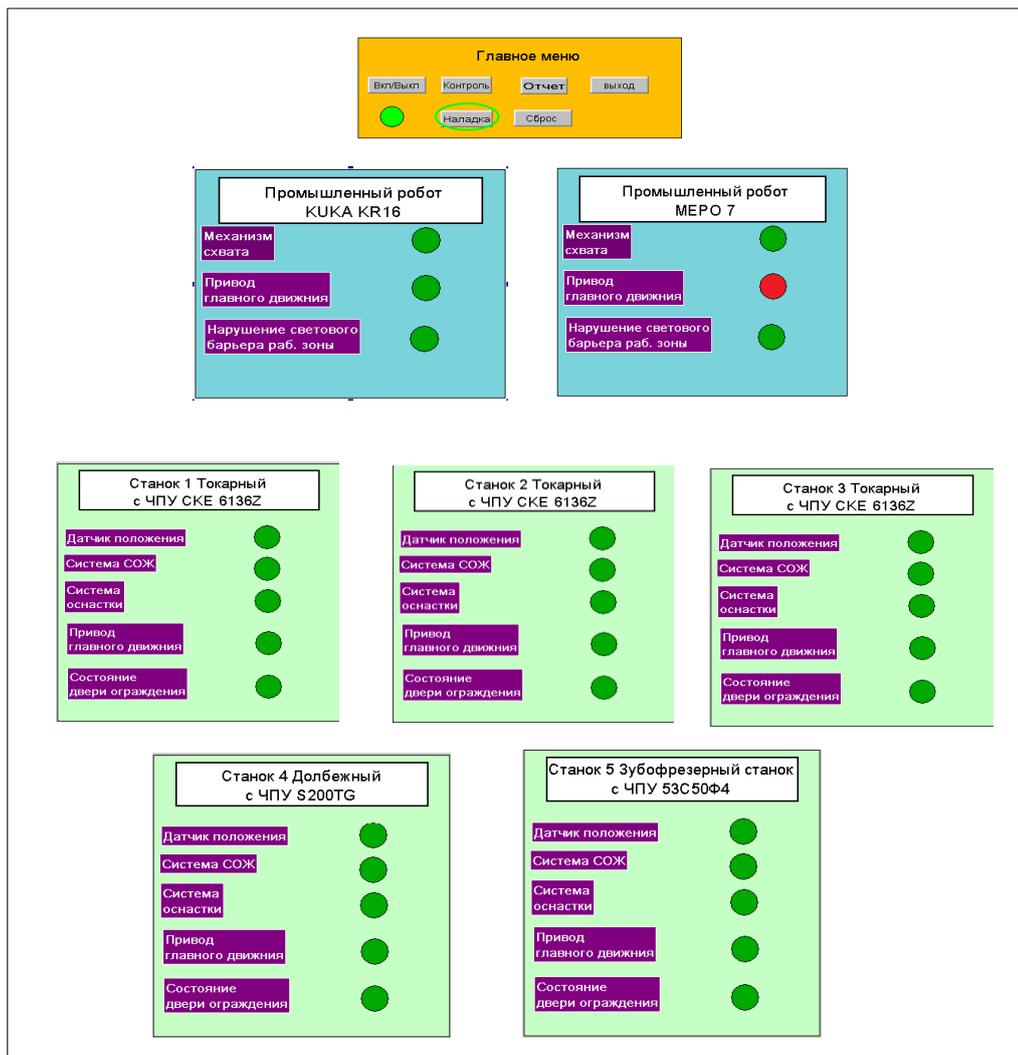


Рисунок 5.3 – Окно «Наладки»

Заключение

В ходе выполнения бакалаврской работы решены следующие задачи:

- произведена разработка технологического процесса для изготовления шестерни с расчетом припусков и режимов резания и разработкой операционной технологии, выбрано основное технологическое оборудование для реализации операций обработки детали;

- спроектирован гибкий автоматизированный комплекс, выбраны роботы для обслуживания основного технологического оборудования, подобрано вспомогательное технологическое оборудование и система обеспечения безопасности работы ГАК. Планировка ГАК проводилась с учетом требований производственной безопасности и доступности оборудования для обслуживания,

- спроектировано специальное захватное устройство для промышленных роботов, используемых в ГАК

- разработана двухуровневая система управления ГАК, выбраны структура системы управления, управляющие устройства и вид организации связи между ними,

- разработан экраный интерфейс АРМ оператора ГАК.

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

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

Список используемой литературы

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 Microsoft Dynamics 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. Кузищин. — 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.