

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 УЧАСТОК ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ОТДЕЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ

Студент	<u>М.А. Хаёлбеков</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

Тема данной выпускной работы: «Гибкий автоматизированный участок изготовления отделочных элементов кузова автомобиля». Бакалаврская работа по направлению подготовки бакалавра 27.03.04 «Управление в технических системах»: - Тольятти, ТГУ, 2019.

Данная бакалаврская работа состоит из пояснительной записки на 56 стр, 22 рисунков, 15 таблиц, списка 25 источников литературы, в том числе 5 источников на иностранном языке и 8 листов графической части формата А1.

В бакалаврской работе изложены цель, поставленные задачи, их анализ и решения. Приведены теория и расчет технологического проекта с обоснованием выбора типа производства, разработкой технологического процесса, выбора технологического оборудования. В проекте рассмотрена разработка приспособления для робота, его конструкция и расчет. Разработана оптимальная по площади и коэффициентам загрузки оборудования компоновка проектируемого участка. Произведен выбор вспомогательного оборудования. Проведена разработка двухуровневой системы управления ГАК с использованием контроллера Simantic S7-300, проанализированы стандартные устройства управления, определены их входные и выходные сигналы, разработана блок-схема алгоритма управления.

Цель настоящей бакалаврской работы состоит в модернизации действующего технологического процесса с учетом требований автоматизации.

В условиях автоматизированного производства необходимо автоматизировать перемещение заготовок и деталей между основным и вспомогательным технологическим оборудованием, а также его загрузку и разгрузку. Это возможно при условии применения автоматизированных транспортных систем и промышленных роботов.

В бакалаврской работе представлен вариант устранения вышеуказанных недостатков путем применения автоматизированного оборудования с разработкой системы управления гибким автоматизированным комплексом.

ABSTRACT

The title of the graduation work is «The flexible automated site for the production of finishing elements of the car body».

The work consists of an explanatory note on 56 pages, 22 figures, 15 tables, a list of 25 sources of literature, including 5 sources in a foreign language and 8 sheets of the graphic part of the A1 format.

The work sets out the goal, the tasks, their analysis and solutions. The theory and calculation of the technological project with the justification of the choice of the type of production, the development of the technological process, the choice of technological equipment are given. The project considers the development of the device for the robot, its design and calculation. An optimal layout for the area and load factors of the equipment has been developed for the layout of the projected area. The selection of auxiliary equipment was made. A two-tier control system for the GAK was developed using the Simantic S7-300 controller, standard control devices were analyzed, their input and output signals were determined, and a control flowchart was developed.

The purpose of this work is to modernize the current process to meet the requirements of automation.

In the conditions of automated production, it is necessary to automate the movement of blanks and parts between the main and auxiliary process equipment, as well as its loading and unloading. This is possible with the use of automated transport systems and industrial robots.

In the work, the option of eliminating the above disadvantages by using automated equipment with the development of a flexible automated complex control system is presented.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Цели и задачи работы	8
2 Анализ исходных данных	9
2.1 Служебное назначение детали	9
2.2 Основные производственные характеристики спойлера	9
2.3 Состояние вопроса	10
3 Модернизация технологического процесса изготовления детали	12
4 Выбор основного и вспомогательного технологического оборудования	14
4.1 Выбор основного оборудования	14
4.1.1 Экструзионно-выдувная установка KBS2-61/60	14
4.1.2 Вырубной пресс фирмы «Таурас-Феникс»	16
4.1.3 Портальный фрезерно-сверлильный станок с ЧПУ GDC	18
4.2 Выбор вспомогательного технологического оборудования	20
4.2.1 Промышленный робот ПРЦ-1	20
4.2.2 Транспортный конвейер	22
4.3 Расчет вакуумного захвата	23
4.3.1 Расчет результирующего отрывающего усилия	23
4.3.2 Расчет силы всасывания присоски	25
5 Разработки компоновки гибкого автоматизированного комплекса	30
6 Разработка системы управления гибким автоматизированным комплексом	31
6.1 Анализ объекта управления	31
6.2 Постановочная задача разработки системы управления	34
6.3 Обслуживание нештатных ситуаций	34
6.4 Аппаратные средства организации управления	35
6.4.1 Обобщенная структура системы управления	35
6.4.2 Система входных и выходных сигналов системы управления	36
6.5 Моделирование процесса управления	37
6.5.1 Декомпозиция задачи	37
6.5.2 Идентификация данных	40
6.5.3 Логические функции задач управления	41
6.6 Структурная схема системы управления	42
6.6.1 Разработка структурно-функциональной схемы системы управления	42
6.6.2 Система управления второго уровня	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	46

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства различных отраслей является фактором, повышающим производительность и качество выпускаемой продукции. Особенно эффективно применение автоматизированного оборудования, оснащенное системами управления различного уровня, действует в условиях серийного и массового производства, когда возможна автоматизация производственных систем различного уровня.

Автоматизированное производство должно также повышать эффективность использования основного технологического оборудования за счет интенсификации его использования, упорядочения структуры производственных подразделений и организации производства.

Автоматизация производства основана на использовании группирования основного и вспомогательного оборудования в гибкие автоматизированные комплексы, в которых локальные системы управления оборудования объединены общей системой управления, обеспечивающей синхронизацию локальных систем и безопасность функционирования комплекса в целом.

В условиях производства различной серийности и массовости при проектировании гибких автоматизированных комплексов целесообразно учитывать их специализацию по применяемому оборудованию или производимым деталям. Это обеспечивает необходимость проектирования и применения специальной оснастки и приспособлений.

В условиях автоматизированного производства необходимо автоматизировать перемещение заготовок и деталей между основным и вспомогательным технологическим оборудованием, а также его загрузку и разгрузку. Это возможно при условии применения автоматизированных транспортных систем и промышленных роботов. Размещение оборудования транспортной системы комплекса должно обеспечивать минимизацию траекторных перемещений объектов транспортирования. При этом при

применении промышленных роботов необходимо обеспечивать безопасность транспортных операций.

Бакалаврская работа посвящена автоматизации технологии изготовления отделочных элементов кузова автомобиля, обеспечивающих его тюнинг (накладок, колесных арок, спойлеров и т.п.). Оборудование, входящее в состав гибкого автоматизированного комплекса, должно быть универсальным, чтобы производить определенную номенклатуру изделий, объединенных общей технологией изготовления и общностью технологических операций.

Для расчета конкретных технологических характеристик гибкого автоматизированного комплекса необходимо принять параметры конкретной производимой детали. Будем рассматривать технологический процесс изготовления спойлера с программой выпуска в 50000 спойлеров в год.

Существующий технологический процесс изготовления отделочных элементов кузова автомобиля недостаточно эффективен для данной номенклатуры изделий, так как применяемое оборудование и приспособления недостаточно универсальны и автоматизированы, а производственный комплекс не обладает необходимой гибкостью. Указанное не обеспечивает требуемую производительность комплекса оборудования.

В бакалаврской работе представлен вариант устранения вышеуказанных недостатков путем применения автоматизированного оборудования с разработкой системы управления гибким автоматизированным комплексом.

1 Цели и задачи работы

Отделочные элементы кузова автомобиля предназначены для улучшения его внешнего вида и повышение аэродинамических характеристик. Необходимо обеспечить их качественное производство за счет автоматизации производства и использования эффективного управления.

Цель настоящей бакалаврской работы состоит в модернизации действующего технологического процесса с учетом требований автоматизации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выбрать технологические операции для реализации их на автоматизированном оборудовании,
- подобрать автоматизированное основное и вспомогательное технологическое оборудование,
- спроектировать автоматизированную оснастку для используемого оборудования,
- разработать компоновочную схему расположения оборудования гибкого автоматизированного комплекса,
- разработать многоуровневую систему управления гибким автоматизированным комплексом.

2 Анализ исходных данных

2.1 Служебное назначение детали

Отделочные элементы кузова улучшают его внешний вид. Спойлер как представитель номенклатуры отделочных элементов повышает аэродинамику автомобильного кузова путем перераспределения потоков воздуха, обтекающих автомобиль. Это снижает расход топлива за счет уменьшения коэффициента лобового сопротивления и улучшает скоростные характеристики автомобиля.

Вся номенклатура набора отделочных элементов и, в частности, спойлера производится с использованием полимерных термопластиков. Основным компонентом является поликарбонат. Используемый материал является двухкомпонентным, поэтому полимеризация происходит при смешении компонентов, что позволяет варьировать их пропорции и получать материалы с требуемым сочетанием свойств, касательных механической и термо- устойчивости.

2.2 Основные производственные характеристики спойлера

Производство деталей отделки кузова автомобиля, в частности спойлера, характеризуется количеством изделий, выпускаемых за год, и ресурсами, затрачиваемыми на производство изделий, трудоемкостью.

В соответствии с производственными параметрами производимая деталь имеет среднюю трудоемкость с учетом точности технологических операций. Учитываем также, что за год необходимо выпустить 50000 изделий.

Из предварительных расчетов известно, что такт выпуска изделия (временной промежуток между выпуском очередных изделий) равен $t_B = 3,14$ мин.

Программа производства изделия и его трудоемкость определяют тип производства. Ресурсы, затрачиваемые на изготовление изделия, определяются, прежде всего, продолжительностью выполнения самой длительной операции ($T_{шт} = 0,2$ мин). Причем, указанная операция выполняется параллельно на нескольких станках с учетом обеспечения эффективности использования основного технологического оборудования.

2.3 Состояние вопроса

Рассмотрим текущую технологию изготовления детали «спойлер». Анализ недостатков существующего технологического процесса позволит автоматизировать производство спойлера.

Спойлер производится в полуавтоматическом режиме. Изготовление детали происходит с использованием механизированного оборудования и механизированного приспособления. Обслуживание оборудования (его разгрузка и загрузка), некоторые технологические операции (обрезка обоя, сверление и фрезерование требуемых отверстий), транспортирование изделия осуществляются вручную.

Обслуживание технологического оборудования и выполнение операций осуществляют три человека. Для механизации ручной транспортировки изделий между оборудованием применяются тележки (рисунок 2.1).

Для автоматизации технологического процесса производства спойлера требуется:

- модернизировать существующий технологический процесс,
- выбрать требуемое основное и вспомогательное технологическое оборудование,
- спроектировать компоновку гибкого производственного комплекса для размещения выбранного основного и вспомогательного технологического оборудования,

- рассмотреть алгоритм функционирования гибкого автоматизированного комплекса и разработать необходимую систему управления комплексом, реализующую автоматизацию технологического процесса с использованием автоматизированного оборудования.



Рисунок 2.1 – Тележка для перемещения изделий

3 Модернизация технологического процесса изготовления детали

Модернизация технологического процесса изготовления детали заключается в его автоматизации. При этом человек полностью устраняется от выполнения основных и вспомогательных технологических операций за счет автоматизации технологического процесса и применения автоматизированного оборудования.

Модернизированный автоматизированный технологический процесс включает следующие технологические операции:

1. - наполнение силоса исходным материалом-гранулятом,
 - автоматизированная подача гранулята и дробленых отходов производства в установку смешения и дотации,
 - подача смеси в экструзионную установку (рисунок 3.1).
2. Пуск экструзионной установки (рисунок 3.2):
 - поступление смеси в головку аккумулятора,
 - экструзия заготовки для прессования,
 - закрытие полуформ,
 - раздутие заготовки наддуваемым воздухом,
 - открытие полуформ,
 - схватывание заготовки грейферным механизмом,
 - разгрузка формы грейферным механизмом.
3. Перемещение вакуумным захватом первого робота заготовки для обрезки облоя на приспособление-ложемент.
4. Обрезка облоя с помощью гидравлического механизма обрезающего пресса.
5. Перемещение заготовки вторым роботом на стол фрезерно-сверлильного станка.



Рисунок 3.1 – Силос

6. Закрепление детали на столе фрезерно-сверлильного станка с помощью пневматических зажимов.

7. Операция сверления:

- три отверстия $\varnothing 2$ мм,
- два отверстия $\varnothing 8$ мм,
- одно отверстие $\varnothing 37$ мм.

При переходе на другой диаметр сверления производится смена сверла.

8. Разворот детали механизмом зажима.

9. Фрезерование паза 13x34 мм.

10. Перемещение детали вторым роботом на конвейер транспортно-накопительной системы.

Циклограмма функционирования комплекса показана в графической части.

4 Выбор основного и вспомогательного технологического оборудования

4.1 Выбор основного оборудования

При анализе действующего производства и оборудования, реализующего существующий процесс производства изделия, выяснилось, что для автоматизации производственного процесса целесообразно использовать существующее основное технологическое оборудование – экструзионно-выдувную установку KBS2-61/60.

Для выполнения технологических операций обрезки и сверления необходимо выбрать другое автоматизированное оборудование, позволяющее обеспечить программное управление ходом технологического процесса.

4.1.1 Экструзионно-выдувная установка KBS2-61/60

Рассматриваемое оборудование (рисунок 4.1) имеет высокую производительность и обладает следующими преимуществами:

- автоматическое регулирование подачи воздуха,
- возможность использования различных пресс-форм, позволяющих получить широкую номенклатуру выпускаемой продукции, имеющих возможность их оперативной замены.
- повышенная надежность и увеличенный срок службы оборудования,
- возможность непрерывного выполнения экструзионной операции производства заготовок.

Технические характеристики оборудования:

Узел смыкания:

сила, кН

600

скорость, мм/с

400

максимальное давление смыкания, бар

210

Плита крепления пресс-формы:

ширина, мм

700

длина, мм

1000

максимальный размер раскрытия, мм

1400

ход замыкания

800



Рисунок 4.1 – Экструзионно-выдувная установка KBS2-61/60

Габариты формы:

максимальная ширина, мм

700

минимальная толщина, мм

2 x 300

	максимальная высота, мм	
	1200	
	максимальная масса, кг	2 x 1000
	Гидравлика:	
	емкость масляного бака, л	
300		
	мощность привода, кВт	
30		
	Дополнительная гидравлика для системы смыкания:	
	мощность привода, кВт	4
	Расход энергии:	
	расход воздуха, Нм ³ /час	
115		
	давление воздуха, бар	6-
10		
	потребность в холоде для гидравлики, кДж/час	47000
	Габариты:	
	длина, мм	6800
	ширина, мм	6600
	высота, мм	5400

4.1.2 Вырубной пресс фирмы «Таурас-Феникс»

Пресс (рисунок 4.2) предназначен для вырубки изделий в соответствии с требуемым контуром детали из плоских листовых и объемных заготовок, изготовленных из различных материалов. Вырубка контура любой сложности производится с помощью вырубной матрицы. Оборудование имеет возможность оперативной замены вырубной матрицы, что обеспечивает гибкость производства и позволяет сократить время простоя оборудования при переходе на другую номенклатуру отделочных элементов кузова автомобиля.

Главными преимуществами применения данного оборудования являются:

- простота эксплуатации при настройке, осуществлении технологического процесса и обслуживании,
- обеспечение производства сложных изделий,
- гибкость производственной системы при переходе на изготовление других деталей, относящихся к отделочным элементам кузова автомобиля,
- повышенная безопасность при эксплуатации.

Технические характеристики:

Максимальные габариты вырубной формы:

ширина, мм	700
длина, мм	800
высота, мм:	
при толщине вырубки до 0,5 мм	100
при толщине вырубки до 0,8 мм	80

Обрабатываемый материал:

полимеры, толщина, мм:	до 80
------------------------	-------

Питание пресса:

напряжение	380В; 50Гц; 3
------------	---------------

фазы

потребляемая мощность	1,2 кВт
-----------------------	---------

Тип привода пресса: электромеханический



Рисунок 4.2 – Вырубной пресс фирмы «Таурас-Феникс»

Габаритные размеры пресса, мм:

длина, мм	2110
ширина, мм	1560
высота, мм	1100
Масса пресса, кг	120

4.1.3 Портальный фрезерно-сверлильный станок с ЧПУ GDC

Технические характеристики фрезерно-сверлильного станка (рисунок 4.3):

Рабочий стол:

габариты стола, мм	1250×3000
ширина портала, мм	1820
максимальный вес обрабатываемой детали, кг	2000
параметры Т-образного паза, мм×N	22×9

Пределы перемещений:	
рабочего стола (ось X), мм	3000
люнета (ось Y), мм	1250
люнета (ось Z), мм	400
Пределы скорости вращения шпинделя, об/мин	40-2500
Максимальный момент кручения на оси шпинделя, Нм	120...140
Максимальная сила сопротивления на оси шпинделя, Нм	10000
Мощность на шпинделе, кВт	9...11
Максимальный размер обрабатываемого отверстия, мм	Ø 38
Скорость подачи:	
при резании, мм/мин	1-4000
при быстром перемещении, м/мин	10
Магазин для инструментов:	
тип	линейный
количество инструментов, шт	10
Масса, кг	16000
СЧПУ CNC	SIEMENS



Рисунок 4.3 – Портальный фрезерно-сверлильный станок с ЧПУ GDC

4.2 Выбор вспомогательного технологического оборудования

4.2.1 Промышленный робот ПРЦ-1

Промышленный робот ПРЦ-1 (рисунок 4.4) является универсальным роботом и может применяться для обслуживания различных вспомогательных технологических операций (загрузка-разгрузка оборудования, транспортирование изделий) и выполнения основных технологических операций (сборка, окраска, зачистка литниковой системы, контроль точности изготовления изделий).

В комплект промышленного робота входит рука-манипулятор система управления, шкаф управления электроприводами.

Технические характеристики:

максимальная масса груза, кг	5
количество осей	5
передвижение руки по горизонтали, мм	600

передвижение руки по вертикали, мм	300
угол поворота вокруг вертикальной оси, град	220
угол качания кисти руки, град	90
угол поворота захвата вокруг продольной оси, град	
90...180	
линейная скорость передвижения, м/с	0,5
угловая скорость передвижения, град/с	60
количество позиций программирования при вращении и движении	
руки по вертикали	3
масса, кг	345



Рисунок 4.4 – Промышленный робот ПРЦ-1

Промышленный робот оснащен системой управления, которая реализует программные алгоритмы управления и передвижения, нормализует сигналы входа и выхода информационно-измерительных сигналов и сигналов управления.

Преимуществом применяемой системы управления является ее высокое быстродействие при надежном функционировании, удобстве программирования и обслуживания. Система управления имеет модуль автоматической диагностики функциональных узлов управления.

4.2.2 Транспортный конвейер

При реализации технологического процесса изготовления отделочных элементов кузова автомобиля необходимо обеспечить транспортировку деталей от экструзионно-выдувной установки к обрубному прессу, а затем к фрезерно-сверлильному станку.

Указанные функции выполняет выбранный конвейер (рисунок 4.5). Он используется при процессах поштучной погрузки и разгрузки изделий, транспортировки тары, в том числе и в условиях автоматизированного производства.

Конвейер имеет возможность настройки по высоте в соответствии с габаритами обслуживаемого оборудования. Защитные борта позволяют обеспечить надежное перемещение грузов.



Рисунок 4.5 – Транспортный конвейер

4.3 Расчет вакуумного захвата

Для перемещения изделий от оборудования на транспорт, загрузки-разгрузки пресс-формы, обслуживания выходной тары гибкого автоматизированного комплекса применяются промышленные роботы, которые должны быть оснащены захватами. Отделочные элементы кузова автомобиля изготавливаются из пластика, детали из которого характеризуются малой массой и гладкой поверхностью, поэтому целесообразно использовать вакуумные захваты, которые способны осуществлять захват с высокой надежностью.

При расчете вакуумного захвата необходимо рассчитать:

- результирующее отрывающее усилие, действующее на захватываемую деталь,
- минимальную силу всасывания присоски, необходимую для фиксирования детали на присоске,
- геометрические размеры присоски.

4.3.1 Расчет результирующего отрывающего усилия

Грузоподъемность хватного устройства зависит от взаимодействия сил, действующих на деталь при ее захвате, удерживании и транспортировании:

- прижимающей силы P ,
- нормальной составляющей N отрывающей силы,
- касательной составляющей T отрывающей силы.

Расчетная силовая схема представлена на рисунке 4.6.

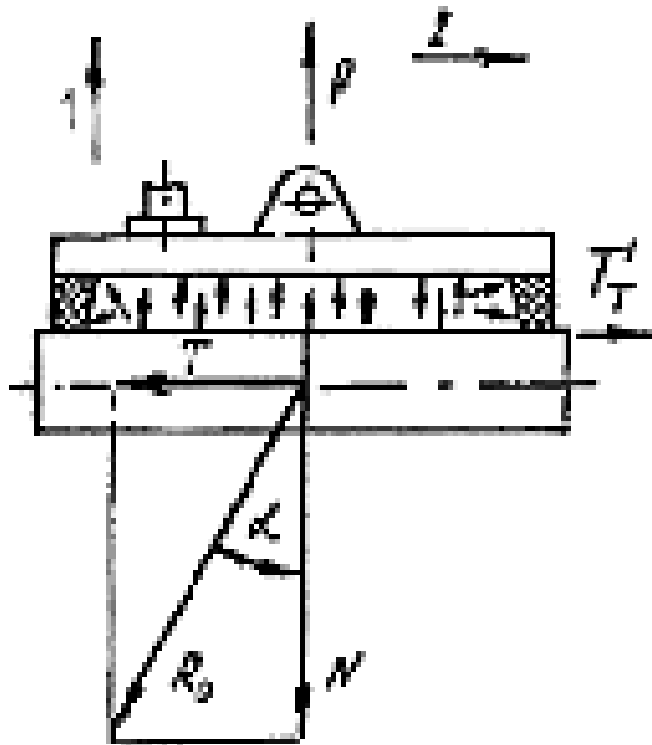


Рисунок 4.6 – Расчетная силовая схема вакуумного захвата

Определим результирующую силу R_0 как векторную сумму нормальной составляющей N и касательной составляющей T отрывающей силы.

С учетом положения захвата с деталью в пространстве возможны несколько вариантов взаимного направления взаимодействующих сил:

- при вертикальном подъеме захвата сила тяжести Q имеет одно направление с прижимающей силой P (рисунок 4.1, 1):

$$N = Q + P_D + P_B \quad (4.1)$$

при этом $T = 0$,

- при горизонтальном движении прижимающая сила P перпендикулярна касательной составляющей T отрывающей силы (рисунок 4.2, 2):

$$N = Q \quad (4.2)$$

$$\text{при этом } T = P_D + P_B = T_T' \quad (4.3)$$

где:

$T_T' = (P - N) f$ – сила трения между грузом и захватом,

f – коэффициент трения между поверхностями изделия и присоской.

Учитывая, что контактируют пластик и резина, принимаем $f=0,2-0,6$.

4.3.2 Расчет силы всасывания присоски

Вакуумный захват должен надежно удерживать деталь при захвате и транспортировании. Поэтому важно, чтобы отрывающие силы имели величину меньшую, чем величина удерживающей силы:

$$N < P \text{ или } T < P = K_N N; \quad T < T_T' \text{ и } T_T'' \text{ или } K_T T < T_T' = K_T T \quad (4.4)$$

где K_N и K_T – коэффициенты запаса по отрывающим силам и силам передвижения детали соответственно.

При нормальной работе вакуумного захвата необходимо существование достаточной разницы между удерживающей силой P и нормальной составляющей N отрывающей силы. Величина этой разницы определяет величину силы q герметизации:

$$P - N = q \cdot S_y \quad (4.5)$$

где S_y – площадь зоны контакта детали с присоской захвата.

Величина силы давления, обеспечивающая герметизацию зоны контакта присоски с деталью, зависит от материалов присоски и детали и шероховатости их поверхности.

Рассчитаем максимальную величину силы герметизации N , обеспечивающей минимальную величину давления q_{\min} в зоне контакта присоски и детали, обеспечивающего удержание детали вакуумным захватом:

$$N = q_{\min} \cdot S_y \quad (4.6)$$

где $q_{\min} = 0,06-0,08$ Мпа с учетом характеристик материала присоски (резиновая смесь).

При получении требуемой герметизации происходит сжатие зоны контакта. Зона контакта перемещается, что приводит к ее деформации на определенную величину. Усилие деформации зависит от материалов присоски и детали и шероховатости их поверхности.

Максимальная величина силы герметизации N отрывающей силы определяется площадью S_Y контакта детали с присоской захвата, давлениями P_0 воздуха и прижима q_{\min} детали к присоске соответственно:

$$N = \xi P = P \cdot q_{\min} S_Y \quad (4.7)$$

где S_Y – площадь зоны контакта детали с присоской захвата;

ξ – коэффициент, учитывающий уменьшение грузоподъемности, определяемый по формуле:

$$\xi = \frac{N}{P} = \frac{P - q_{\min} S_Y}{P} = \frac{SP_0 - q_{\min} SK_1}{SP_0} = 1 - K_1 \frac{q_{\min}}{P_0} \quad (4.8)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от площади S присоски и площади S_Y зоны контакта, и определяемый по формуле

$$K_1 = S_Y / S \quad (4.9)$$

Схема для определения уменьшения грузоподъемности приведена на рисунке 4.7.

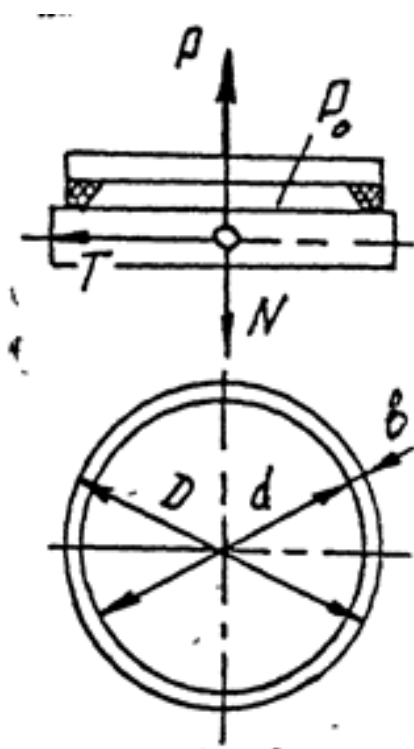


Рисунок 4.7 – Схема определения уменьшения грузоподъемности

В соответствии с толщиной b оболочки определим коэффициент K_1 :

$$K_1 = \frac{S_Y}{S} = \frac{\pi \cdot b(d-b)}{(\pi \cdot d^2)/4} = 4 \frac{b(d+b)}{d^2}; \quad (4.10)$$

При этом коэффициент ξ , учитывающий уменьшение грузоподъемности, также можно определить с учетом толщины b оболочки:

$$\xi = 1 - 4 \left(\frac{b}{d} + \frac{b^2}{d^2} \right) \cdot \frac{q_{\min}}{P_0}. \quad (4.11)$$

Определяем требуемую величину удерживающей силы P (силы присасывания):

$$P = \frac{N}{\xi} \cdot K_N; \quad P = N + \frac{T}{f} \cdot K_T. \quad (4.12)$$

При условии, что $K = K_N = K_T$, получаем:

$$P = \left(\frac{N}{\xi} + \frac{T}{f} \right) \cdot K; \quad (4.13)$$

Для обеспечения гарантированной величины удерживающего усилия вакуумного захвата введем коэффициент запаса $K = 2$.

4.3.3 Расчет площади зоны контакта присоски с деталью

Определим площадь зоны контакта присоски с деталью и давление на данную площадь:

$$P_a - P_b = \frac{N/\xi + T/f}{S_0 \cdot n} \cdot \frac{K}{K_p}; \quad S_0 = \frac{N/\xi + T/f}{(P_a - P_b) \cdot n} \cdot \frac{K}{K_p} = \frac{P}{K_p (P_a - P_b) n}; \quad (4.14)$$

где P_a, P_b – давление вне и внутри камеры соответственно, Па;

n – число присосок;

S_0 – площадь зоны контакта, m^2 .

Для несимметричной детали центр приложения силы удерживания смещается по отношению к центру тяжести изделия (рисунок 4.3).

Уменьшение грузоподъемности вакуумного захвата при условии работы с несимметричной деталью определяется по формуле:

$$\xi = 1 + \left(\frac{Na_1 + T_b}{N + T/f} \right) \cdot \frac{2}{a}. \quad (4.15)$$

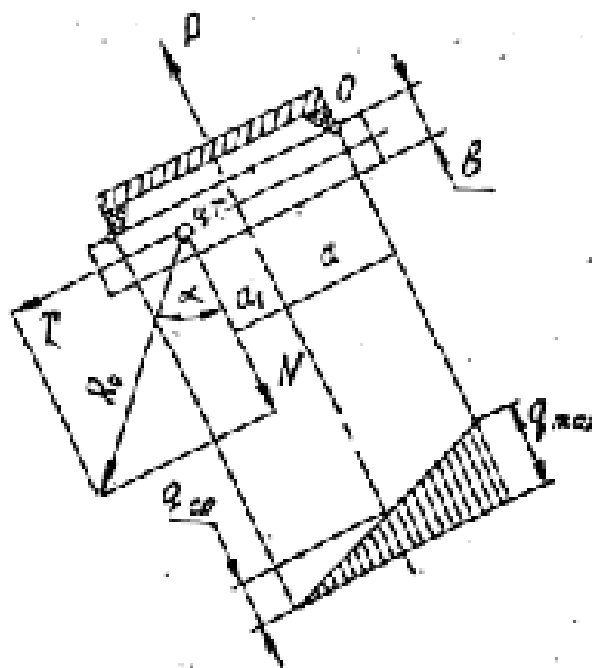


Рисунок 4.8 – Схема смещения захвата при манипуляции с несимметричной деталью

При условии действия на захват внешних сил, коэффициенты увеличения площади удерживания детали равны:

$$\xi_N = 1 + 2 \frac{a_1}{a}; \quad \xi_T = 1 + \frac{2T \cdot b/a}{T/f} = 1 + 2f \frac{b}{a}. \quad (4.16)$$

Промышленный робот имеет три оси перемещения руки – перемещение, подъем, поворот. Поэтому при расчете массы детали учитываются характеристики инерции массы.

$$m \leq \frac{n\pi \cdot d^2 (P_a - P_b)}{4K_H \left[1 + \frac{a_n}{g} + \frac{1}{fg} \sqrt{(r\varepsilon)^2 + (a_{\text{выд}} + r\omega^2)^2} \right]}; \quad (4.17)$$

где d – диаметр отверстия присоски,

K_H – коэффициент запаса при удержании ($K_H = 1,5 - 2$),

a_n – ускорение заготовки при подъеме,

g – ускорение свободного падения,

r – расстояние от оси вращения руки до центра тяжести детали,

ε – угловая скорость руки;

$a_{\text{выд}}$ – ускорение при перемещении руки.

В данной бакалаврской работе в целях экономии формата пояснительной записки значения в расчетные формулы не подставлялись. По результатам расчета вполне чертеж присоски. Он имеет величину удерживающей силы 70 Н. Готовое изделие имеет вес 2 кг, поэтому вакуумный захват имеет значительный запас.

5 Разработки компоновки гибкого автоматизированного комплекса

Необходимо разработать гибкий автоматизированный комплекс изготовления отделочных элементов на примере спойлера.

Исходными данными является выбранное ранее основное и вспомогательное технологическое оборудование. Нужно разместить оборудование на минимально возможной площади гибкого автоматизированного комплекса.

В состав разработанной компоновки входят:

- экструзионно-выдувная машина,
- дробилка обрезных отходов,
- промышленные роботы ПРЦ-1,
- транспортеры,
- обрезной пресс,
- фрезерно-сверлильный станок.

В экструзионно-выдувную машину подаются гранулы пластика. В машине гранулы спекаются в цилиндрическую заготовку, затем выдуваются в деталь. Пресс-форму разгружает первый промышленный робот, который переносит деталь на стол обрезного прессы. Обрезной пресс обрезает облой, который по первому транспортеру подается в дробилку, тем самым обеспечивая безотходность производства.

Второй робот захватывает деталь после обрезки и помещает ее на стол фрезерно-сверлильного станка. Пневмозажимы фиксируют деталь на столе станка. В соответствии с рабочим чертежом станок последовательно обрабатывает различные отверстия и карман, в котором размещается стоп-сигнал. При обработке происходит смена инструмента.

При окончании обработки второй робот захватывает деталь и перекладывает ее на второй транспортер.

С учетом разработанной компоновки была построена циклограмма работы гибкого автоматизированного комплекса.

6 Разработка системы управления гибким автоматизированным комплексом

6.1 Анализ объекта управления

Система управления гибкого автоматизированного комплекса многоуровневая. Первый уровень составляют локальные системы управления основным и вспомогательным технологическим оборудованием.

Работу второго уровня организует промышленный логический контроллер Siemens S7, синхронизирующий работу локальных вычислительных систем первого уровня и обеспечивающий совместную реализацию основным и вспомогательным технологическим оборудованием заданного технологического процесса.

В состав основного и вспомогательного технологического оборудования входят различные датчики. Кроме этого, необходимо иметь информацию об уровне безопасности функционирования гибкого автоматизированного комплекса.

Входные информационные сигналы организуют следующие датчики:

- состояния экструзионно-выдувной машины,
- положения в пространстве степеней подвижностей промышленных роботов, состояния схватов роботов,
- состояния фрезерно-сверлильного станка,
- состояния обрезающего пресса,
- определения и диагностики нештатных ситуаций на гибком автоматизированном комплексе.

Оперативное управление основным и вспомогательным технологическим оборудованием можно рассматривать в качестве основной задачи управления. Для ее решения указанную задачу необходимо разделить на подзадачи:

- управлением движением вакуумного захвата первого робота, перемещающегося к экструзионно-выдувной установке, сопряжение захвата первого робота с заготовкой,

- управление перемещением вакуумного захвата первого робота от экструзионно-выдувной машины к обрезающему прессу, установка спойлера на стол обрезающего пресса,

- управление обрезающим прессом, обрезка литниковой системы с заготовки,

- управление движением вакуумного захвата второго робота к обрезающему прессу, сопряжение захвата с деталью,

- управление движением вакуумного захвата второго робота от обрезающего пресса к фрезерно-сверлильному станку, установка спойлера на стол станка, закрепление детали приспособлением станка,

- управление обработкой на фрезерно-сверлильном станке (сверление, фрезерование, переориентация детали),

- управление движением второго робота к фрезерно-сверлильному станку, сопряжение вакуумного захвата с деталью,

- управление движением второго робота от фрезерно-сверлильного станка к конвейеру, снятие готовой детали с конвейера.

Разработанная циклограмма работы гибкого автоматизированного комплекса представляет последовательность передвижения роботов между основным и вспомогательным технологическим оборудованием, а также иллюстрирует время разгрузки и загрузки оборудования и время их функционирования и простоя.

Разработанная циклограмма дает возможность проводить анализ:

- порядка функционирования промышленных роботов и основного и вспомогательного технологического оборудования,

- времени, в течение которого происходит движение робота, обработка детали на основном технологическом оборудовании, сопряжение и освобождение детали с вакуумным схватом робота,

- время, определяющее цикл функционирования гибкого автоматизированного комплекса, и такт выпуска изделия.

Сформируем в таблицу время, соответствующее выполнению технологических и транспортных операций, выполняемых в течение цикла работы гибкого автоматизированного комплекса.

Таблица 6.1 – Время выполнения операций оборудования комплекса

Операция	Время, с
Технологическая операция 1, экструзионно-выдувная машина	137
Транспортная операция 1, перемещение первого промышленного робота	2
Транспортная операция 1, фиксация захватом, первый промышленный робот	2
Транспортная операция 2, перемещения конвейера	2
Транспортная операция 2, освобождение схвата, первый промышленный робот	2
Технологическая операция 2, обрезной пресс	5
Транспортная операция 2, передвижение второго промышленного робота	2
Транспортная операция 2, фиксация захватом, второй промышленный робот	2
Транспортная операция 3, передвижение второго промышленного робота	2
Транспортная операция 3, освобождение схвата, второй промышленный робот	2
Технологическая операция 4, фиксация приспособления фрезерно-сверлильного станка	5
Технологическая операция 4, фрезерно-сверлильный станок	90
Технологическая операция 4, освобождение приспособления фрезерно-сверлильного станка	5
Транспортная операция 4, передвижение второго промышленного робота	2
Транспортная операция 4, сопряжение схвата с деталью, второй промышленный робот	2
Транспортная операция 5, передвижение второго промышленного робота	4
Транспортная операция 5, освобождение схвата второго промышленного робота	2

6.2 Постановочная задача разработки системы управления

Проанализируем работу локальных систем управления основного и вспомогательного технологического оборудования.

Система управления экструзионно-выдувной машины, управляемая контроллером верхнего уровня выполняет следующие операции:

- поступление гранул, экструзия гранулята,
- закрытие и раскрытие полуформ пресс-формы,
- фиксирование заготовки в захвате робота,
- подача контроллеру второго уровня сигнала об окончании обработки.

Система управления промышленных роботов при получении команды контроллера второго уровня выполняет следующее:

- обслуживание станков по их загрузке-разгрузке,
- передвижение промышленного робота к очередному оборудованию после обслуживания предыдущего оборудования.

6.3 Обслуживание нештатных ситуаций

В управлении проектируемого гибкого автоматизированного комплекса нештатными ситуациями считаются:

- появление персонала или других препятствий в зоне действия промышленных роботов,
- отсутствие гранулята или пресс-формы в экструзионно-выдувной машине,
- в схвате робота при разгрузке экструзионно-выдувной машины отсутствует деталь,
- промышленный робот переместился к обрезающему прессу, а пресс выключен,
- промышленный робот находится на позиции разгрузки обрезающего пресса, а деталь находится в приспособлении пресса,

- промышленный робот переместился к фрезерно-сверлильному станку, а станок выключен,

- промышленный робот находится на разгрузочной позиции фрезерно-сверлильного станка, а обработанная заготовка находится в зажатом станочном приспособлении,

- при операции загрузки конвейера на конвейере отсутствуют свободные позиции для загрузки деталей.

6.4 Аппаратные средства организации управления

6.4.1 Обобщенная структура системы управления

Для управления гибким автоматизированным комплексом используется двухуровневая система управления. Нижний, первый, уровень составляют локальные управляющие системы основного и вспомогательного оборудования со штатными датчиками, контролирующими состояние оборудования. На верхнем, втором, уровне программируемый логический контроллер синхронизирует функционирование локальных систем управления, обслуживает датчики, подключаемые к линии связи с контроллером, обеспечивает средства связи с автоматизированным рабочим местом оператора.

Система управления гибким автоматизированным комплексом снимает информацию об основном и вспомогательном технологическом оборудовании и комплексе в целом с системы различных датчиков.

6.4.2 Система входных и выходных сигналов системы управления

Таблица 6.2 – Входные сигналы системы управления

№	Описание входных сигналов	Характеристика и тип сигнала	
		включен	выключен
1	Состояние экструзионно-выдувной машины	включен	выключен
2	Наличие заготовки в захвате робота при обслуживании экструзионно-выдувной машины	есть	нет
3	Захват первого робота расположен у экструзионно-выдувной машины	да	нет
4	В захвате первого робота есть заготовка	есть	нет
5	Захват первого робота расположен у обрезающего пресса	да	нет
6	Состояние обрезающего пресса	включен	выключен
7	Состояние заготовки на обрезающем прессе	обработана	не обработана
8	Захват второго робота находится у обрезающего пресса	да	нет
9	В захвате второго робота есть заготовка	есть	нет
10	Захват второго робота расположен у фрезерно-сверлильного станка	да	нет
11	Состояние фрезерно-сверлильного станка	включен	выключен
12	Состояние заготовки на фрезерно-сверлильном станке	обработана	не обработана
13	Захват второго робота расположен у конвейера	да	нет
14	Наличие свободных позиций на конвейере	да	нет
15	Наличие заготовки на обрезающем прессе	есть	нет
16	Наличие заготовки в фрезерно-сверлильном станке	есть	нет
17	Наличие персонала и препятствий в рабочей зоне промышленных роботов	да	нет
18	Выдача сигнала выключения всего комплекса	да	нет

Таблица 6.3 – Выходные сигналы системы управления

№	Описание выходных сигналов
1	Сопряжение заготовки с захватом первого робота
2	Загрузка обрезающего пресса
3	Работа обрезающего пресса
4	Сопряжение заготовки с захватом второго робота
5	Загрузка фрезерно-сверлильного станка
6	Работа фрезерно-сверлильного станка
7	Разгрузка фрезерно-сверлильного станка
8	Загрузка конвейера
9	Возникновение внештатной ситуации

6.5 Моделирование процесса управления

6.5.1 Декомпозиция задачи

Система управления предназначена для выдачи управляющих и информационных сигналов в соответствующее время в зависимости от ситуации на гибком автоматизированном комплексе. Рассмотрим условия возникновения сигналов управления для оборудования.

1. Разгрузка экструзионно-выдувной машины:

- схват первого робота свободен,
- схват первого робота переместился к экструзионно-выдувной машине,
- в экструзионно-выдувной машине присутствует заготовка.

2. Загрузка обрезающего пресса:

- схват первого робота занят;
- схват первого робота располагается у пресса,
- зажим станка открыт,
- позиция загрузки робота свободна.

3. Выполнение обрезки на обрезающем прессе:

- на прессе есть заготовка,
- зажим станка закрыт,

- есть питание прессы,

- отсутствует обрезка заготовки.

4. Выгрузка детали из обрезающего пресса:

- хват второго робота свободен,

- хват второго робота располагается у обрезающего пресса,

- отсутствует заготовка в прессе,

- зажим станка открыт.

5. Загрузка фрезерно-сверлильного станка:

- хват второго робота занят,

- хват первого робота располагается у фрезерно-сверлильного станка,

- зажим станка закрыт,

- на позиции загрузки первого робота нет деталей.

6. Обработка на фрезерно-сверлильном станке:

- заготовка присутствует на технологической операции,

- зажим станка закрыт,

- станок подключен к питанию,

- отсутствует обработка заготовки.

7. Разгрузка фрезерно-сверлильного станка:

- хват второго робота свободен,

- хват второго робота располагается у обрезающего пресса,

- заготовка в приспособлении отсутствует,

- зажим станка свободен.

8. Загрузка в выходной конвейер:

- хват второго робота занят,

- хват второго робота располагается у конвейера,

- есть возможность загрузки конвейера.

9. Возникновение нештатной ситуации:

- персонал или препятствия присутствуют в рабочей зоне робота,
или

- не работает экструзионно-выдувная машина,

- отсутствует гранулят,
- отсутствует пресс-форма,

или

- захвата первого робота нет у экструзионно-выдувной машины,
- в схвате пресс-формы нет заготовки,
- в экструзионно-выдувной машине нет заготовки,

или

- схват первого робота расположен у обрезного пресса,
- схват первого робота занят заготовкой,
- отсутствует подключение питания к станку,

или

- схват второго робота расположен у обрезного пресса,
- схват второго робота пуст,
- заготовка осталась в станке,

или

- захват второго робота располагается у фрезерно-сверлильного станка,
- схват второго робота занят,
- станок выключен,

или

- захват второго робота располагается у фрезерно-сверлильного станка,
- схват второго робота свободен,
- заготовка осталась в станке,

или

- захват второго робота располагается у транспортера,
- транспортер не имеет свободной позиции,
- схват второго робота занят.

6.5.2 Идентификация данных

Входные и выходные сигналы, а также сигналы контроля устройств основного и вспомогательного оборудования формируются локальными системами управления оборудования гибкого автоматизированного комплекса.

Таблица 6.4 – Входные сигналы

№	Имя	Сигнал	
		X	\bar{X}
1	X ₁	Экструзионно-выдувная машина включена	Экструзионно-выдувная машина выключена
2	X ₂	В экструзионно-выдувной машине находится заготовка	В экструзионно-выдувной машине заготовка отсутствует
3	X ₃	Захват первого робота находится у экструзионно-выдувной машины	Захват первого робота не находится у экструзионно-выдувной машины
4	X ₄	В захвате первого робота есть заготовка	В захвате первого робота нет заготовки
5	X ₅	Захват первого робота находится у обрезающего пресса	Захват первого робота не находится у обрезающего пресса
6	X ₆	Обрезающий пресс подключен к питанию	Обрезающий пресс отключен от питания
7	X ₇	Обрезающий пресс закончил выполнение операции	Обрезающий пресс не закончил выполнение операции
8	X ₈	Захват второго робота находится у обрезающего пресса	Захват второго робота не находится у обрезающего пресса
9	X ₉	Захват второго робота полон	Захват второго робота пуст
10	X ₁₀	Захват второго робота находится у фрезерно-сверлильного станка	Захват второго робота не находится у фрезерно-сверлильного станка
11	X ₁₁	Фрезерно-сверлильный станок подключен к питанию	Фрезерно-сверлильный станок отключен от питания
12	X ₁₂	Фрезерно-сверлильный станок закончил обработку заготовки	Фрезерно-сверлильный станок не закончил обработку заготовки
13	X ₁₃	Захват второго робота находится у конвейера	Захват второго робота не находится у конвейера
14	X ₁₄	На конвейере имеется свободная ячейка	На конвейере отсутствует свободная ячейка
15	X ₁₅	В обрезающем прессе есть заготовка	В обрезающем прессе нет заготовки

Таблица 6.4 – Входные сигналы (продолжение)

№	Имя	Сигнал	
		X	\bar{X}
16	X ₁₆	Во фрезерно-сверлильном станке присутствует заготовка	Во фрезерно-сверлильном станке нет заготовки
17	X ₁₇	Персонал или препятствия находятся в зоне действия робота	В зоне действия робота отсутствуют персонал или препятствия
18	X ₁₈	Гибкий автоматизированный комплекс отключен от питания	Гибкий автоматизированный комплекс подключен к питанию

Таблица 6.5 – Выходные переменные

№	Имя	Сигнал
1	Y ₁	Сопряжение заготовки с захватом первого робота
2	Y ₂	Загрузка обрезающего пресса
3	Y ₃	Обрезка заготовки на обрезающем прессе
4	Y ₄	Сопряжение заготовки с захватом второго робота
5	Y ₅	Загрузка фрезерно-сверлильного станка
6	Y ₆	Сверление и фрезерование на фрезерно-сверлильном станке
7	Y ₇	Выгрузка заготовки с фрезерно-сверлильного станка
8	Y ₈	Загрузка конвейера
9	Y ₉	Появление внештатной ситуации

6.5.3 Логические функции задач управления

С помощью разработанной математической модели свяжем входные сигналы, снимаемые с датчиков оборудования, с выходными, инициируемые системой управления.

$$Y1 = \bar{X}4 * X3 * X2$$

$$Y2 = \bar{X}15 * X5 * X4$$

$$Y3 = X15 * \bar{X}7 * X6$$

$$Y4 = \bar{X}9 * X8 * X7$$

$$Y5 = \bar{X}16 * X10 * X9$$

$$Y6 = X16 * \bar{X}12 * X11$$

$$Y7 = X12 * X10 * \bar{X}9$$

$$Y8 = X14 * X13 * X9$$

$$Y9 = X17 \vee \bar{X}1 \vee X4 * X5 * \bar{X}6 \vee X8 * \bar{X}9 * \bar{X}7 \vee X9 * \bar{X}11 * X10 \vee X10 * X9 * \bar{X}11 \vee X10 * \bar{X}9 * \bar{X}12 \vee X13 * X9 * \bar{X}14$$

6.6 Структурная схема системы управления

6.6.1 Разработка структурно-функциональной схемы системы управления

Для эффективной работы системы управления гибкого автоматизированного комплекса необходимо сформировать двухуровневую систему управления.

Для передачи данных в двухуровневой системе управления применяются две промышленные сети Profibus DP (полевой уровень) и сеть AS-интерфейса (подключение интеллектуальных устройств и датчиков). Для загрузки программ управления и осуществления обмена информацией с другими уровнями управления применяется сеть Industrial Ethernet.

В целях обслуживания систем распределенного ввода-вывода и системы НМІ (человеко-машинного интерфейса) применяется связь с сетью Profibus DP. Для подключения указанных систем используются встроенные интерфейсы коммуникационных процессоров, входящих в состав программируемого логического контроллера.

Появляется необходимость обслуживания большого количества устройств распределенного ввода-вывода. Это возможно путем подключения к системе управления нескольких сетей Profibus DP. Это позволяет также

обеспечить группировку устройств по различным технологическим признакам.

С учетом необходимости обеспечения быстрого последовательного доступа штатных устройств управления к верхнему уровню управления целесообразно использовать сетевую архитектуру типа «звезда».

Локальные системы управления промышленных роботов в качестве входной информации принимают сигналы от датчиков, контролирующих состояние систем робота. Кроме того, роботы оснащены датчиками, контролирующими правильность выполнения программы управления. Эти датчики контролируют положение звеньев робота, обеспечивают диагностику состояния механизмов. Локальная система управления робота формирует осведомительный сигнал для верхнего, второго, уровня системы управления.

6.6.2 Система управления второго уровня

Функционирование второго уровня управления поддерживается программируемым логическим контроллером SIMATIC S7-300.

В комплект контроллера входят:

- центральный процессор,
- коммуникационный процессор,
- модули ввода-вывода (для обработки входной и выходной информации),
- блок питания.

Для обеспечения связи программируемого логического контроллера SIMATIC S7-300 с шиной Profibus DP используется коммуникационный процессор CP342-5.

Для связи контроллера с сетью Industrial Ethernet выбран коммуникационный процессор CP343-1.

Все коммуникационные процессоры, обеспечивая функции связи с промышленными сетями, обеспечивают разгрузку центрального процессора.

Соединение контроллера SIMATIC S7-300 с AS-интерфейсом обеспечивается коммуникационным процессором CP342-2, являющимся одним из ведущих устройств интерфейса.

Выбираем центральный процессор CPU 315 для построения систем автоматизации обслуживаемых системы, подключаемые по PROFIBUS-DP.

Необходимо подключить к контроллеру панель графического отображения информации SIMATIC OP37 для оператора.

Эту панель по интерфейсу RS 232C связываем с выбранным контроллером.

Для управления роботами используется штатная мультипроцессорная система СФЕРА-36.

Необходимо использование датчиков:

- присутствия заготовки на станке (индуктивные датчики BERO 3RG4, AS-интерфейс),
- наличия выходной тары для готовых деталей (оптические датчики BERO K80, AS-интерфейс),
- положения манипуляторов (индуктивные BERO 3RG4, AS-интерфейс),
- оценки состояния ограждения ГАК (датчики Световой Барьер FS200, AS-интерфейс).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной бакалаврской работы были разработаны следующие вопросы:

1) спроектировано нестандартное приспособление – специальное вакуумное захватное устройство для робота,

2) спроектирован гибкий автоматизированный комплекс по изготовлению детали,

3) составлена модель управления работой спроектированного экструзионно-выдувного комплекса,

4) разработана система управления гибким автоматизированным комплексом.

Цели и задачи бакалаврской работы выполнены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Малюх, В.Н. Введение в современные САПР: Курс лекций / В.Н Малюх. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 193 с.
- 2 Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов / И.П Норенков. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 431 с.
- 3 Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ) / И.Ф Бородин. – М.: КолосС, 2006. – 353 с.
- 4 Брюханов, В.Н. Автоматизация производства / В.Н. Брюханов. – М.: Высшая школа, 2005. – 368 с.
- 5 Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов: – М.: Форум, 2012. – 225 с.
- 6 Капустин, Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов. – М.: Высшая школа, 2007. – 416 с.
- 7 Кукуй, Д.М. Автоматизация литейного производства / Д.М. Кукуй, В.Ф. Диночко. – М.: Новое знание, 2008. – 241 с.
- 8 Мартяков, А.И. Автоматизация технологических процессов и производств. Основы профессиональной деятельности / А.И. Мартяков. – М.: МГИУ, 2010. – 385 с.
- 9 Селевцов, Л.И. Автоматизация технологических процессов / Л.И. Селевцов, А.Л. Селевцов. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 353 с.
- 10 Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебник для ВУЗов. / А.Г. Схиртладзе. – М.: Абрис, 2012. – 567 с.
- 11 Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко. – М.: Абрис, 2012. – 567 с.
- 12 Схиртладзе, А.Г. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник / А.Г. Схиртладзе, В.Н. Воронов, В.П. Борискин. – М.: ТНТ, 2012. – 602 с. 48.
- 13 Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. – М.: ТНТ, 2013. – 526 с.

- 14 Схиртладзе, А.Г. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов / Ю.З. Житников, Б.Ю. Житников, А.Г. Схиртладзе, Ю.З. Житников. – М.: ТНТ, 2011. – 658 с.
- 15 Фельдштейн, Е.Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – М.: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2013. – 266 с.
- 16 Фельдштейн, Е.Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 264 с.
- 17 Пантелеев, В.Н. Основы автоматизации производства. Лабораторные работы: Учебное пособие для начального профессионального образования / В.Н. Пантелеев, В.М. Прошин. – М.: ИЦ Академия, 2012. – 193с.
- 18 Пантелеев, В.Н. Основы автоматизации производства: Учебник для учреждений начального профессионального образования / В.Н. Пантелеев, В.М. Прошин. – М.: ИЦ Академия, 2013. – 209 с.
- 19 Пантелеев, В.Н. Основы автоматизации производства. Лабораторные работы: Учебное пособие для начального профессионального образования / В.Н. Пантелеев, В.М. Прошин. – М.: ИЦ Академия, 2012. – 193с.
- 20 Пантелеев, В.Н. Основы автоматизации производства: Учебник для учреждений начального профессионального образования / В.Н. Пантелеев, В.М. Прошин. – М.: ИЦ Академия, 2013. – 208 с.
- 21 Жолобов, А.А. Технология автоматизированного производства / А.А. Жолобов. – М.: Дизайн ПРО, 2000. – 517 с.
- 22 Lotfi, V., 2000. Implementing flexible automation: A multiple criteria decision making approach. *International Journal of Production Economics*. Elsevier BV, Netherlands, Volume 38, pp. 255-268. 49
- 23 Jovane, F., Koren, Y., Boër, C.R., 2003. Present and Future of Flexible Automation: Towards New Paradigms. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. Ann Arbor, USA, Volume 52, pp. 543-560.
- 24 Kalpakjian, S., 2006. *Manufacturing engineering and technology*. AddisonWesley Publishing, USA, 1199 pp.
- 25 Ollero, A., Boverie, S., Goodall, R., Sasiadek, J., 2005. Mechatronics, robotics and components for automation. *IFAC Proceedings Volumes*. Canada, Volume 38, pp. 1-13.

26 Truett Garrett, M., 2001. Instrumentation, control and automation progress in the united states in the last 24 years. Water Science and Technology. ISA Services Inc, USA, Volume 37, pp. 21-25.