



## АННОТАЦИЯ

В бакалаврской работе изложены цели проекта, поставлены задачи, проведены их анализ и решения. Приведено описание модернизированного технологического процесса. Выбрано основное и вспомогательное технологическое оборудование, обеспечивающее реализацию автоматизированного технологического процесса. Рассмотрена разработка захватного устройства с параллельным перемещением губок для перемещения деталей и загрузки ими приспособления. Разработана прогрессивная система управления ГАУ, изложен ее состав и принципы построения, разработана принципиальная схема системы управления.

## ABSTRACT

The title of the graduation work is "Flexible automated manufacturing site construction finishing elements."

The project goals are stated, the tasks are set, their analysis and solutions are carried out. The description of the modernized technological process.

In the first chapter of the graduation work, the characteristics of the workpiece are examined, as well as the technological process of its processing. The analysis of the technological process allowed us to identify the operations that are subject to automation in the conditions of the designed flexible automated complex.

The main and additional process equipment was selected, which ensures the implementation of the automated technological process.

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.

All parts look toward improving the the effectiveness of the substation, without interrupting electricity transmission to the consumer with the last losses.

The development of a gripping device with parallel movement of lip for moving parts and loading the fixture by them is considered.

The level of implementation includes theoretically calculated parameters of the system, the developed scheme and the selected items.

A progressive control system of the Flexible Automatic Complex has been developed, its composition and principles of construction have been set forth, a schematic diagram of the control system has been developed.

## СОДЕРЖАНИЯ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 6  |
| 1 Анализ технологического процесса производства отделочной плиты .....       | 7  |
| 1.1 Анализ служебного назначения отделочной плиты.....                       | 7  |
| 1.2 Выбор вида организации технологического процесса .....                   | 8  |
| 1.3 Описание технологического процесса изготовления отделочной плиты .....   | 8  |
| 1.3.1 Предварительное вспенивание.....                                       | 8  |
| 1.3.2 Созревание и сушка.....  | 9  |
| 1.3.3 Формование плит.....   | 9  |
| 2 Выбор оборудования гибкого автоматизированного участка.....                | 10 |
| 2.1 Выбор основного технологического оборудования.....                       | 10 |
| 2.1.1 Формовочная машина АПН 7.034.000.000.....                              | 10 |
| 2.1.2 Термопластавтомат ДЕ 3132 .....  | 11 |
| 2.1.3 Термопластавтомат ДЕ 3330.Ф1 .....                                     | 11 |
| 2.1.4 Установка непрерывного вспенивания полистирола АПН 7.029.000.000 ..... | 12 |
| 2.1.5 Бункер вылеживания .....   | 13 |
| 2.1.6 Пресс-машина Инсолематик 160 .....                                     | 14 |
| 2.1.7 Паллетоупаковщик HELIX FS 40.....                                      | 15 |
| 2.2.2 Формирование транспортной системы.....                                 | 22 |
| 3 Проектирование захвата для транспортирования плиты.....                    | 26 |
| 3.1 Проектное задание.....   | 26 |
| 3.2 Геометрический расчет захвата .....                                      | 27 |
| 3.2.1 Определение максимального угла поворота губок .....                    | 27 |
| 3.2.2 Расчет реечной зубчатой передачи .....                                 | 27 |
| 3.3 Кинематический расчет захвата .....                                      | 30 |
| 3.4.1 Нахождение сил в местах контакта деталей и губок .....                 | 32 |
| 3.4.2 Расчет момента кручения на секторе губки.....                          | 34 |
| 3.4.3 Определение усилия и хода рейки привода захвата .....                  | 34 |
| 3.5.1. Проверка отсутствия повреждений при захвате.....                      | 35 |
| 3.5.2 Прочностной расчет реечной передачи.....                               | 36 |
| 3.5.3 Расчет диаметра оси губки схвата .....                                 | 36 |
| 3.5.4. Расчет пружины .....  | 37 |
| 4 Разработка алгоритма работы гибкого автоматизированного участка .....      | 41 |
| 4.1. Выделение действий и необходимых условий .....                          | 41 |
| 4.2 Назначение аргументов сигналам с датчиков.....                           | 45 |

|  |    |
|--|----|
| 4.3 Назначение функций командам контроллера управления оборудованием .....     | 48 |
| 5 Проектирование системы управления гибким автоматизированным комплексом ..... | 53 |
| 5.1 Характеристика объектов управления ГАУ .....                               | 53 |
| 5.2 Стандартные режимы функционирования локальных систем управления .....      | 54 |
| 5.3 Нестандартные режимы функционирования локальных систем управления .....    | 55 |
| 5.4 Декомпозиция задачи управления .....                                       | 55 |
| 5.5 Средства реализации управления .....                                       | 57 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....  | 62 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....   | 63 |

## ВВЕДЕНИЕ

Расширение номенклатуры производства в соответствии со спросом потребителей приводит к необходимости его автоматизации. Гибкость автоматизированного производства обеспечивает быструю перенастройку производства для оперативного перехода на выпуск продукции разной номенклатуры.

В таких условиях появляется необходимость модернизации существующего производства, в состав которого часто входит специализированное оборудование. Поэтому на основе такого специализированного оборудования необходимо создание гибких производственных комплексов и участков с включением в них дополнительного транспортного и вспомогательного оборудования, объединяемого в составе комплексов и участков общей системой управления.

Автоматизированные технологические процессы, реализуемые на основном оборудовании, должны обеспечить производство изделий высокого качества при соблюдении требований малоотходности, экологической чистоты и экономической эффективности.

Функции управления автоматизированным оборудованием и контроль функционирования гибкого производства должны реализовываться современными программно-аппаратными средствами и системами управления.

Целью данной выпускной работы является модернизация участка изготовления строительных отделочных элементов.

## 1 Анализ технологического процесса производства отделочной плиты

### 1.1 Анализ служебного назначения отделочной плиты

Объектом исследования данной работы является отделочная теплозвукоизоляционная фасадная плита (рисунок 1.1).

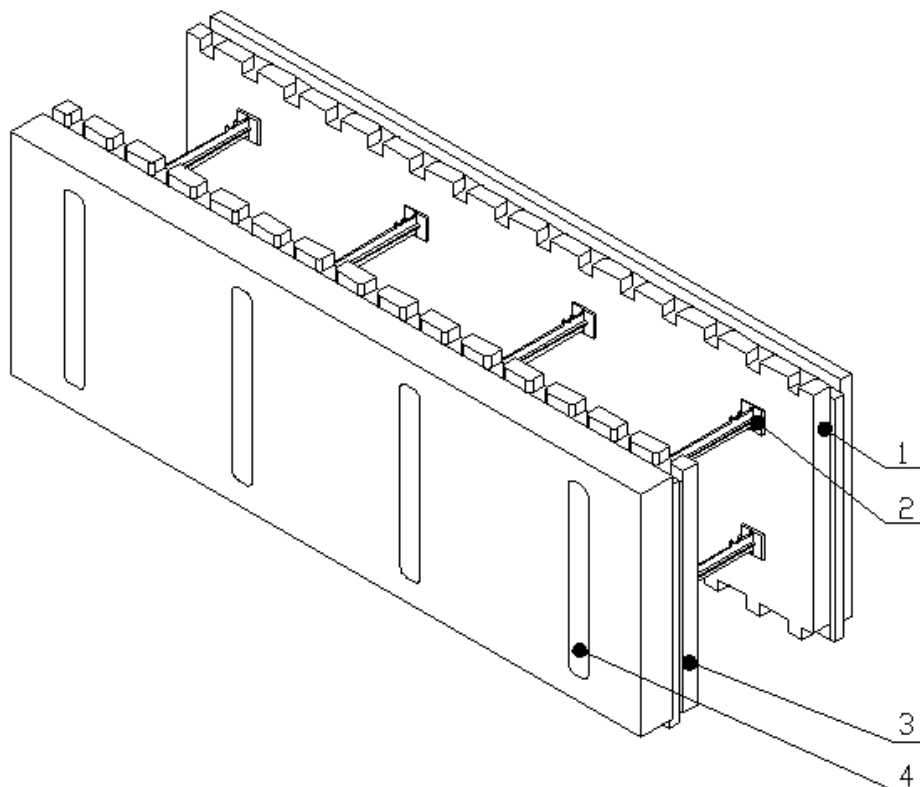


Рисунок 1.1 – Отделочная теплозвукоизоляционная фасадная плита  
1 – внутренняя панель; 2 – перемычка; 3 – кронштейн; 4 – внешняя панель.

Отделочная плита относится к строительным отделочным элементам и обеспечивает утепление стен при строительстве как одноэтажных, так и многоэтажных жилых и производственных зданий и их звукоизоляцию.

Область применения (в зависимости от геологических и геофизических условий):

- обычные условия строительства;
- строительство на вечномерзлых грунтах;
- строительство на просадочных грунтах;
- строительство на подрабатываемых территориях;

- строительство в районах с сейсмичностью до 8 баллов.

Материалом для изготовления плиты методом формования является полистирол. В соответствии с технологией изготовления используется пар и вакуум.

## **1.2 Выбор вида организации технологического процесса**

При производстве отделочной плиты применяется последовательность технологических операций, поэтому трудоемкость ее изготовления можно определить средней. В соответствии с заданием годовой объем производства плит составляет 250 тыс. шт., поэтому это массовое производство. Рационально применить поточную организацию техпроцесса.

Определим такт выпуска данного изделия. По данным производства мы знаем, что каждые 5 минут изготавливается 4 детали. Значит, такт выпуска одного изделия составляет:

$$t_e = \frac{5}{4} = 1,25 \text{ мин.} \quad (1.1)$$

## **1.3 Описание технологического процесса изготовления отделочной плиты**

### **1.3.1 Предварительное вспенивание**

Полимер предварительно вспенивается при его обработке воздушной смесью. Предварительно в пустую камеру вспенивания набирается пар, который нагревает камеру до 90°C. Гранулы полистирола засыпают в камеру.

Необходимо контролировать температуру, параметры паровоздушной смеси, вес полистирола, осуществлять загрузку/выгрузку полистирола.

Если произошла аварийная остановка необходимо отключить подачу пара и полистирола, чтобы исключить спекание последнего. Как только камера заполнится воздухом необходимо выгрузить вспененный полистирол.



Насыпной вес полистирола регулируется его подачей или увеличением объема пара в камере вспенивания.

### **1.3.2 Созревание и сушка**

Вспененные гранулы полистирола поступают в сушилку, которую они нагревают до 80°C. После высыхания гранулы по пневмоприводную попадают в бункер, где происходит их вылеживание и созревание. Для обеспечения требуемой производительности процесса подготовки гранул необходимо несколько бункеров.

При созревании происходит выравнивание давления внутри гранул до атмосферного. Процесс сушки и созревания производится с помощью теплого сжатого воздуха, который проходит через сушилку и бункер.

Готовые вспененные и высушенные гранулы по пневмоприводную поступают в приемный бункер формовочной машины.

### **1.3.3 Формование плит**

Формование осуществляется с применением формовочной машины, в пресс-форму которой подаются гранулы вспененного полистирола. Гранулы одновременно прогреваются и спекаются в изделие, которое затем охлаждается с помощью вакуума. При раскрытии пресс-формы с откачанным воздухом происходит микровзрыв, что позволяет отделить изделие от поверхности пресс-формы. Затем плита извлекается из пресс-формы толкателями.

В существующем технологическом процессе при формовании оператор контролирует ход процесса и осуществляет укладку плит в выходную тару.

Готовые изделия подвергаются сушке и стабилизации, при которой внутреннее давление в плите выравнивается до атмосферного.

## 2 Выбор оборудования гибкого автоматизированного участка

### 2.1 Выбор основного технологического оборудования

#### 2.1.1 Формовочная машина АПН 7.034.000.000

Формовочная машина АПН 7.034.000.000 (рисунок 2.1, таблица 2.1) используется для производства комплекта строительных отделочных элементов из полистирола.



Рисунок 2.1 – Формовочная машина АПН 7.034.000.000

Таблица 2.1 – Технические характеристики

|   |  |                             |
|---|--|-----------------------------|
| 1 | Усилие смыкания плит, кН                                   | 110                         |
| 2 | Давление пара, Мпа   | 0,25-0,30                   |
| 3 | Давление воды, Мпа   | 0,15-0,20                   |
| 4 | Размеры формуемых деталей, мм<br>длина<br>ширина<br>высота | 100-940<br>70-630<br>10-350 |
| 5 | Цикл формования, мин                                       | 2-8                         |
| 6 | Габаритные размеры машины, мм<br>Длина*ширина*высота       | 4070*1560*2430              |

### 2.1.2 Термопластавтомат ДЕ 3132

Термопластавтомат ДЕ 3132 (рисунок 2.2, таблица 2.2) применяется для получения отливок из пластика (полистирол, полиэтилен, полипропилен) под давлением.



Рисунок 2.2 – Термопластавтомат ДЕ 3132

Таблица 2.2 – Технические характеристики

| Литьевой узел      |   |                |
|--------------------|---|----------------|
| 1                  | Шнек, диаметр, мм                             | 60             |
| 2                  | Литьевое давление, МПа                        | 160            |
| 3                  | Объем узла, см <sup>3</sup>                   | 310            |
| 4                  | Литьевая скорость, см <sup>3</sup> /с         | 155            |
| Запирающий узел    |   |                |
| 5                  | Запирающее усилие, кН                         | 1650           |
| 6                  | Ход плиты, мм                                 | 400            |
| 7                  | Ход толкателя, мм                             | 145            |
| Параметры автомата |   |                |
| 8                  | Масса, кг                                     | 5600           |
| 9                  | Габаритные размеры, мм<br>длина*ширина*высота | 4500*1250*2000 |

### 2.1.3 Термопластавтомат ДЕ 3330.Ф1

Термопластавтомат ДЕ 3330.Ф1 (рисунок 2.3, таблица 2.3) применяется для получения отливок из пластика (полистирол, полиэтилен, полипропилен) под давлением.



Рисунок 2.3 – Термопластавтомат ДЕ 3330.Ф1

Таблица 2.3 – Технические характеристики

|   |   |                |
|---|---|----------------|
| 1 | Ход плиты, мм                                 | 340            |
| 2 | Максимальное расстояние между плитами, мм     | 620            |
| 3 | Ход толкателя, мм                             | 110            |
| 4 | Максимальная площадь изделия, см <sup>3</sup> | 260            |
| 5 | Литьевое давление, Мпа                        | 180            |
| 6 | Габаритные размеры, мм<br>длина*ширина*высота | 4000*1200*1900 |
| 7 | Масса, кг                                     | 3200           |

#### **2.1.4 Установка непрерывного вспенивания полистирола АПН 7.029.000.000**

Установка (рисунок 2.4, таблица 2.4) предназначена для вспенивания подготовленных гранул полистирола.



Рисунок 2.4 – Установка непрерывного вспенивания полистирола

Таблица 2.4 – Технические характеристики

|   |   |               |
|---|---|---------------|
| 1 | Производительность, кг/ч                      | 100           |
| 2 | Емкость установки, м <sup>3</sup>             | 0,5           |
| 3 | Давление пара, МПа                            | 0,25-0.35     |
| 4 | Габаритные размеры, мм<br>длина*ширина*высота | 1240*830*1800 |
| 5 | Масса, кг                                     | 360           |

### 2.1.5 Бункер вылеживания

Оборудование (рисунок 2.5) предназначено для выдержки вспененного полистирола с целью выравнивания внутреннего давления вспененных гранул с атмосферным. Технические характеристики бункера представлены в таблице 2.5.



Рисунок 2.5 Бункер вылеживания

Таблица 2.5 – Технические характеристики

|   |   |                |
|---|---|----------------|
| 1 | Объем, м <sup>3</sup>                         | 10             |
| 2 | Габаритные размеры, мм<br>длина*ширина*высота | 2100*2100*2800 |
| 3 | Масса, кг                                     | 300            |

### 2.1.6 Пресс-машина Инсолематик 160

Гидравлическая пресс-машина (рисунок 2.6) снабжена прессом с усилием 160 т, который имеет двенадцати позиционный вращающийся стол, облегчающий охлаждение изготовленных деталей.

Разогретый пластик подается через два сопла в нижней части прессы.

Оборудование снабжено устройством управления, контролирующим параметры технологического процесса.

Технические характеристики пресс-машины приведены в таблице 2.6.

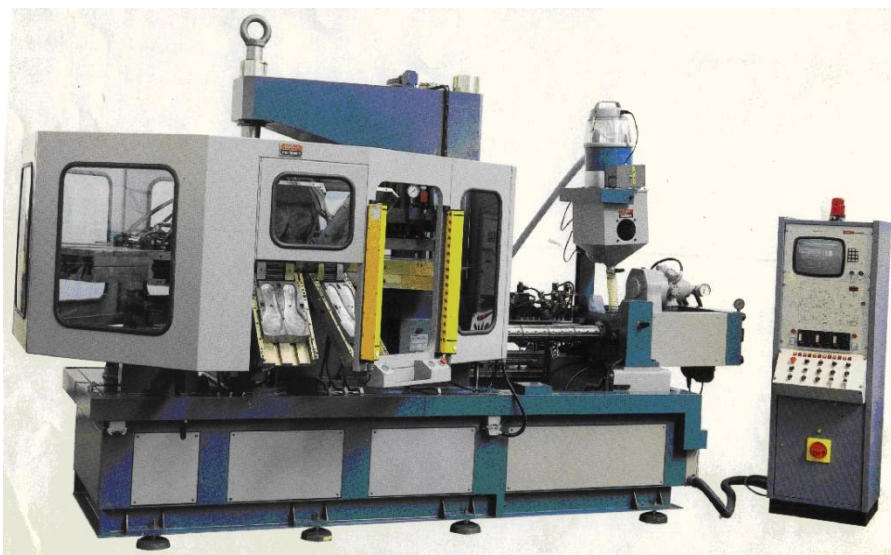


Рисунок 2.6 – Пресс-машина Инсолематик 160

Таблица 2.6 – Технические характеристики

|    |   |                |
|----|---|----------------|
| 1  | Шнек, диаметр, мм                                 | 44             |
| 3  | Объем впрыска, см <sup>3</sup>                    | 230            |
| 9  | Площадь штампованной поверхности, см <sup>2</sup> | 780            |
| 10 | Усилие прессы, т                                  | 160            |
| 13 | Усилие толкателя, кг                              | 420            |
| 19 | Мощность нагрева, кВт                             | 8,6            |
| 14 | Габариты, мм<br>длина*ширина*высота               | 4400*2380*2570 |
| 15 | Масса, кг   | 8400           |

### 2.1.7 Паллетоупаковщик HELIX FS 40

Паллетоупаковщик HELIX FS 40 (рисунок 2.7) используется для автоматизации упаковки паллет с произведенной продукцией.

Подаваемая конвейером паллета поступает в паллетоупаковщик. Роботизированная каретка с рулоном пленки обматывает ей паллету по всей поверхности. Затем пленка автоматически закрепляется и обрезается.

Оборудование имеет систему управления SIEMENS S7 200.

Технические характеристики паллетоупаковщика представлены в таблице 2.7.



Рисунок 2.7 – Паллетоупаковщик HELIX FS 40

Таблица 2.7 – Технические характеристики

|    |                                 |                      |
|----|---------------------------------|----------------------|
| 1  | Максимальный размер паллеты, мм | 1200x1100            |
| 2  | Минимальная высота паллеты, мм  | 800                  |
| 3  | Максимальная высота паллеты, мм | 2000                 |
| 4  | Максимальный вес паллеты, кг    | 1500                 |
| 5  | Скорость конвейера, м/мин       | 12                   |
| 6  | Питание                         | 380 В, 50 Гц, 3 фазы |
| 7  | Потребляемая мощность, кВт      | 3                    |
| 8  | Сжатый воздух, атм              | 6                    |
| 9  | Скорость вращения, об/мин       | 20                   |
| 10 | Производительность, паллет/час  | 40                   |

В конструкцию паллетоупаковщика входят:

- узел подачи пленки, регулирующее ее натяжение на углах паллеты и скорость размотки;
- устройство автоматической обрезки и закрепления пленки, которое припаивает конец пленки, а затем обрезает;
- приводной роликовый входной конвейер для транспортировки паллет (размеры конвейера 2040x1100 мм, скорость 15 м/мин);
- конвейер для транспортировки паллета в рабочей части машины (размеры конвейера 3600x1100 мм);



- приводной отводящий роликовый конвейер (размеры конвейера 2040x1100 мм).

## **2.2 Выбор вспомогательного технологического оборудования**

Для обслуживания основного технологического оборудования необходимо подобрать промышленные роботы, учитывая следующие требования:

- грузоподъёмность;
- площадь рабочей зоны и её форму (минимальное расстояние между оборудованием – 600 мм);
- наличие необходимых степеней подвижности;
- точность перемещения по координатам;
- скорость перемещения по координатам.

Также необходимо сформировать транспортную систему гибкого автоматизированного участка и выбрать вспомогательную тару.

Указанным критериям соответствуют следующие роботы:

- RoboFlex RF-4, компания GUEDEL;
- FANUC M-16iB/10LT;
- Wittmann Robots W721UHS.

### **2.2.1. Выбор промышленных роботов**

Робот RoboFlex

Робот RoboFlex (рисунок 2.8) оснащен рукой с 5 осями перемещений, которая установлена на опоре, перемещающейся по порталу. Робот обеспечивает перемещение в требуемом направлении и поворот на требуемый угол. Малая масса робота гарантирует очень высокую динамику, максимальную жесткость и точность.

Технические характеристики робота представлены в таблице 2.8.

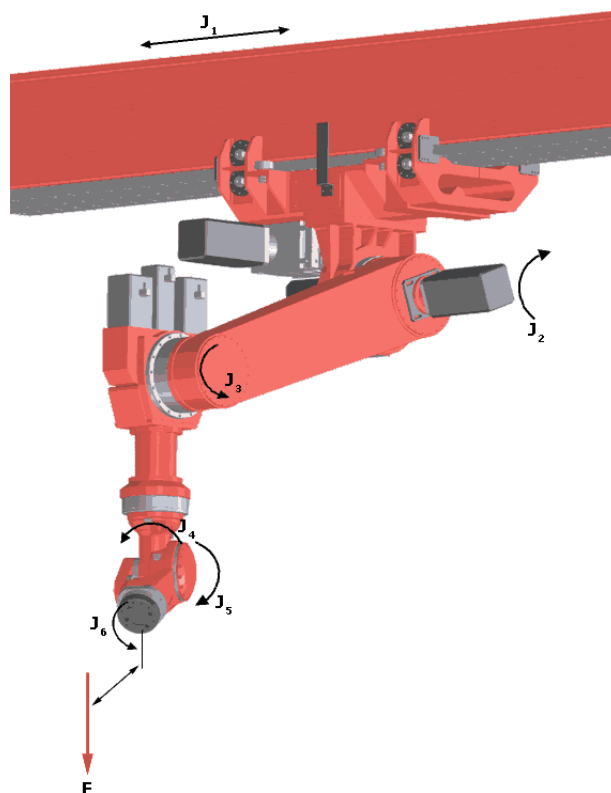


Рисунок 2.8 – Робот RoboFlex

Таблица 2.8 – Технические характеристики

|                                       |    |                   |          |
|---------------------------------------|----|-------------------|----------|
| Максимальный вес груза в запястье     | F  | КГ                | 100      |
| Максимальный вес груза в положении J3 |    | КГ                | 10       |
| Диапазон движения (по осям)           | J1 | мм                | до 20000 |
|                                       | J2 | °                 | 270      |
|                                       | J3 | °                 | 310/360  |
|                                       | J4 | °                 | >360     |
|                                       | J5 | °                 | 240      |
|                                       | J6 | °                 | 360      |
| Скорость движения (по осям)           | J1 | м\с               | 2        |
|                                       | J2 | °\с               | 120      |
|                                       | J3 | °\с               | 120      |
|                                       | J4 | °\с               | 225      |
|                                       | J5 | °\с               | 225      |
|                                       | J6 | °\с               | 225      |
| Допустимый момент груза в запястье    | J4 | Нм                | 500      |
|                                       | J5 | Нм                | 500      |
|                                       | J6 | Нм                | 240      |
| Инерция запястья                      | J4 | кг·м <sup>2</sup> | 40       |
|                                       | J5 | кг·м <sup>2</sup> | 40       |
|                                       | J6 | кг·м <sup>2</sup> | 15       |
| Рука длины 1                          |    | мм                | 1070     |
| Рука длины 2                          |    | мм                | 735      |

Таблица 2.8 – Технические характеристики (продолжение)

|                                 |  |    |       |
|---------------------------------|--|----|-------|
| Запястье, длина                 |  | мм | 295   |
| Предельно достижимое расстояние |  | мм | 2100  |
| Погрешность позиционирования    |  | мм | ±0.15 |

### Робот FANUC M-16/15LT

Робот FANUC M-16/15LT (рисунок 2.9) реализует точные и высокоскоростные перемещения легкого и среднего веса.

Технические характеристики робота представлены в таблице 2.9.



Рисунок 2.9 – Робот FANUC M-16/15LT

Таблица 2.9 – Технические характеристики

|                             |    |     |          |
|-----------------------------|----|-----|----------|
| Максимальная масса груза    |    | кг  | 15       |
| Радиус рабочей зоны         |    | мм  | 1740     |
| Количество осей             |    | шт  | 6        |
| Масса                       |    | кг  | 135      |
| Диапазон движения (по осям) | J1 | мм  | до 20000 |
|                             | J2 | °   | 300      |
|                             | J3 | °   | 608      |
|                             | J4 | °   | 400      |
|                             | J5 | °   | 280      |
|                             | J6 | °   | 900      |
| Угловая скорость (по осям)  | J1 | м\с | 2        |
|                             | J2 | °\с | 165      |
|                             | J3 | °\с | 175      |
|                             | J4 | °\с | 350      |
|                             | J5 | °\с | 340      |

|  |    |    |     |
|--|----|----|-----|
|  | J6 | °c | 520 |
|--|----|----|-----|

Таблица 2.9 – Технические характеристики (продолжение)

|                          |    |    |      |
|--------------------------|----|----|------|
| Момент силы (по осям)    | J4 | Нм | 22   |
|                          | J5 | Нм | 22   |
|                          | J6 | Нм | 9,8  |
| Момент инерции (по осям) | J4 | Нм | 0,63 |
|                          | J5 | Нм | 0,63 |
|                          | J6 | Нм | 0,15 |

### Робот Wittmann Robots W721UFS

Робот Wittmann Robots W721UFS (рисунок 2.10) имеет уменьшенное время передвижения на большие расстояния, уменьшенный собственный вес за счет использования в конструкции алюминия.

Технические характеристики представлены в таблице 2.10.

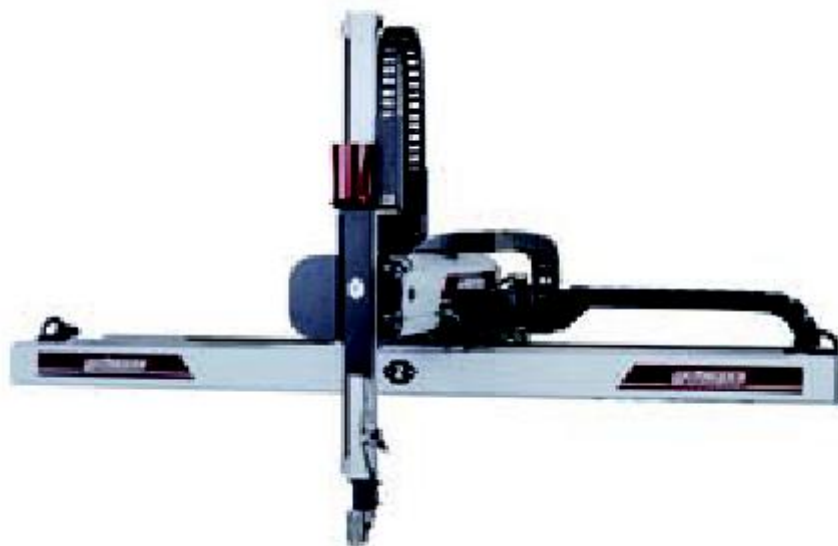


Рисунок 2.10 – Робот Wittmann Robots W721UFS

Таблица 2.10 – Технические характеристики

|                                 |     |      |
|---------------------------------|-----|------|
| Максимальная грузоподъемность   | кг  | 3    |
| Длина портала (ось Z)           | мм  | 3000 |
| Перемещение по высоте (ось Y)   | мм  | 1200 |
| Перемещение в плоскости (ось X) | мм  | 500  |
| Угол поворота захвата           | °   | 360  |
| Скорость поворота захвата       | °/с | 350  |
| Скорость перемещения по осям    | м/с | 2    |

## 2.2.2 Формирование транспортной системы

При проектировании гибкого автоматизированного участка (ГАУ) необходимо организовать автоматическое перемещение изделий между оборудованием, загрузку-разгрузку основного технологического оборудования, а также загрузку на участок сырья и выгрузку готовых изделий

### Пневмотранспорт

Гранулы полистирола до операции формования, представляют собой сыпучий материал, поэтому целесообразно использовать пневмотранспорт – трубы, по которым перемещение гранул осуществляется давлением воздуха. В ГАУ пневмотранспорт используется при перемещении гранул от вспенивающего устройства через бункер вылеживания к формовочным машинам.

### Конвейеры

Конвейеры в ГАУ обеспечивают передвижение пустых приспособлений к термопластам для загрузки перемычками, затем к формовочным машинам, где перемычки запрессовываются в отделочные плиты, после чего пустые приспособления возвращаются в начало технологической цепочки.

Для организации перемещений конвейеры объединяются в цепочку, состоящую из прямого, наклонного, поворотного транспортеров.

Прямой транспортер (рисунок 2.11) оснащен защитными бортами.



Рисунок 2.11 – Прямой транспортер

Технические характеристики представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Технические характеристики

|   |   |              |
|---|---|--------------|
| 1 | Суммарная масса груза, кг                     | 1000         |
| 2 | Габаритные размеры, мм<br>длина*ширина*высота | 1300*600*300 |
| 3 | Скорость, м/с                                 | от 0,1       |

Наклонный транспортер (рисунок 2.12) имеет возможность регулировать угол наклона и также оснащен защитными бортами.



Рисунок 2.12 – Наклонный транспортер

Технические характеристики представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.13 – Технические характеристики

|   |   |                   |
|---|---|-------------------|
| 1 | Суммарная масса груза, кг                     | 800               |
| 2 | Габаритные размеры, мм<br>длина*ширина*высота | 3700*600*300-1400 |
| 3 | Скорость, м/с                                 | от 0,1            |
| 4 | Угол наклона                                  | 20°-40°           |

Поворотный транспортер показан на рисунке 2.14.



### Рисунок 2.14 – Поворотный транспортер

Поворотный транспортер осуществляет поворот транспортного потока на угол 90°. Это эффективно, если размер производственной площади ограничен. Технические характеристики представлены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Технические характеристики

|   |   |          |
|---|---|----------|
| 1 | Суммарная масса груза, кг               | 800      |
| 2 | Габаритные размеры, мм<br>ширина*высота | 600*1400 |
| 3 | Скорость, м/с                           | от 0,1   |

Поворотный рольганг (рисунок 2.15) предназначен для перемещения тары с углом поворота 155°. Такой транспортер необходим для организации транспортной системы в условиях спроектированного ГАУ. Технические характеристики поворотного рольганга представлены в таблице 2.15.



Рисунок 2.15 – Поворотный рольганг

Таблица 2.15 – Технические характеристики

|   |   |               |
|---|---|---------------|
| 1 | Суммарная масса груза, кг                     | 800           |
| 2 | Габаритные размеры, мм<br>длина*ширина*высота | 1000*600*1400 |
| 3 | Угол поворота рольгангов                      | 155°          |
| 4 | Скорость, м/с                                 | от 0,1        |

Результатом комбинирования рассмотренных выше транспортеров является напольный конвейер (рисунок 2.16), предусмотренный для перемещения приспособлений.



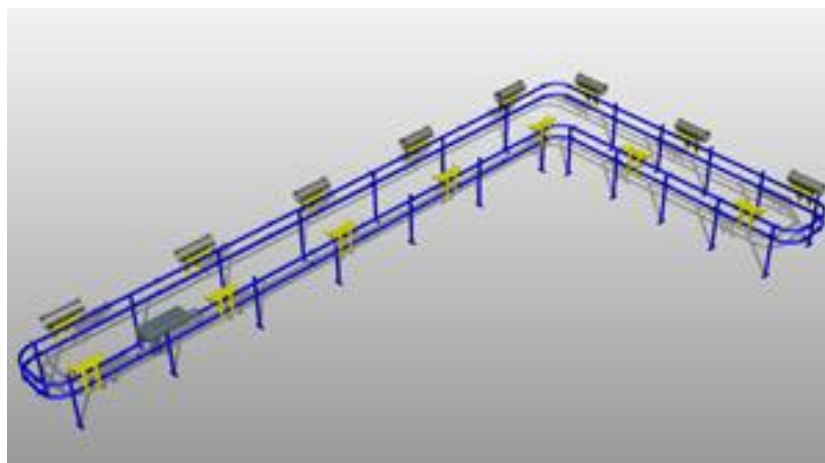


Рисунок 2.16 – Напольный конвейер

### 2.2.3 Выбор вспомогательной тары

В условиях ГАУ вспомогательная тара используется для промежуточного хранения перемычек после их изготовления на машине литья под давлением. Также вспомогательная тара будет применяться для укладки готовых плит перед их поступлением в паллет упаковщик.

Выбираем четырех клапанный короб (рисунок 2.17). Его технические характеристики приведены в таблице 2.16.

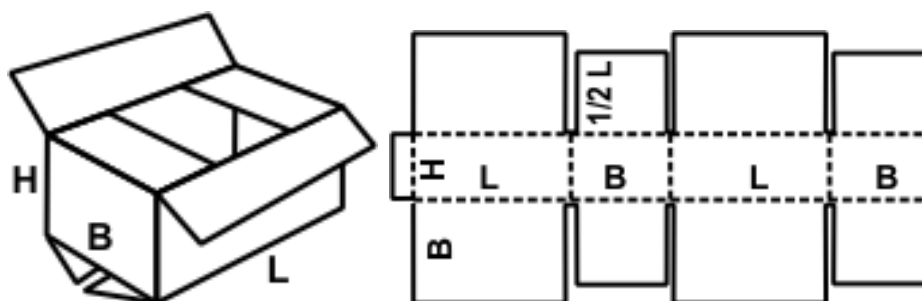


Рисунок 2.17 – Четырех клапанный короб

Таблица 2.16 – Технические характеристики

|   |   |                    |
|---|---|--------------------|
| 1 | Суммарная масса груза, кг                     | 800                |
| 2 | Габаритные размеры, мм<br>длина*ширина*высота | 710*520*260        |
| 3 | Материал                                      | картон трехслойный |

## **3 Проектирование захвата для транспортирования плиты**

### **3.1 Проектное задание**

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

К захватному устройству предъявляются следующие требования:

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

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

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

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

Движение губок обеспечивается пневмоприводом, так как его легко регулировать, и он обеспечивает движение при малых габаритах. В качестве

передаточного механизма используется реечная передача, так как при малых габаритах она обеспечивает наибольшее раскрытие губок.

Необходимо рассчитать и сконструировать механизм широкодиапазонного захватного устройства с параллельным перемещением губок (захват плиты осуществляется за плоские поверхности). Для этого определяем:

- необходимые параметры для построения профиля губок;
- допустимую прочность для основных элементов захватного устройства;
- необходимую скорость передвижения некоторых частей захватного устройства;
- допустимые нагрузки на механизм.

Исходными данными являются:

- масса детали 39 г;
- толщина детали 5мм;
- тип привода: пневматический.

## **3.2 Геометрический расчет захвата**

### **3.2.1 Определение максимального угла поворота губок**

При расчете захватного устройства (рисунок 2.1) необходимо определить максимальный угол поворота элемента привода губок  $\gamma_{\max}$ . Это происходит графическим методом.

Угол определяется между положениями элемента (верхним и нижним), обеспечивающими пропускание детали в соответствии с раскрытым положением  $h_{\max}$  и закрытым положением губок  $h_{\min}$ .

В результате измерений получаем  $\gamma_{\max} = 30^{\circ}$ . При  $D=32\text{мм}$ .

### **3.2.2 Расчет реечной зубчатой передачи**

Размеры зубчатых колес и других элементов передачи зависят от действующих сил, свойств используемых материалов и других факторов. Силы, в свою очередь, являются функциями геометрических параметров. Материалом для реек является сталь 35, а для губок – сталь 45, как более прочная.

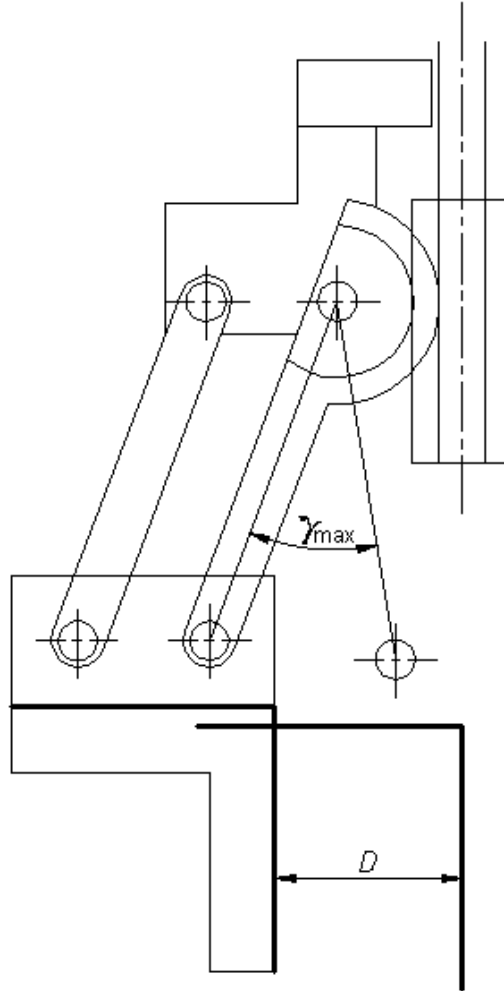


Рисунок 3.1 – Схема для расчета (максимальный угол раскрытия)

Проведем расчет геометрических параметров зубчатого секторного колеса.

Модуль зубчатой передачи определяем как

$$m = \frac{2 * AE}{Z_{ш} + q} = \frac{2 * 23 \text{ мм}}{30 + 5} = 1.3 \quad (3.1)$$

где:

$Z_{ш}$  – общее число зубьев шестерни, из условия  $Z_{ш} > 17$ , примем  $Z_{ш} = 30$ .

$q$  – коэффициент толщины рейки, примем  $q=5$ .

Округляя полученный модуль до ближайшего стандартного, получим  $m=1$ .

Определим число зубьев зубчатого сектора:

$$Z_c \geq 30 * \frac{30}{360} = 2.5 \quad (3.2)$$

Примем  $Z_c=7$

Определим делительный диаметр. Из технологических соображений примем делительный диаметр  $d = 27.4$ мм (необходимо обеспечить достаточный диаметр оси губки).

Результаты вычислений сведем в таблицы 3.1, 3.2.

Таблица 3.1 – Геометрические параметры зубчатого сектора

| Показатель                 | Формулы                         | Результат |
|----------------------------|---------------------------------|-----------|
| Количество зубьев сектора  | $z_1$                           | 30        |
| Модуль зацепления          | $m$                             | 1         |
| Число зубьев сектора       | $z_c = z_1 \gamma_{\max}/360^0$ | 7         |
| Угол раскрытия             | $\gamma_{\max}$                 | 30        |
| Делительный диаметр, мм    | $D = m z_1$                     | 28,2      |
| Верхний диаметр зубьев, мм | $d_a = d+2m$                    | 30        |
| Нижний диаметр зубьев, мм  | $D_f = d-2(c^* + m)$            | 25.5      |
| Зуб, высота, мм            | $H = (2 h_a^* + c^*)m$          | 2.45      |
| Зуб, головка, мм           | $h_a = h_a^* m$                 | 1,2       |
| Зуб, толщина, мм           | $s_y = 0,5\pi m$                | 1,62      |

Таблица 3.2 – Геометрические параметры зубчатой рейки

| Показатель           | Формулы              | Результат  |
|----------------------|----------------------|------------|
| Профиль              | -                    | Прямо угол |
| Ширина, мм           | $B$                  | 25         |
| Высота, мм           | $H$                  | 42         |
| Нарезанная длина, мм | $L$                  | 27         |
| Зубья, шт            | $z=L/p_n+0.5$        | 10         |
| Зуб, высота, мм      | $h=(2 h_a^* + c^*)m$ | 2,75       |
| Зуб, головка, мм     | $h_a = h_a^* m$      | 1,2        |
| Зуб, толщина, мм     | $s_y = 0.5\pi m$     | 1,62       |

### 3.3 Кинематический расчет захвата

Кинематика захвата, обеспечивающего параллельное перемещение губок посредством передачи рейка – зубчатый сектор, включает две губки, в основании которых находятся зубчатые сектора, взаимодействующие со штоком (зубчатой рейкой).

Захватное устройство функционирует следующим образом. Пневмопривод перемещает шток, оснащенный зубчатой рейкой. При движении штока вниз рейка опускается, происходит раскрытие губок. При движении штока вверх рейка поднимается – губки закрываются.

Для подробного кинематического расчета следует аналитически оценить зависимость перемещения губки от положения рейки.

Для этого необходимо определить перемещение  $x_C=x(t)$  входного звена – рейки относительно системы координат  $ХОУ$  (рисунок 3.2). При этом возможно определить скорость точки  $С$  захвата.

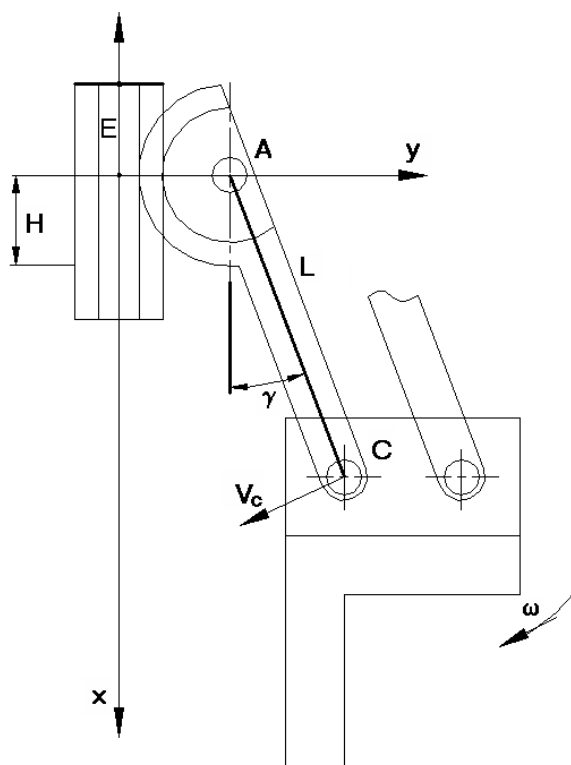


Рисунок 3.2– Схема кинематического расчета

Точка С в координатах ХОУ будет определяться координатами:

$$x_c = L \cdot \cos(\gamma) \quad (3.3)$$

$$y_c = AE - L \cdot \sin(\gamma) \quad (3.4)$$

где:

$\gamma$  – угол, определяющий необходимый для функционирования поворот секторов;

L – конструктивный параметр звена, длина AC=55мм.

Определим координаты точки С:

$$x_c = L \cdot \cos\left(\frac{x_d}{d}\right), \quad (3.5)$$

$$y_c = AE - L \cdot \sin\left(\frac{x_d}{d}\right), \quad (3.6)$$

Осуществляя дифференцирование по времени, определяем скорость линейного перемещения точки С:

$$\dot{x}_c = -L \cdot \dot{x}_d \cdot \sin\left(\frac{x_d}{d}\right) \cdot \frac{1}{d}, \quad (3.7)$$

$$\dot{y}_c = -L \cdot \dot{x}_d \cdot \cos\left(\frac{x_d}{d}\right) \cdot \frac{1}{d}, \quad (3.8)$$

Находим абсолютную скорость точки С:

$$V_c = \sqrt{\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2} = \frac{\dot{x}_d \cdot L}{d}, \quad (3.9)$$

С учетом максимального значения скорости перемещения штока, зависящей от тяги пневмоцилиндра, максимальная скорость линейного перемещения точки С (губки)

$$V_c = \frac{0.822 \cdot 0.055}{0.0274} = 1.65 \text{ м/с.}$$

Тогда угловая скорость определяется как:

$$\omega = \frac{V_c}{L} = 30 \text{ об/с}. \quad (3.10)$$

В соответствии с величиной угла  $30^\circ$  раскрытия губок определяем величину перемещения рейки:

Координата точки перемещения:

$$x_d(\gamma) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot d}{360^\circ}, \quad (3.11)$$

Величина перемещения:

$$H = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \pi \cdot d}{360} = \frac{29 \cdot \pi \cdot 36 \text{ мм}}{360} = 14.34 \text{ мм} \quad (3.12)$$

### 3.4 Силовой расчет захвата

Рассчитаем основные силы и моменты, действующие в узлах захватного устройства.

#### 3.4.1 Нахождение сил в местах контакта деталей и губок

Определена масса детали,  $m = 39 \text{ г}$

Тогда вес детали:

$$F_T = m \cdot g = 0.039 \text{ кг} \cdot 9.81 \text{ м/с}^2 = 0.38259 \text{ Н} \quad (3.13)$$

Сила контакта:

$$Q = F_T \cdot K_d \cdot K_3 = 0.38259 \cdot 1.5 \cdot 1.6 = 0.918216 \text{ Н} \quad (3.14)$$

где

$K_d$  – динамический коэффициент, учитывающий влияние инерционных сил инерции:  $K_d = 1.5$ ;

$K_3$  – коэффициент запаса надежности захвата детали:  $K_3 = 1.6$ .

При использовании одной пары губок при захвате силы реакции в местах захвата будут равны  $R=Q$ .

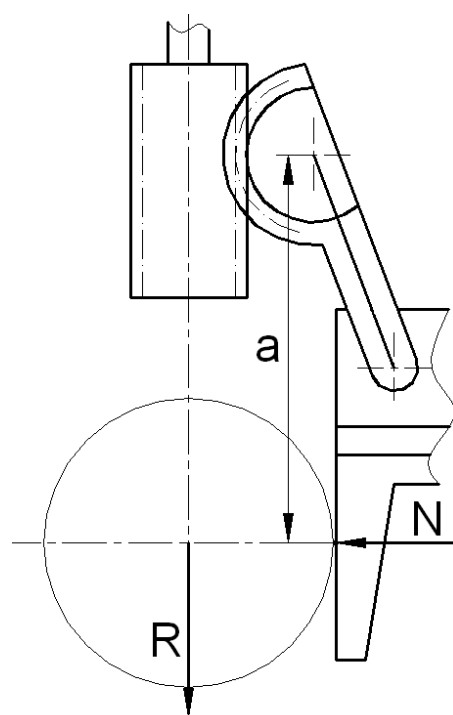


Деталь фиксируется запирающимися губками, что ограничивает влияние сил трения. При расчете учитываем, что губки нагружены симметрично.

При параллельном перемещении губок угол между проекцией реакции захвата на плоскость силы контактирования губки и захвата равен  $\alpha = 90^\circ$ .

$$N_1 = N_2 = N = \frac{Q/2}{2(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = \frac{0.459108}{2} = 0.23H \quad (3.15)$$

Деталь удерживается силами трения. Проведем расчет критических нагрузок для симметрично расположенных губок (рисунок 3.3).



$$\varphi_1 = \varphi_2 = 90^\circ;$$

$$N_1 = N_2 = N = \frac{R}{2\mu}$$

$$R=Q$$

Рисунок 3.3 – Силовая схема расчетов

$$N_1 = N_2 = N = \frac{Q}{2\mu} = \frac{0.918216}{2 \cdot 0.15} = 3.06H \quad (3.16)$$

где:

$\mu$  – коэффициент, учитывающий силы трения губки с деталью,  $\mu = 0.15$  (сталь 45, незакаленная);

$Q$  – сила реакции губки.

### 3.4.2 Расчет момента кручения на секторе губки

Момент кручения в результате действия сил трения  $F$  и нормальных сил  $N$  является удерживающим моментом при повороте губки. Расчет производим для усилий, действующих нормально по отношению к детали. Тогда крутящий момент от нормальной нагрузки:

$$T = Na, \quad (3.17)$$

где

$a$  – плечо между точками приложения сил  $N_1$  и  $N_2$  и центром вращения зубчатого сектора.

Тогда крутящий момент:

$$T = 3.6 \cdot 84.28 = 303.408 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

### 3.4.3 Определение усилия и хода рейки привода захвата

Привод захватных устройств во многих случаях осуществляется от гидропривода. Для этого необходимо знать усилие привода  $P$  и ход зубчатой рейки  $H$ :

$$P \geq \frac{2 \cdot T}{m \cdot z_{ш} \cdot \eta} = \frac{2 \cdot 303.408}{1 \cdot 30 \cdot 0.95} = 21.29 \text{ Н} \quad (3.18)$$

где

$T$  – крутящий момент на зубчатом секторе для губок;

$m$  – модуль зацепления зубчатого сектора;

$Z_{ш}$  – общее число зубьев шестерни;

$\eta$  – КПД передаточного механизма (рейки и зубчатого сектора)  $\eta=0,95$ .

Ход зубчатой рейки:

$$H \geq \pi \cdot m \cdot z_c = 3,14 \cdot 1 \cdot 2.5 = 7.85 \text{ мм}, \quad (3.19)$$

где:

$Z_c$  – число зубьев рейки, находящихся в зацеплении ( $Z_c=2.5$ , рассчитанное ранее), общее количество зубьев сектора ( $Z_c=5$ ).

### 3.5 Прочностной расчет захвата

Прочностной расчет захвата выполняется для проверки узлов на выносливость и долговечность.

#### 3.5.1. Проверка отсутствия повреждений при захвате

При захвате детали за счет сил трения контактные усилия могут быть значительными, что может повредить поверхности детали или захвата. Усилия контакта не должны быть больше допустимых  $\sigma_{нр}$ .

Определим усилия контакта для плоских губок, перемещаемых параллельно:

$$\sigma_n = 0,418 \sqrt{\frac{N \cdot E_{нр}}{l}}, \quad (3.20)$$

где

$l$  – ширина губки захвата;

$E_{нр}$  – приведенный модуль упругости, определяемый по формуле:

$$E_{нр} = \frac{2E_{заг} \cdot E_{зу}}{E_{заг} + E_{зу}} \quad (3.21)$$

Для легированной стали:  $E_{зу} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ H / мм}^2$

Для полипропилена:  $E_{заг} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ H / мм}^2$

Тогда

$$E_{нр} = \frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^3 \cdot 1,3 \cdot 10^3}{2,1 \cdot 10^3 + 1,3 \cdot 10^3} = 3,9 \cdot 10^3 \text{ H / мм}^2$$

Отсюда определяем контактное напряжение губок:

$$\sigma_n = 0,418 \sqrt{\frac{3,06 \cdot 3,9 \cdot 10^3}{30}} = 8,337 \text{ H / мм}^2$$

Определим допускаемые контактные напряжения при статическом характере нагружения, учитывая, что предел текучести  $\sigma_m = 34 \text{ H / мм}^2$ .

$$\sigma_{np} = \frac{\sigma_m}{S} \quad (3.22)$$

$$\sigma_{np} = \frac{\sigma_m}{S} = \frac{34 \text{ Н / мм}^2}{1.8} = 18.88 \text{ Н / мм}^2,$$

где  $S = 1,8$  – коэффициент безопасности.

Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что повреждения детали при захвате не будет.

### 3.5.2 Прочностной расчет реечной передачи

Проведем расчет на выносливость зубьев при изгибе:

$$\sigma_u = \frac{2 \cdot T \cdot K_k \cdot K_d}{y \cdot m^2 \cdot b \cdot z \cdot \cos \alpha} < [\sigma]_u, \quad (3.23)$$

где

$K_k, K_d$  – коэффициенты, учитывающие дополнительные динамические нагрузки,  $K_k = 1,5, K_d = 1,5$ ;

$b$  – ширина зуба зубчатого сектора;

$m$  – модуль зацепления;

$z$  – число зубьев;

$y$  – коэффициент формы зуба,  $y = 0,390$ ;

$[\sigma]_u$  – допускаемое напряжение изгиба,  $[\sigma]_u = 340$  МПа.

$$\sigma_u = \frac{2 \cdot 303 \cdot 1,5 \cdot 1,5}{0,390 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 2,5 \cdot \cos 30^\circ} = 161,48$$

Сравнивая допустимое и рассчитанное значения видно, что прочностные характеристики реечной передачи обеспечиваются.

### 3.5.3 Расчет диаметра оси губки схвата

Произведем расчет, исходя из условия прочности оси на изгиб и кручение:

$$[\sigma_H] = \sqrt{\frac{M_{кр}^2}{W_p^2}} \quad (3.24)$$

где

$M_{кр}$  – крутящий момент в сечении;

$W_p$  – полярный момент сопротивления:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (3.25)$$

Подставив (3.25) в (3.26) получим формулу (3.26) для вычисления минимального диаметра:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{\sigma_{из} \cdot 0.1}} \quad (3.26)$$

Для материала оси (сталь СТ35)  $\sigma_{из} = 54 \text{ кгс/см}^2$ . Рассчитанный ранее максимальный крутящий момент:  $M_{кр} = 303,408 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 303,408 \text{ кгс} \cdot \text{см}$ .

Тогда

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{\sigma_{из} \cdot 0.1}} = \sqrt[3]{\frac{303,408}{54 \cdot 0.1}} = 7,5 \quad (3.27)$$

Из технологических и конструктивных соображений примем  $d=6\text{мм}$ , т. к. на каждую губку ставятся по две оси.

### 3.5.4. Расчет пружины

Рассчитаем цилиндрическую пружину, работающую на сжатие. Пружина удерживает деталь в захвате.

Для выбора пружины принимаем следующие исходные данные:

- сила предварительно деформированной пружины  $F_1 = 88 \text{ Н}$ ;
- сила рабочей деформированной пружины  $F_2 = 208 \text{ Н}$ ;
- величина хода при работе пружины  $h = 14,4 \text{ мм}$ ;
- наружный диаметр  $D = 38 \text{ мм}$ ;
- максимальная скорость подвижного конца  $V_0 = 0,5 \text{ м/с}$ ;

- число циклов работы

$$N = 1 \cdot 10^5.$$

Параметр  $\delta$  может принимать значения от 0,05 до 0,25, исходя из этого находим силу  $F_3$  при максимальной деформации :

$$F_3 = \frac{F_2}{1 - 0,05} \div \frac{F_2}{1 - 0,25} = 219 \div 277 \text{ Н}$$

Таблично подбираем параметры пружины:

$$F_3 = 265 \text{ Н}; d = 2,5 \text{ мм}; D = 18 \text{ мм}; c_1 = 55.110 \text{ кгс/мм}, s_3 = 2.575 \text{ мм}.$$

Рассчитываем критическую скорость пружины:

$$V_{кр} = \frac{t_3 \cdot \left(1 - \frac{F_2}{F_3}\right)}{\sqrt{2Gp} \cdot 10^{-3}} = \frac{1150 * (1 - 0,78)}{25,06} = 10 \text{ м/с} \quad (3.28)$$

Определим коэффициент, определяющий возможность работы пружины:

$$\frac{V_0}{V_{кр}} = \frac{5}{10} = 0,5 < 1$$

Откуда следует, что соударений витков не будет и выносливость обеспечена. Хотя для надежности необходимо предусмотреть несколько дополнительных пружин с учетом опытных данных.

Жесткость пружины:

$$c = \frac{F_2 - F_1}{h} = 8.3 \text{ Н / мм} \quad (3.29)$$

Количество витков, необходимых для работы:

$$n = \frac{c_1}{c} = 6,6 \quad (3.30)$$

Принимаем полное число витков:

$$n_1 = 6,6 + 1,4 = 8.$$

Определяем деформацию, высоту и шаг пружины.

Деформация пружины:

- при предварительной нагрузке

$$\omega_1 = \frac{F_1}{c} = \frac{88}{6,6} = 10,6 \text{ мм} \quad (3.31)$$

- при рабочем усилии:

$$\omega_2 = \frac{F_2}{c} = \frac{208}{6,6} = 25,06 \text{ мм} \quad (3.32)$$

- при максимальной нагрузке:

$$\omega_3 = \frac{F_3}{c} = 33,37 \text{ мм} \quad (3.33)$$

Определим высоты пружины:

$$H_3 = (n_1 + 1 - n_3) * d = (8 + 1 - 1,5) * 2,5 = 18,75 \text{ мм} \quad (3.34)$$

Высота пружины в расслабленном состоянии:

$$H_0 = H_3 + \omega_3 = 52,12 \text{ мм} \quad (3.35)$$

Высота пружины при рабочих усилиях.

$$H_1 = H_0 - \omega_1 = 52,12 - 10,6 = 41,52 \text{ мм} \quad (3.36)$$

$$H_2 = H_0 - \omega_2 = 52,12 - 25,06 = 27,06 \text{ мм} \quad (3.37)$$

Шаг пружины:

$$p = 2,575 + 2,5 = 5,075 \text{ мм}$$

Длина развернутой пружины:

$$L \approx 3,2 * 18 * 8 = 460,8 \text{ мм}$$

Масса пружины:

$$Q = 19,25 * 10^{-6} * 18 * 2,5^2 * 8 = 0,017 \text{ кг}$$

Определим объем, занимаемый пружиной, в конструктиве захвата:

$$W = 0,758 * 18^2 * 46,45 = 11814,093 \text{ мм}^3$$

### 3.6 Выбор пневмоцилиндра

Выбор пневмоцилиндра проводим с учетом следующих требований:

- тянущее усилие, не менее 22,19 Н;

- ход поршня, не менее 10 мм;
- давление на поршень 0,68 Мпа.



## **4 Разработка алгоритма работы гибкого автоматизированного участка**

### **4.1. Выделение действий и необходимых условий**

1. Выдача команд формовочным машинам на начало производства плит:

- формовочная машина готова,
- в пресс-форме находятся кронштейны,
- работа нет в зоне формовочной машины,
- в бункере есть гранулы;
- в зоне формовочной машины отсутствуют люди и препятствия.

2. Выдача команды термопласту на начало производства кронштейнов:

- термопласт готов,
- в бункере есть гранулы,
- работа нет в зоне термопласта,
- в зоне термопласта отсутствуют люди и препятствия.

3. Выдача команды пресс-машине на начало производства кронштейнов:

- пресс-машина готова,
- в бункере есть гранулы,
- работа нет в зоне пресс-машины,
- в зоне пресс-машины отсутствуют люди и препятствия.

4. Выдача команды термопласту на начало производства перемычек:

- термопласт готов,
- в бункере есть гранулы,
- в термопласте есть тара,
- транспортер остановлен,
- тара пуста,
- в зоне термопласта отсутствуют люди и препятствия.

5. Выдача команды сушилке на начало функционирования:

- сушилка не работает,
- вспениватель включен,

- первый бункер частично выгружен,
- второй бункер частично выгружен,
- третий бункер частично выгружен,
- четвертый бункер частично выгружен.

6. Выдача команды вспенивателю на начало функционирования:

- вспениватель выключен,
- в бункере есть гранулы,
- вспениватель подается пар,
- первый бункер частично выгружен,
- второй бункер частично выгружен,
- третий бункер частично выгружен,
- четвертый бункер частично выгружен.

7. Выдача команды роботу для загрузки первой формовочной машины:

- робот находится в ожидании,
- робот располагается рядом с рабочей зоной формовочной машины,
- в захвате робота есть приспособление,
- в зоне робота отсутствуют люди и препятствия,
- формовочная машина ожидает,
- состояние счетчика установлено для данной операции.

8. Выдача роботу команды для выгрузки первого кронштейна из термопласта:

- робот находится в ожидании,
- робот располагается рядом с рабочей зоной термопласта,
- захват робота свободен,
- в зоне робота отсутствуют люди и препятствия
- термопласт ожидает.

9. Выдача команды первому роботу для передачи кронштейна второму роботу:

- первый робот ожидает,
- первый робот располагается рядом с позицией передачи второму роботу,

- в схвате первого робота есть кронштейн,
- второй робот ожидает на позиции передачи,
- в зоне первого робота отсутствуют люди и препятствия.

10. Выдача команды роботу на выгрузку кронштейна из пресс-машины:

- робот ожидает,
- робот рядом с зоной пресс-машины,
- захват робота свободен,
- в зоне робота отсутствуют люди и препятствия,
- пресс-машина ожидает.

11. Выдача команды роботу на загрузку кронштейна в приспособление:

- робот рядом с транспортером,
- в захвате робота есть кронштейн,
- транспортер ожидает,
- в зоне робота отсутствуют люди и препятствия,
- приспособление имеет свободные позиции.

12. Выдача команды второму роботу на захват кронштейна у первого робота:

- второй робот ожидает,
- второй робот рядом с позицией передачи кронштейна,
- захват второго робота свободен,
- первый робот ожидает рядом с позицией передачи или разгружает термопласт,
- в зоне первого робота отсутствуют люди и препятствия,

13. Выдача команды перемещения транспортеру на один шаг:

- транспортер ожидает,
- приспособление заполнено,
- первый робот находится вне зоны приспособления.

14. Выдача команды открытия клапана заполнения одного из бункеров:

- в одном из бункеров находится минимальное количество гранул.

15. Выдача команды закрытия клапана заполнения одного из бункеров:

- один из бункеров наполнен полностью.

16. Выдача команды одному из транспортеров, обслуживающему формовочную машину, на начало работы:

- транспортер ожидает,
- формовочная машина разгрузила блоки.

17. Выдача команды транспортеру, обслуживающему термопласт, на начало работы (прямая подача):

- транспортер ожидает,
- тара наполнена.

18. Выдача команды транспортеру, обслуживающему термопласт, на начало работы (обратная подача):

- транспортер ожидает,
- тара на транспортере пуста.

19. Выдача команды открытия клапана заполнения одного из бункеров формовочных машин:

- один из бункеров наполнен и ожидает,
- в одном из бункеров формовочной машины находится минимальное количество гранул,

20. Выдача команды включения аварийной сигнализации и останов ГАУ:

- поступление сигнала об аварии.

К возможным видам аварийных ситуаций относятся:

- отсутствует подача пара к оборудованию,
- отсутствует подача воды к оборудованию,
- переполнение бункера для вылеживания гранул,
- нет гранул в бункерах оборудования на входе ГАУ,
- застревание плиты в формовочной машине,
- неполная загрузка кронштейнов в пресс-форму,
- присутствие людей или препятствий в рабочей зоне роботов,
- присутствие людей или препятствий в рабочей зоне оборудования,
- нет пленки у паллетоупаковщика,

- невозможно раскрытие захвата,
- выключение оборудования при продолжении техпроцесса,
- превышение лимита времени работы роботом или оборудованием,
- попытка загрузки роботом заполненного приспособления,
- превышение роботом лимита времени пребывания в рабочей зоне оборудования.

#### **4.2 Назначение аргументов сигналам с датчиков**

- X1 – включение или работа первого робота;
- X2 – захват первого робота пустой и раскрыт;
- X3 – рука первого робота рядом с зоной первой формовочной машины;
- X4 – рука первого робота рядом с зоной второй формовочной машины;
- X5 – рука первого робота рядом с зоной третьей формовочной машины;
- X6 – присутствие людей или препятствий в рабочей зоне первого робота;
- X7 – включение или работа второго робота;
- X8 – захват второго робота пустой и раскрыт,
- X9 – рука второго робота рядом с зоной термопласта;
- X10 – рука второго робота рядом с позицией передачи кронштейнов;
- X11 – системы второго робота исправны;
- X12 – включение или работа третьего робота;
- X13 – захват третьего робота пустой и раскрыт;
- X14 – рука третьего робота рядом с зоной пресс-машины;
- X15 – рука третьего робота на позиции передачи;
- X16 – рука третьего робота рядом с рабочей зоной приспособления;
- X18 – первая формовочная машина ожидает;
- X19 – вторая формовочная машина ожидает;
- X20 – третья формовочная машина ожидает;
- X21 – термопласт ожидает;
- X22 – пресс-машина ожидает;
- X23 – системы пресс-машины исправны;

- X24 – в пресс-форму первой пресс-машины установлены кронштейны;
- X25 – в пресс-форму второй пресс-машины установлены кронштейны;
- X26 – в пресс-форму третьей пресс-машины установлены кронштейны;
- X33 – наличие гранул в первом бункере;
- X34 – наличие гранул во втором бункере;
- X35 – наличие гранул в третьем бункере;
- X36 – состояние счетчика формовочных машин;
- X37 – присутствие людей или препятствий в рабочей зоне второго робота;
- X38 – присутствие людей или препятствий в рабочей зоне третьего робота;
- X39 – системы первого робота исправны;
- X40 – системы третьего робота исправны;
- X41 – системы формовочных машин исправны;
- X42 – присутствие людей или препятствий в рабочей зоне первой формовочной машины;
- X43 – присутствие людей или препятствий в рабочей зоне второй формовочной машины;
- X44 – присутствие людей или препятствий в рабочей зоне третьей формовочной машины;
- X45 – наличие гранул в бункере первого термопласта;
- X46 – первый термопласт ожидает;
- X47 – присутствие людей или препятствий в рабочей зоне первого термопласта;
- X48 – наличие гранул в бункере пресс-машины;
- X49 – системы второго термопласта исправны;
- X50 – присутствие людей или препятствий в рабочей зоне пресс-машины;
- X51 – наличие гранул в бункере второго термопласта;
- X52 – система второго термопласта исправна;
- X53 – присутствие людей или препятствий в рабочей зоне второго термопласта;
- X54 – четвертый транспортер остановлен;
- X55 – наличие тары во втором термопласте;
- X56 – наличие пустой тары для перемычек на четвертом транспортере;

X57 – работа вспенивателя;

X58 – четвертый транспортер ожидает;

X59 – система транспортеров исправна;

X60 – наличие гранул в бункере вспенивателя;

X61 – вспениватель включен;

X62 – сушилка выключена;

X63 – в первом бункере недостаточно гранул;

X64 – во втором бункере недостаточно гранул;

X65 – в третьем бункере недостаточно гранул;

X66 – в четвертом бункере недостаточно гранул;

X67 – полная загрузка первого бункера;

X68 – полная загрузка второго бункера;

X69 – полная загрузка третьего бункера;

X70 – полная загрузка четвертого бункера;

X71 – возможна разгрузка первого бункера;

X72 – возможна разгрузка второго бункера;

X73 – возможна разгрузка третьего бункера;

X74 – возможна разгрузка четвертого бункера;

X75 – вспениватель исправен;

X76 – стопка плит заполнена;

X77 – транспортер исправен;

X79 – полное заполнение тары первого термопласта;

X80 – наличие пустой тары на четвертом транспортере;

X81 – подача пара во вспениватель;

X82 – вспениватель выключен;

X83 – второй транспортер ожидает;

X84 – счетчик приспособления не равен 8;

X85 – разгрузка первой формовочной машины;

X86 – разгрузка второй формовочной машины;

X87 – разгрузка третьей формовочной машины;

X88 – первый транспортер ожидает;  
X89 – второй транспортер ожидает;  
X90 – третий транспортер ожидает;  
X91 – работа прервана оператором;  
X92 – нет пленки у паллетоупаковщика.

### **4.3 Назначение функций командам контроллера управления оборудованием**

Y1 – выдача команды начала изготовления плиты первому оборудованию;  
Y2 – выдача команды начала изготовления плиты второму оборудованию;  
Y3 – выдача команды начала изготовления плиты третьему оборудованию;  
Y4 – выдача команды изготовления кронштейнов четвертому оборудованию;  
Y5 – выдача команды изготовления кронштейнов пятому оборудованию;  
Y6 – выдача команды изготовления перемычке шестому оборудованию;  
Y7 – выдача команды начала работы восьмому оборудованию;  
Y8 – выдача команды загрузки правой части первого оборудования третьему роботу;  
Y9 – выдача команды загрузки левой части первого оборудования третьему роботу;  
Y10 – выдача команды загрузки правой части второго оборудования третьему роботу;  
Y11 – выдача команды загрузки левой части второго оборудования третьему роботу;  
Y12 – выдача команды перехода к пятому транспортеру третьему роботу;  
Y13 – выдача команды разгрузки пятого транспортера третьему роботу;  
Y14 – выдача команды перехода к третьему оборудованию третьего робота;  
Y15 – выдача команды перехода к четвертому оборудованию третьего робота;  
Y16 – выдача команды возврата к оборудованию третьему роботу;



Y17 – выдача команды разгрузки первого оборудования (кранштейн левый) первому роботу;

Y18 – выдача команды разгрузки первого оборудования (кранштейн правый) первому роботу;

Y19 – выдача команды на переход к пятому оборудованию первого робота;

Y20 – выдача команды на переход к первому оборудованию первому роботу;

Y21 – выдача команды перехода к позиции передачи первому роботу;

Y22 – выдача команды на разгрузку второго робота первому роботу;

Y23 – выдача команды на разгрузку кранштейна 1 в приспособление первому роботу;

Y24 – выдача команды на разгрузку кранштейна 2 в приспособление первому роботу;

Y25 – выдача команды на разгрузку кранштейна 3 в приспособление первому роботу;

Y26 – выдача команды на разгрузку кранштейна 4 в приспособление первому роботу;

Y27 – выдача команды на разгрузку кранштейна 5 в приспособление первому роботу;

Y28 – выдача команды на разгрузку кранштейна 6 в приспособление первому роботу;

Y29 – выдача команды на разгрузку кранштейна 7 в приспособление первому роботу;

Y30 – выдача команды на разгрузку кранштейна 8 в приспособление первому роботу;

Y31 – выдача команды перемещения на один шаг пятому транспортеру;

Y32 – выдача команды перемещения на три шага пятому транспортеру;

Y39 – выдача команды перехода ко второму оборудованию второму роботу;

Y40 – выдача команды на загрузку первым роботом второго робота;

Y41 – выдача команды на переход к позиции передачи второму роботу;

Y42 – выдача команды на разгрузку второго оборудования (кронштейн 1) второму роботу;

Y43 – выдача команды на разгрузку второго оборудования (кронштейн 2) второму роботу;

Y44 – выдача команды на разгрузку третьего оборудования (кронштейн 1) второму роботу;

Y45 – выдача команды на разгрузку четвертого оборудования (кронштейн 1) второму роботу;

Y46 – выдача команды на перемещение тары четвертому транспортеру;

Y47 – выдача команды на возврат тары четвертому транспортеру;

Y48 – выдача команды сушилке на включение;

Y49 – выдача команды первому бункеру на открытие клапана;

Y50 – выдача команды второму бункеру на открытие клапана;

Y51 – выдача команды третьему бункеру на открытие клапана;

Y52 – выдача команды первому бункеру на закрытие клапана;

Y53 – выдача команды второму бункеру на закрытие клапана;

Y54 – выдача команды третьему бункеру на закрытие клапана;

Y55 – выдача команды начала работы первому транспортеру;

Y56 – выдача команды начала работы второму транспортеру;

Y57 – выдача команды оборудованию на выключение;

Y58 – выдача команды начала работы третьему транспортеру;

Y59 – выдача команды закрытия клапана бункера формовочной машины;

Y60 – выдача команды включения подачи пара;

Y61 – выдача команды выключения подачи пара;

Y62 – выдача команды включения оборудования;

Y63 – выдача команды выключения сушилки;

Y64 – выдача команды восьмому оборудованию на выключение;

Y65 – выдача команды четвертому бункеру на открытие клапана;

Y66 – выдача команды четвертому бункеру на закрытие клапана;

Y67 – выдача команды открытия клапана бункера первой формовочной машины;

Y68 – выдача команды открытия клапана бункера второй формовочной машины

Y69 – выдача команды открытия клапана бункера третьей формовочной машины

Y70 – выдача команды закрытия клапана бункера первой формовочной машины;

Y71 – выдача команды закрытия клапана бункера второй формовочной машины;

Y72 – выдача команды загрузки пятого транспортера третьим роботом;

Y73 – выдача команды включения аварийной сигнализации и остановка ГАУ.

#### 4.4 Логико-математическая модель алгоритма управления

Разработаем условие выдачи выходного сигнала для второго уровня системы управления.

Таблица 4.1 – Условие выдачи выходного сигнала

| Выходной сигнал | Условие выдачи  |
|-----------------|---|
| Y1              | $X_{18} \cdot X_{24} \cdot X_3 \cdot X_{33} \cdot \overline{X_{42}}$                            |
| Y2              | $X_{19} \cdot X_{25} \cdot X_4 \cdot X_{34} \cdot \overline{X_{43}}$                            |
| Y3              | $X_{20} \cdot X_{26} \cdot X_5 \cdot X_{35} \cdot \overline{X_{44}}$                            |
| Y4              | $X_{21} \cdot X_{45} \cdot X_9 \cdot \overline{X_{47}}$   |
| Y5              | $X_{22} \cdot X_{48} \cdot X_{14} \cdot \overline{X_{50}}$                                      |
| Y6              | $X_{46} \cdot X_{51} \cdot X_{55} \cdot \overline{X_{53}} \cdot X_{54} \cdot \overline{X_{79}}$ |
| Y7              | $X_{60} \cdot X_{81} \cdot X_{82} \cdot (\overline{X_{63}} + X_{64} + X_{65} + X_{66})$         |
| Y8              | $\overline{X_1} \cdot X_3 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_6} \cdot X_{18} \cdot X_{37}$  |
| Y9              | $\overline{X_1} \cdot X_3 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_6} \cdot X_{18} \cdot X_{37}$  |
| Y10             | $\overline{X_1} \cdot X_4 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_6} \cdot X_{19} \cdot X_{37}$  |
| Y11             | $\overline{X_1} \cdot X_4 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_6} \cdot X_{19} \cdot X_{37}$  |
| Y17             | $\overline{X_{12}} \cdot X_{14} \cdot X_{13} \cdot \overline{X_{37}} \cdot X_{22}$              |

Таблица 4.1 – Условие выдачи выходного сигнала (продолжение)

| Выходной сигнал | Условие выдачи   |
|-----------------|--|
| Y22             | $\overline{X_{12}} \cdot X_{15} \cdot X_{13} \cdot (X_9 + X_{10}) \cdot \overline{X_{37}}$   |
| Y23             | $\overline{X_{12}} \cdot X_{16} \cdot \overline{X_{13}} \cdot X_{83} \cdot \overline{X_{37}} \cdot X_{84}$   |
| Y31             | $X_{83} \cdot \overline{X_{84}} \cdot \overline{X_{16}}$   |
| Y40             | $\overline{X_7} \cdot X_{10} \cdot \overline{X_8} \cdot \overline{X_{12}} \cdot X_{15} \cdot \overline{X_{38}}$  |
| Y42             | $\overline{X_7} \cdot X_9 \cdot X_8 \cdot X_{21} \cdot \overline{X_{38}}$  |
| Y46             | $X_{79} \cdot X_{58}$  |
| Y47             | $X_{56} \cdot X_{58}$  |
| Y48             | $X_{57} \cdot X_{62} \cdot (X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66})$  |
| Y49             | $X_{63}$   |
| Y52             | $X_{67}$   |
| Y56             | $X_{85} \cdot X_{88}$  |
| Y67             | $(X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{70}) \cdot (X_{33} \cdot \overline{X_{34}} \cdot \overline{X_{35}})$   |
| Y70             | $X_{33} + X_{34} + X_{35}$   |
| Y59             | $X_6 + X_{37} + X_{38} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{47} + X_{53} + \overline{X_{11}} + \overline{X_{23}} + \overline{X_{39}} +$<br>$+ \overline{X_{40}} + \overline{X_{41}} + \overline{X_{49}} + \overline{X_{52}} + \overline{X_{59}} + \overline{X_{75}} + \overline{X_{77}} + X_{92}$ |

При разработке алгоритма управления необходимо учитывать, что контроллер on-line оценивает состояние ГАУ по показаниям датчиков, состоянию счетчиков и таймеров и формирует необходимые команды.

Алгоритм управления включает функциональные блоки, определяющие функционирование единиц оборудования. Контроллер поочередно опрашивает функциональные блоки. После обработки предыдущего функционального блока контроллер переходит к обработке следующего.

## 5 Проектирование системы управления гибким автоматизированным комплексом

Разработаем структурную схему ГАУ, включающую два уровня. При этом необходимо учесть порядок управления, обеспечиваемый блок-схемой алгоритма оперативного управления ГАУ.

### 5.1 Характеристика объектов управления ГАУ

В состав ГАУ входят три формовочные машины, два термопласта, пресс-машина, паллетоупаковщик, три робота.

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Масса плиты, кг              | 1,48 кг, |
| Время цикла работы ГАУ, мин  | 2,9 мин, |
| Количество плит за цикл, шт. | 4        |

К системе управления ГАУ предъявляются следующие требования:

- второй уровень управления обеспечивает оперативное управление (диспетчеризацию),
- малая стоимость линий связи уровней при невысоких затратах на комплектацию,
- алгоритм исключает работу ГАУ в аварийных ситуациях,
- алгоритм обеспечивает выход ГАУ из аварийных ситуаций.

Рассмотрим существующие системы управления оборудованием первого уровня (локальные):

Таблица 5.1 – Системы управления первого уровня

| Оборудование                           | Модель УУ                               |
|--|---|
| формовочные машины                     | комплектная система завода-изготовителя |
| термопласты                            | комплектная система завода-изготовителя |
| Паллетоупаковщик                       | PLC SIEMENS S7 200                      |
| Роботы RoboFlex RF-4, Wittmann W721UFS | ABB IRC5                                |
| Робот FANUC M-16iB/15LT                | Fanuc R-30iA                            |

## 5.2 Стандартные режимы функционирования локальных систем управления

Основное и вспомогательное технологическое оборудование в основном имеет локальные системы управления.

Однако, штатные автоматические системы управления завода-изготовителя отдельного основного технологического оборудования не предусматривают их объединение с помощью системы управления второго уровня вследствие того, что эти системы не имеют возможности организации канала связи с верхним уровнем управления.

Поэтому необходимо оснастить локальное оборудование взаимодействующими системами управлениями.

Задачами локального управления оборудованием входят:

- диагностика работоспособного состояния оборудования,
- загрузка в технологическое оборудование управляющих программ,
- контроль качества проведения технологических операций,
- передача информации о завершении обработки на следующий уровень для взаимодействия с другим оборудованием.

Предъявляемым требованиям соответствует система управления УС04Д, которая применяется для автоматизации машин литья под давлением и дополнительного вспомогательного оборудования.

Данная система организует связь с контроллерами посредством интерфейса RS485.

Для пресс-машины локальная система управления сохраняется.

Системы управления роботов ABB IRC5 и Fanuc R-30iA соответствуют предъявляемым требованиям.

Задачами локальных систем управления роботов являются:

- диагностика робота,
- контроль необходимости обслуживания роботом оборудования,
- передвижение робота по позициям перемещения заготовок.

### **5.3 Нестандартные режимы функционирования локальных систем управления**

При несоблюдении заданного технологического регламента происходит останов ГАУ, выявляются неисправности (диагностика), происходит переналадка.

Возможны неисправности локального технологического оборудования. При этом возможны следующие причины выхода оборудования из строя:

- неисправность подающих систем (пара, воды, гранул);
- неисправность систем оборудования (приводов, охлаждения и основных технологических систем).

Следствием выхода оборудования из строя является включение режима аварийного состояния с выдачей сообщения оператору ГАУ, и ГАУ автоматически останавливается.

При нахождении людей и препятствий в зоне работы оборудования и роботов нарушаются защитные ограждения (световые барьеры), что также приводит к выдаче сообщения об аварийной ситуации оператору ГАУ.

### **5.4 Декомпозиция задачи управления**

Общей задачей управления ГАУ является совокупность локальных задач управления отдельным технологическим оборудованием. При этом сигналы от локальных систем управления передаются системе управления верхнего уровня. В состав ГАУ входят 6 единиц основного технологического оборудования и 3 единицы вспомогательного технологического оборудования (роботы).

В результате выделяются две задачи управления:

1. Организация производства отделочных плит основным технологическим оборудованием,

2. Организация обслуживания основного технологического оборудования роботами.

Для задач управления определим условия их выполнения.

1. Для запуска программы производства плит на любом оборудовании, входящем в ГАК, должны выполняться следующие условия:

- не нарушено ограждение рабочей зоны оборудования и роботов,
- в бункере есть гранулы,
- все системы оборудования исправны,
- технологические позиции оборудования загружены,
- отсутствует запрет оператора на выполнение операций,
- отсутствует режим останова ГАУ.

При окончании технологической операции локальными системами управления формируются дискретные сигналы, посылаемые системе управления второго уровня, и разрешается доступ в рабочую зону оборудования.

2. Разгрузка оборудования роботом возможно при выполнении следующих условий:

- ожидание роботом следующей команды,
- позиционирование робота на разгрузочной позиции оборудования,
- захват робота свободен,
- ограждения рабочей зоны роботов и оборудования не раскрыты,
- оборудование ожидает разгрузки,
- все системы робота (схват, ротация, приводы) исправны,
- отсутствует запрет оператора на выполнение операций,
- отсутствует режим останова ГАУ.

Загрузка оборудования ГАУ возможна при соблюдении следующих условий:

- ожидание роботом очередной команды,



- позиционирование робота на загрузочной позиции оборудования,
- в захвате робота находится изделие,
- ограждения рабочей зоны роботов и оборудования не раскрыты,
- оборудование ожидает загрузки,
- все системы робота (схват, ротация, приводы) исправны,
- отсутствует запрет оператора на выполнение операций,
- отсутствует режим останова ГАУ.

### 5.5 Средства реализации управления

Локальные средства управления (ЛСУ) принимают входные сигналы от датчиков состояния и положения механизмов основного технологического оборудования и роботов. Обеспечивается диагностика состояния оборудования и роботов. При этом формируется интегральная оценка в виде осведомительного сигнала для системы управления второго уровня. Осведомительными сигналами также являются сигналы правильности отработки управляющих программ оборудования и роботов.

В качестве устройства управления второго уровня выбираем программируемый логический контроллер (ПЛК) Siemens Simatic S7-300 (рисунок 5.1).

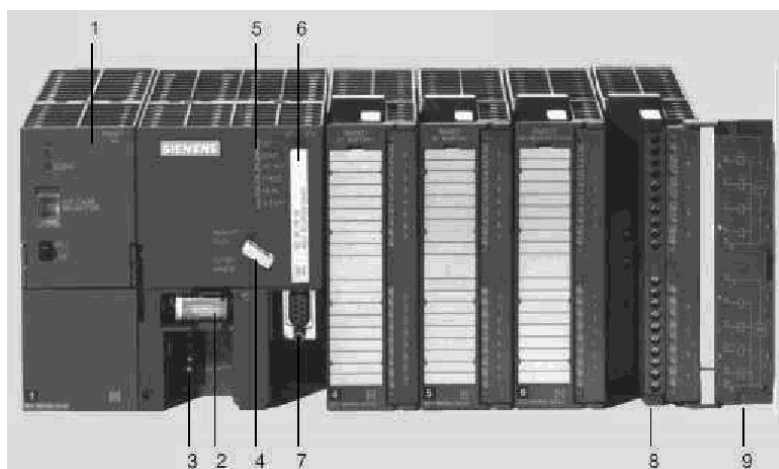


Рисунок 5.1 – ПЛК Siemens Simatic S7-300

1 – блок питания, 2 – буферная батарея, 3 – клеммы питания (= 24В), 4 – ключ переключения режимов работы, 5 – светодиоды индикации состояния системы, 6 – submodule памяти, 7 – разъем многоточечного интерфейса MPI, 8 – фронтальный соединитель, 9 – защитная крышка.

Для обслуживания контроллера второго уровня используем следующие датчики: состояния зажимных приспособлений оборудования, наличия или отсутствия на позициях выдачи и накопления изделий. В качестве этих датчиков применяются интеллектуальные датчики, подключаемые к сети Profibus DP через малогабаритные станции распределенного ввода вывода Simatic ET200eco (рисунок 5.2) производства фирмы Siemens.



Рисунок 5.2 – Станция распределенного ввода вывода Simatic ET200eco

В ГАУ используются следующие датчики:

- для зажимных приспособлений – ультразвуковые датчики по технологии IQ-Sense серии Sonar-Bero Simatic PXS300 (рисунок 5.3),



Рисунок 5.3 – Ультразвуковой датчик Simatic PXS300

- для тары накопления-выдачи – видео датчик технического зрения VS120 (рисунок 5.4) со встроенным интерфейсом Profibus DP,



Рисунок 5.4 – Видео датчик технического зрения Simatic VS120

- для определения уровня полимера (материала) в бункерах – ультразвуковые уровнемеры УР-40-15 (рисунок 5.5), оснащенные интерфейсом RS-485 и использующие протокол MODBUS или PROFIBUS-DP,



Рисунок 5.5 – Ультразвуковой уровнемер УР-40-15

- для измерения избыточного давления жидкости и газа в машинах литья под давлением используются датчики давления (рисунок 5.6), оснащенные интерфейсом RS-485 и использующие протокол MODBUS,



### Рисунок 5.6 – Датчик давления

- для оценки состояния ограждения используется световой барьер Simatic FS200 (рисунок 5.7) со встроенным AS-интерфейсом,



Рисунок 5.7 – Световой барьер Simatic FS200

- для подключения устройств имеющих протоколом MODBUS к сети ROFIBUS-DP используется шлюз ROFIBUS/Modbus GW-7552 (рисунок 5.8).



Рисунок 5.8 – Шлюз ROFIBUS/Modbus GW-7552

В целом структура АСУ ГАУ представляет собой двухуровневую систему, на нижнем уровне которой решаются задачи локального управления исполнительными механизмами (оборудованием и роботами), а на верхнем – выполняются функции по координации работы нижнего уровня.

Основой структурно-функциональной схемы системы управления ГАУ являются промышленные сети, включающие в себя сеть полевого уровня по стандарту Profibus DP и сеть AS-интерфейса – сеть для подключения светового барьера. Дополнительно для решения задач загрузки управляющих программ и

организации обмена информацией с цеховым уровнем используется сеть Industrial Ethernet.

Связь с полевым уровнем (PROFIBUS-DP) используется для обслуживания систем распределенного ввода-вывода, а также устройств и систем человеко-машинного интерфейса. Сеть PROFIBUS может быть использована для организации обмена данными между интеллектуальными сетевыми устройствами.

AS-интерфейс (AS-i) – это сеть полевого уровня, позволяющая объединять датчики и приводы различного назначения. AS-интерфейс – это сеть с одним ведущим устройством, обычно коммуникационным процессором. Такое подключение позволяет использовать AS-интерфейс в качестве подсети PROFIBUS-DP.

Industrial Ethernet – это промышленная сеть верхних уровней управления, обеспечивающая связи между системами автоматизации, компьютерами и рабочими станциями.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатами выполнения бакалаврской работы является создание модернизированного участка, внедрение в него автоматизации, уменьшение количества работников до 2-3 человек за смену. Участок способен производить до 250000 строительных отделочных элементов в год. Разработан прогрессивный технологический маршрут изготовления изделия-представителя – «отделочная теплозвукоизоляционная фасадная плита». Разработано захватное устройство для разрузки-загрузки роботом основного технологического оборудования – формовочной машины. Для работы участка было выбрано современное основное и вспомогательное технологическое оборудование и произведена его компоновка, обеспечивающая время цикла изготовления 4-х плит 2,7 минуты и занимающая площадь 403,6м<sup>2</sup>.

Разработан алгоритм работы гибкого автоматизированного участка. Спроектирована система управления ГАУ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сайт компании BAZENT технологии измельчения [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург. – Режим доступа: <http://www.bazent.ru/drobilka/>, свободный.
2. Сайт компании FindPatent [Электронный ресурс]. – Екатеринбург. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/>, свободный.
3. Сайт Компании Cleandex [Электронный ресурс]. – Москва. – Режим доступа :[http://www.cleandex.ru/articles/2008/03/18/residue\\_utilization20](http://www.cleandex.ru/articles/2008/03/18/residue_utilization20), свободный.
4. Сайт Компании ИнфорКомОил [Электронный ресурс]. – Москва. – Режим доступа:<http://inforcomoil.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Сайт Компании jofo [Электронный ресурс]. – Москва. – Режим доступа :[http://3d\\_print.jofo.ru/472414.html](http://3d_print.jofo.ru/472414.html), свободный. – Загл. с экрана.
6. Сайт Компании Аргументы и Факты [Электронный ресурс]. – Москва. – Режим доступа :<http://www.aif.ru/dontknows/file/1379601>, свободный. – Загл. с экрана.
7. Сайт Компании 3DTODAY [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург. – Режим доступа :<http://3dtoday.ru/industry/domashnee-proizvodstvo-prutka-likonomika-dolzha-byt-ekonomnoy.html>, свободный. – Загл. с экрана.
8. Сайт компании Schem.net [Электронный ресурс]. – Москва. – Режим доступа :<http://schem.net/arduino/arduino127.php>, свободный. – Загл. с экрана.
9. Сайт компании ARDUINO Все для радио любителей [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург. – Режим доступа :<http://wiki.iarduino.ru/page/ik-priemnik/>, свободный. – Загл. с экрана.
10. Сайт компании Robotclass [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург. – Режим доступа :<http://robotclass.ru/tutorials/arduino-ir-remote-control/>, свободный. – Загл. с экрана.

11. Сайт интернет магазина FreeDelivery [Электронный ресурс]. – г.Ровно. – Режим доступа : <http://freedelivery.in.ua/shop/details/1369/140/>, свободный. – Загл. с экрана.
12. Сайт Компании stD [Электронный ресурс]. – Москва. – Режим доступа : <http://istarik.ru/blog/arduino/42.html>, свободный. – Загл. с экрана.
13. Jonathan Gatti, Carlo Fonda, Livio Tenze and Enrique Canessa; «Voice-Controlled Artificial Handspeak System», 2014 [Электронный ресурс] // URL: <http://airccse.org/journal/ijaia/papers/5114ijaia08>
14. Jephias Gwamuri, Dhiogo Franco, Khalid Y. Khan, Lucia Gauchia and Joshua M. Pearce; «High-Efficiency Solar-Powered 3-D Printers for Sustainable Development», 2016 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.mdpi.com/2075-1702/4/1/3>
15. Jiu Huang, Zhengfu Bian and Shaogang Lei; « Feasibility Study of Sensor Aided Impact Acoustic Sorting of Plastic Materials from End-of-Life Vehicles», 2015 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.mdpi.com/2076-3417/5/4/1699>
16. Francesco Salamone, Lorenzo Belussi, Ludovico Danza, Matteo Ghellere and Italo Meroni; «An Open Source “Smart Lamp” for the Optimization of Plant Systems and Thermal Comfort of Offices», 2016 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/3/338/htm>
17. S. Kanagalakshmi, D. Manamalli, M. Mohamed Rafiq «Design of Multimodel based MPC and IMC control schemes applied to injection molding machine», 2014 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/1844>
18. Пахоменко, А.Н. Методические указания к курсовому проекту по курсу «Основы конструирования и детали машин» / А.Н. Пахоменко. – Тольятти: ТГУ, 2005.
19. Сайт Группы компаний PLM-Урал и Делкам-Урал [Электронный ресурс]. – Екатеринбург. – Режим доступа : <http://www.delcam-ural.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.



20. Сайт Компании Союз-ТМ [Электронный ресурс]. – Екатеринбург. –  
Режим доступа : <http://www.soyuzcom.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.