

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт  
Заочный факультет  
Кафедра «Автоматизированный электропривод»  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

**Заведующий кафедрой  
автоматизированного  
электропривода,  
д.т.н., профессор**

\_\_\_\_\_ / М.А. Григорьев /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автоматизация погрузочно-разгрузочного кластера

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА  
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»  
ЮУрГУ–13.03.02.2020.576 ВКР**

**Руководитель, профессор, д.т.н.**

\_\_\_\_\_ / В.Л. Кодкин /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Автор работы,  
бакалавр группы ПЗ-576**

\_\_\_\_\_ / И.К. Палютин /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Нормоконтролер, доцент, к.т.н.**

\_\_\_\_\_ / Т.А. Функ /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Палютин И.К. Автоматизация погрузочно-разгрузочного кластера.

– Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ; 2020, 64 с., 16 ил., 21 табл.,

библиографический список – 21 наим

Данная выпускная квалификационная работа посвящена разработке системы автоматизации и автоматизированного электропривода погрузочно-разгрузочного кластера.

В работе выполнен расчет мощности и выбор соответствующих электродвигателей конвейерной линии, вентилятора и насоса погрузочно-разгрузочного кластера. Для реализации автоматизированного электропривода для каждого электродвигателя выбран преобразователь частоты, соответствующего тока и напряжения. Для выбранных электроприводов выполнен расчет механических характеристик при разных частотах питающего напряжения.

Для системы автоматизации выбраны программируемый логический контроллер, модули ввода/вывода, необходимые датчики. Для выбранной элементной базы разработана структурная схема системы автоматизации.

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.		Палютин И.К.			<b>Автоматизация погрузочно- разгрузочного кластера</b>	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Кодкин В.Л.					3	64
Реценз						<b>ЮУрГУ</b>		
Н. Контр.		Функ Т.А.				<b>Кафедра «АЭП»</b>		
Утверд.		Григорьев М.А.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	8
2 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.....	10
2.1 Выбор электродвигателя конвейера.....	10
2.2 Выбор электродвигателя вентилятора.....	12
2.3 Выбор электродвигателя насоса.....	14
3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	16
3.1 Выбор преобразователей частоты.....	16
3.1.1 Общие сведения о преобразователях частоты.....	16
3.1.2 Преобразователь частоты для конвейера.....	19
3.1.3 Преобразователь частоты для вентилятора.....	20
3.1.4 Преобразователь частоты для насоса.....	21
3.2 Настройка преобразователей частоты.....	21
3.2.1 Настройка преобразователя частоты для конвейера.....	21
3.2.2 Настройка преобразователя частоты для вентилятора.....	24
3.2.3 Настройка преобразователя частоты для насоса.....	26
3.3 Выбор программируемого логического контроллера.....	28
3.3.1 Главный модуль.....	28
3.3.2 Модули расширения.....	33
3.4 Выбор графической панели оператора.....	38
3.5 Выбор датчиков.....	41
3.5.1 Датчик скорости ленты конвейера.....	41
3.5.2 Датчик температуры воздуха.....	42
3.5.3 Датчик давления жидкости.....	45
3.5.4 Датчик перепада давления.....	46
3.6 Выбор блока питания.....	47
4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.....	49

4.1 Расчет естественных и искусственных механических характеристик электропривода конвейера .....	49
4.2 Расчет естественных и искусственных механических характеристик электропривода вентилятора.....	53
4.3 Расчет естественных и искусственных механических характеристик электропривода насоса.....	55
5 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	57
5.1 Структурная схема.....	57
5.2 Функции системы автоматизации .....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	60
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	62

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных городов, крупных населенных пунктов, а также объектов современной инфраструктуры за пределами населенных пунктов, неизбежно приводит к появлению проблемы вывоза, сортировки и переработки различных мусорных отходов.

В настоящее время достаточно много вопросов, связанных с логистикой мусорных отходов, а также с их переработкой, вызывают заметный общественный резонанс. Одним из эффективных технологических решений, в данном направлении, обеспечивающих соблюдение экологических норм, является организация погрузочно-разгрузочных кластеров по переработке мусора. Данные кластеры должны располагаться за санитарной чертой населенных пунктов, быть удаленными от источников водоснабжения, а также удовлетворять многим другим ограничениям. Также одним из условий размещения погрузочно-разгрузочных кластеров является наличие подъездных путей, как для автомобильного, так и для железнодорожного транспорта. Кроме того, погрузочно-разгрузочные кластеры должны быть оснащены всем необходимым технологическим и инженерным оборудованием, обеспечивающим непрерывную и безопасную его эксплуатацию.

В связи с вышеперечисленным, является актуальной проработка вопросов, связанных с автоматизированным электроприводом и автоматизацией основного технологического, а также инженерного оборудования погрузочно-разгрузочных кластеров.

Объект исследования в выпускной квалификационной работе – технологические и инженерные системы погрузочно-разгрузочных кластеров.

Предметом исследования в данной работе является система автоматизации и электропривода технологического и инженерного оборудования погрузочно-разгрузочных кластеров.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

Цель выпускной квалификационной работы – разработка системы автоматизации и электропривода погрузочно-разгрузочного кластера.

Задачи, требующие решения в выпускной квалификационной работе:

1. Изучение и описание технологического процесса погрузочно-разгрузочного кластера.
2. Выбор электродвигателей технологических механизмов погрузочно-разгрузочного кластера.
3. Выбор элементов системы автоматизации.
4. Расчет статических характеристик электроприводов.
5. Разработка системы автоматизации.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что ее результаты можно будет применить для разработки систем автоматизации и автоматизированного электропривода для погрузочно-разгрузочных кластеров, а также для других аналогичных объектов.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

## 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Погрузочно-разгрузочный кластер применяется для приема и сортировки мусорных отходов. Кластер имеет соответствующее технологическое оборудование, позволяющее осуществить в закрытых или в полузакрытых помещениях сортировку мусорных отходов, а также обеспечить в этих помещениях необходимую вентиляцию и водоснабжение.

На рисунке 1.1 показана технологическая схема разгрузочно-погрузочного кластера в рамках одного помещения, где выполняется сортировка мусорных отходов. Режим использования данного помещения – круглогодичный.

Разгрузка исходных материалов (несортированные мусорные отходы) осуществляется через отдельные ворота. Погрузка отсортированного материала предусмотрена с двух отдельных ворот.

Основные узлы, необходимые для организации погрузочно-разгрузочного кластера:

- конвейерная линия, обеспечивающая перемещение сортируемых материалов с необходимой скоростью, позволяющим операторам технологического процесса выполнить сортировку мусорных отходов;
- система вентиляции, обеспечивающая необходимое качество воздуха в помещении кластера;
- система подачи воды, обеспечивающая водоснабжение помещения для проведения санитарных моек и удовлетворения текущих потребностей в водоснабжении.

Перечисленные узлы погрузочно-разгрузочного кластера должны быть оснащены автоматизированными электроприводами и объединены в единую систему автоматизации, обеспечивающую согласованную и безаварийную эксплуатацию технологического и вспомогательного оборудования.

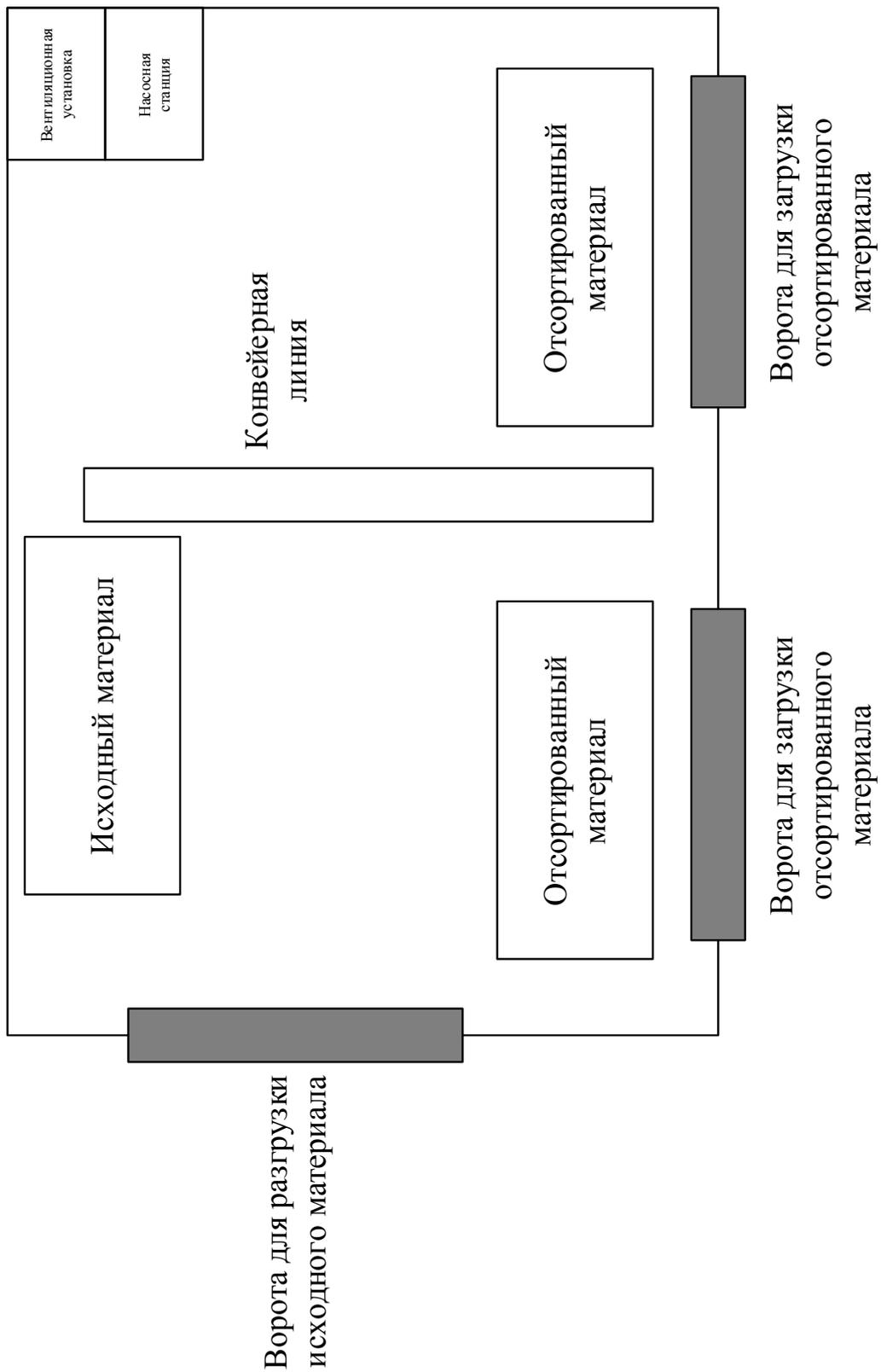


Рисунок 1.1 – Схема технологической линии погрузочно-разгрузочного кластера

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

9

## 2 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

### 2.1 Выбор электродвигателя конвейера

Для определения требуемых мощности и частоты вращения электродвигателя конвейера, определим мощность и частоту вращения выходного вала редуктора.

Мощность на выходном валу редуктора конвейера определим по формуле

$$N_{\text{вых}} = \frac{F_t \cdot V}{1000}, \quad (2.1)$$

где  $F_t$  – окружная сила на барабане конвейера,  $F_t = 1000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;

$V$  – скорость движения ленты конвейера, из документации на технологию конвейера известно, что  $V = 2 \text{ м/с}$ .

Тогда

$$N_{\text{вых}} = \frac{1000 \cdot 2}{1000} = 2 \text{ кВт.}$$

Мощность электродвигателя конвейера определим по формуле:

$$P_{\text{Эп.конв.}} = \frac{N_{\text{вых}}}{\eta}, \quad (2.2)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия (КПД) электропривода конвейера

$$\eta = \eta_{\text{оп}} \cdot \eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{цил}}^2,$$

где  $\eta_{\text{оп}}$  – КПД подшипников барабана конвейера,  $\eta_{\text{оп}} = 0,99$ ;

$\eta_{\text{муф}}$  – КПД муфты,  $\eta_{\text{муф}} = 0,98$ ;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

$\eta_{\text{рем}}$  – КПД ременной передачи,  $\eta_{\text{рем}} = 0,95$ ;

$\eta_{\text{цил}}$  – КПД цилиндрической зубчатой передачи,  $\eta_{\text{цил}} = 0,97$ .

Тогда КПД электропривода конвейера составит

$$\eta = 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,97^2 = 0,88.$$

Тогда мощность электродвигателя конвейера составит

$$P_{\text{эл.конв.}} = \frac{2}{0,88} = 2,67 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 2,27 \text{ кВт.}$$

Частота вращения барабана

$$n_{\text{вых}} = \frac{v}{\pi \cdot D}, \quad (2.3)$$

где  $D$  – диаметр барабана,  $D = 400$  мм.

Тогда

$$n_{\text{вых}} = \frac{2}{3,14 \cdot 0,4} = 1,59 \text{ об/с} = 95,5 \text{ об/мин.}$$

Требуемая частота вращения вала электродвигателя составит

$$n_{\text{э тр}} = n_{\text{вых}} \cdot u_1 \cdot u_2 \cdot u_{\text{рем}}, \quad (2.4)$$

где  $u_1$  – передаточное число первой ступени;

$u_2$  – передаточное число второй ступени;

$u_{\text{рем}}$  – передаточное число ременной передачи.

Принимаем  $u_1 = 2$ ,  $u_2 = 3,8$ ,  $u_{\text{рем}} = 2$ , тогда

$$n_{\text{э тр}} = 95,5 \cdot 2 \cdot 3,7 \cdot 2 = 1413,4 \text{ об/мин}$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

В соответствии с рассчитанным значением мощности электродвигателя конвейера и скоростью вращения выполним выбор соответствующего электродвигателя по каталогу асинхронных электродвигателей серии АИР [7] типа АИР100S4 (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Параметры асинхронного двигателя АИР100S4

Параметр, ед. изм.	Обозначение	Значение
Номинальная мощность, кВт	$P_H$	3
Номинальное напряжение, В	$U_H$	380
Номинальная частота, Гц	$f_H$	50
Номинальный ток, А	$I_H$	6,9
Синхронная частота вращения, об/мин	$n_0$	1500
Номинальная частота вращения, об/мин	$n_H$	1410
Номинальное скольжение %	$s_H$	2,7
Кратность критического момента	$M_K^*$	2,2
Кратность пускового момента	$M_P^*$	2,0
Кратность минимального момента	$M_{мин}^*$	1,6
Кратность пускового тока	$I_P^*$	7
Коэффициент мощности номинальный	$\cos\varphi_H$	0,82
КПД номинальный, %	$\eta_H$	0,815

## 2.2 Выбор электродвигателя вентилятора

Мощность электродвигателя вентилятора определим в соответствии с формулой

$$P_{\text{вент}} = k_3 \cdot \frac{Q_B \cdot H_B}{\eta_B \cdot \eta_P}, \quad (2.5)$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса, принимаем  $k_3 = 1,2$ ;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

$Q_B$  – производительность вентилятора, в соответствии с документацией на технологию, производительность вентилятора  $Q_B = 26000/3600 = 7,22 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$H_B$  – давление на выходе вентилятора, в соответствии с документацией на технологию, давление на выходе вентилятора  $H_B = 1034 \text{ Па}$ ;

$\eta_B$  – КПД вентилятора,  $\eta_B = 0,8$ ;

$\eta_{\Pi}$  – КПД передачи,  $\eta_{\Pi} = 0,9$ .

После подстановки численных значений получим

$$P_{\text{вент}} = 1,2 \cdot \frac{7,22 \cdot 1034}{0,8 \cdot 0,9} = 12,44 \cdot 10^3 = 12,44 \text{ кВт.}$$

В соответствии с рассчитанной мощностью электродвигателя вентилятора из каталога [8] выбираем электродвигатель типа АИР160S4 (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Параметры асинхронного двигателя АИР160S4

Параметр, ед. изм.	Обозначение	Значение
Номинальная мощность, кВт	$P_H$	15
Номинальное напряжение, В	$U_H$	380
Номинальная частота, Гц	$f_H$	50
Номинальный ток, А	$I_H$	29,6
Синхронная частота вращения, об/мин	$n_0$	1500
Номинальная частота вращения, об/мин	$n_H$	1450
Номинальное скольжение %	$s_H$	2,7
Кратность критического момента	$M_K^*$	2,6
Кратность пускового момента	$M_{\Pi}^*$	2,2
Кратность минимального момента	$M_{\text{мин}}^*$	1,6
Кратность пускового тока	$I_{\Pi}^*$	6,1
Коэффициент мощности номинальный	$\cos \varphi_H$	0,86
КПД номинальный, %	$\eta_H$	0,895

## 2.3 Выбор электродвигателя насоса

Мощность электродвигателя насоса определим в соответствии с формулой

$$P_{\text{нас}} = k_3 \cdot \frac{\gamma \cdot Q_{\text{н}} \cdot H_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{п}}}, \quad (2.6)$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса, принимаем  $k_3 = 1,2$ ;

$\gamma$  – удельный вес перекачиваемой жидкости, для перекачиваемой холодной воды  $\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3$ ;

$Q_{\text{н}}$  – производительность насоса, в соответствии с документацией на технологию, производительность насоса  $Q_{\text{н}} = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$H_{\text{н}}$  – напор на выходе насоса, в соответствии с документацией на технологию, напор на выходе насоса  $H_{\text{н}} = 20 \text{ м}$ ;

$\eta_{\text{н}}$  – КПД насоса,  $\eta_{\text{н}} = 0,8$ ;

$\eta_{\text{п}}$  – КПД передачи,  $\eta_{\text{п}} = 1$ .

После подстановки численных значений получим

$$P = 1,2 \cdot \frac{9810 \cdot 0,02 \cdot 20}{0,8 \cdot 1} = 5,89 \cdot 10^3 = 5,89 \text{ кВт.}$$

В соответствии с рассчитанной мощностью электродвигателя насоса из каталога [9] выбираем электродвигатель типа АИР132S4 (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Параметры асинхронного двигателя АИР132S4

Параметр, ед. изм.	Обозначение	Значение
Номинальная мощность, кВт	$P_{\text{н}}$	7,5
Номинальное напряжение, В	$U_{\text{н}}$	380
Номинальная частота, Гц	$f_{\text{н}}$	50

Продолжение таблицы 2.3

Параметр, ед. изм.	Обозначение	Значение
Номинальный ток, А	$I_H$	16
Синхронная частота вращения, об/мин	$n_0$	1500
Номинальная частота вращения, об/мин	$n_H$	1440
Номинальное скольжение %	$s_H$	2,7
Кратность критического момента	$M_K^*$	2,5
Кратность пускового момента	$M_P^*$	2,0
Кратность минимального момента	$M_{мин}^*$	1,6
Кратность пускового тока	$I_P^*$	6,1
Коэффициент мощности номинальный	$\cos\varphi_H$	0,83
КПД номинальный, %	$\eta_H$	0,86

### 3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

#### 3.1 Выбор преобразователей частоты

##### 3.1.1 Общие сведения о преобразователях частоты

Для электроприводов конвейера, вентилятора и насоса выполним выбор преобразователей частоты.

Преобразователь частоты (ПЧ) наиболее распространенного типа – двухзвенный инверторный. Такой преобразователь частоты осуществляет преобразование напряжения питающей сети последовательно в напряжение постоянного тока, а затем в трехфазное напряжение регулируемой частоты.

Двухзвенные инверторные ПЧ должны соответствовать рассматриваемым электроприводам по следующим параметрам:

- диапазон изменения частоты на выходе ПЧ (определяется диапазоном изменения скорости вращения двигателя);
- мощность электродвигателя;
- диапазон изменения нагрузки на валу двигателя.

На рисунке 3.1 показана функциональная схема двухзвенного преобразователя частоты. На данной схеме обозначены следующие функциональные узлы:

- неуправляемый выпрямитель;
- звено постоянного тока;
- автономный инвертор напряжения;
- узел торможения;
- система управления инвертором.

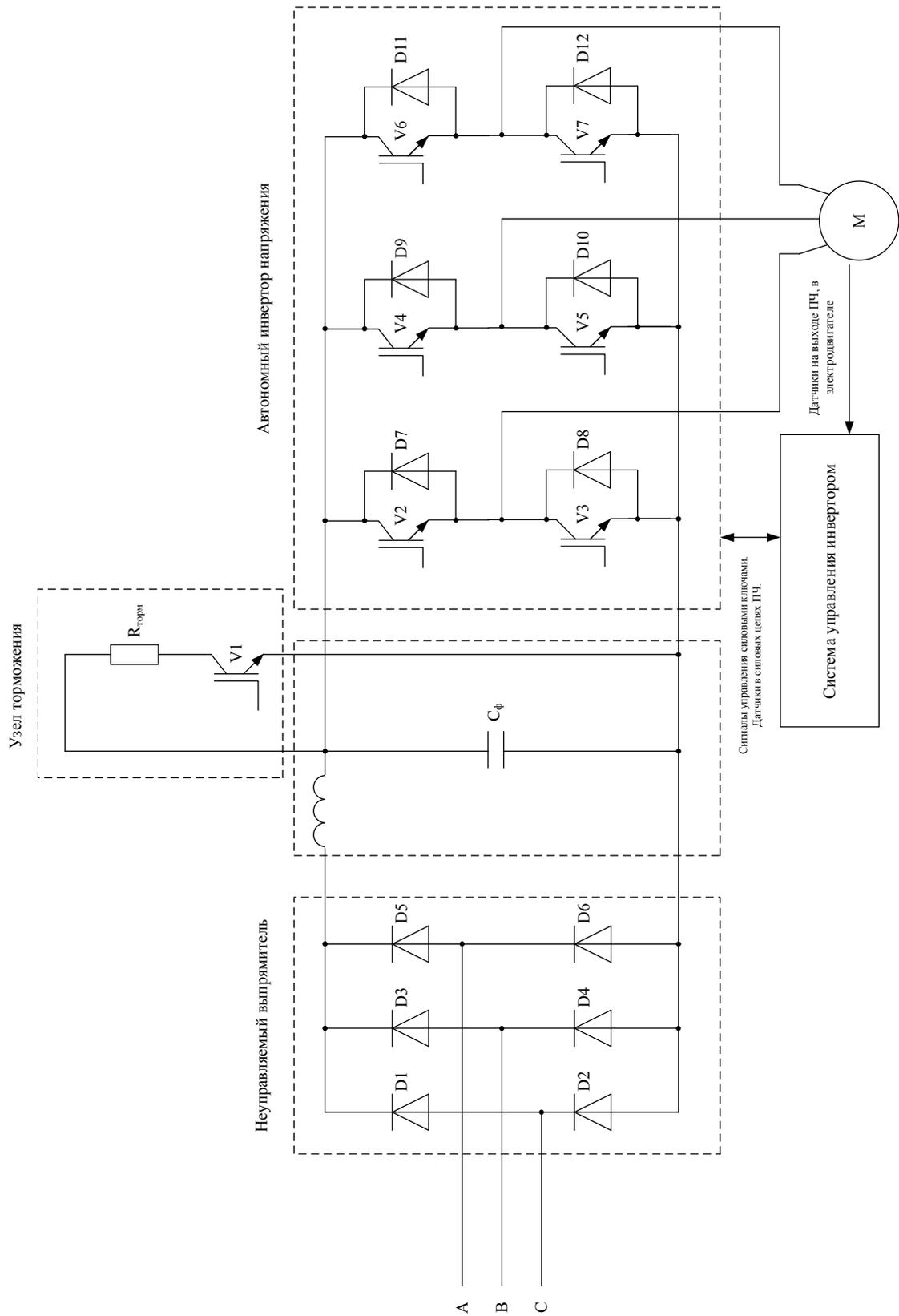


Рисунок 3.1 – Функциональная схема силовой части ПЧ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Силовой канал ПЧ необходим для выполнения двухступенчатого преобразование электрической энергии. Данное преобразование заключается в следующем:

- выпрямление входного переменного напряжения на диодном выпрямителе;
- инвертирование ранее выпрямленного постоянного напряжения с помощью автономного инвертора напряжения (АИН).

Для случая рассматриваемых электроприводов конвейера, вентилятора и насоса выпрямитель будет неуправляемым, т.к. для мощностей их электродвигателей большинство преобразователей частоты выполняются с неуправляемым выпрямителем.

При возникновении режима рекуперации, асинхронный двигатель работает как генератор. При этом автономный инвертор напряжения питает статор двигателя током, который обеспечивает намагничивание двигателя, также АИН работает в режиме выпрямления, что позволяет заряжать емкость фильтра  $C_{\phi}$ . Если направление тока в звене постоянного тока изменяется, то в работу вступает узел торможения – тормозной ключ, подключающий тормозное сопротивление. Узел торможения обеспечивает рассеивание избыточной электрической энергии, поступающей от электродвигателя при электрическом торможении. Данный режим может быть актуален для электропривода конвейера.

Выбор конкретной модели преобразователя частоты выполняется на основе номинальных данных электродвигателя механизма.

При выборе должны выполняться следующие соотношения:

- по напряжению ПЧ

$$U_{\text{нпч}} \geq U_{\text{нд}}; \quad (3.1)$$

- по току ПЧ

$$I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{нд}}; \quad (3.2)$$

где  $U_{нд}$ ,  $I_{нд}$  – номинальные линейное напряжение и фазный ток статора двигателя;

$U_{нпч}$ ,  $I_{нпч}$  – номинальное линейное напряжение и ток нагрузки преобразователя частоты.

### 3.1.2 Преобразователь частоты для конвейера

Для электродвигателя конвейера АИР100S4 (см. параметры в табл. 2.1), с учетом соотношений (3.1) - (3.2), выбираем преобразователь частоты серии ПЧВ1 модели ПЧВ103-3К0-В производства российской компании ОВЕН [10]. Технические данные выбранного ПЧ представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические данные преобразователя частоты ПЧВ103-3К0-В

Параметр	Значение
Номинальный выходной ток	7,1 А
Номинальный входной ток	11,5 А
Питающая сеть	3 фазы, 380...480В 50 Гц
Выходное напряжение в % от входного напряжения	0...100
Выходная частота	0..200 Гц (векторное управление), 0...400 Гц (скалярное управление)
Точность поддержания скорости	до 0,1% от фактической
Точность поддержания момента	до 0,5% от фактического

Продолжение таблицы 3.1

Параметр	Значение
Функции работы, необходимые для механизма	Плавный пуск и останов двигателя, пуск под нагрузкой. Компенсация нагрузки и скольжения. Векторное и скалярное управление. Работа с внешними датчиками скорости. Связь по интерфейсу RS-485 с внешними системами автоматизации.
Функции защиты	Повышенное и пониженное напряжение. Пропадание фазы. Перегрузка по току. Короткое замыкание и т.д.

### 3.1.3 Преобразователь частоты для вентилятора

Для электродвигателя вентилятора АИР160S4 (см. параметры в табл. 2.2), с учетом соотношений (3.1) - (3.2), выбираем преобразователь частоты серии ПЧВ2 модели ПЧВ204-15К-В [10]. Технические данные выбранного преобразователя частоты представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические данные преобразователя частоты ПЧВ204-15К-В

Параметр	Значение
Номинальный выходной ток	30,7 А
Номинальный входной ток	42 А
Питающая сеть	3 фазы, 380...480В, 50 Гц
Выходное напряжение в % от входного напряжения	0...100

Продолжение таблицы 3.2

Параметр	Значение
Выходная частота	0..200 Гц (векторное управление), 0...400 Гц (скалярное управление)
Точность поддержания скорости	до 0,1% от фактической
Точность поддержания момента	до 0,5% от фактического
Функции работы, необходимые для механизма	Плавный пуск и останов двигателя, пуск под нагрузкой. Компенсация нагрузки и скольжения. Векторное и скалярное управление. Встроенный ПИ-регулятор. Работа с внешними датчиками скорости. Связь по интерфейсу RS-485 с внешними системами автоматизации.
Функции защиты	Повышенное и пониженное напряжение. Пропадание фазы. Перегрузка по току. Короткое замыкание и т.д.

### 3.1.4 Преобразователь частоты для насоса

Для электродвигателя насоса АИР132S4 (см. параметры в табл. 2.3), с учетом соотношений (3.1) - (3.2), выбираем преобразователь частоты серии ПЧВ2 модели ПЧВ204-11К-В [10]. Технические данные выбранного преобразователя частоты представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические данные преобразователя частоты ПЧВ204-11К-В

Параметр	Значение
Номинальный выходной ток	22,9 А
Номинальный входной ток	33 А
Питающая сеть	3 фазы, 380...480В, 50 Гц
Выходное напряжение в % от входного напряжения	0...100
Выходная частота	0..200 Гц (векторное управление), 0...400 Гц (скалярное управление)
Точность поддержания скорости	до 0,1% от фактической
Точность поддержания момента	до 0,5% от фактического
Функции работы, необходимые для механизма	Плавный пуск и останов двигателя, пуск под нагрузкой. Компенсация нагрузки и скольжения. Векторное и скалярное управление. Встроенный ПИ-регулятор. Работа с внешними датчиками скорости. Связь по интерфейсу RS-485 с внешними системами автоматизации.
Функции защиты	Повышенное и пониженное напряжение. Пропадание фазы. Перегрузка по току. Короткое замыкание и т.д.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

22

## 3.2 Настройка преобразователей частоты

### 3.2.1 Настройка преобразователя частоты для конвейера

Настройка параметров преобразователя частоты для конвейера выполняется в соответствии с руководством по вводу в эксплуатацию [10] в следующей последовательности (табл. 3.4):

- ввод параметров электродвигателя;
- ввод параметров защит и ограничений;
- ввод параметров разгона и торможения.

Таблица 3.4 – Настройка параметров ПЧ конвейера

Параметр	Описание параметра	Значение
Ввод параметров электродвигателя		
1-20	Номинальная мощность (кВт)	3
1-22	Номинальное напряжение (В)	380
1-23	Номинальная частота (Гц)	50
1-24	Номинальный ток (А)	6,9
1-25	Номинальная скорость (об/мин)	1410
1-29	Автоматическая адаптация двигателя	2
Ввод параметров защит и ограничений		
4-12	Нижний предел скорости двигателя (Гц)	0
4-14	Верхний предел скорости двигателя (Гц)	50
4-16	Максимальный момент (%)	100
2-10	Функция торможения	2
2-17	Контроль перенапряжения	2
1-90	Тепловая защита двигателя	4
1-73	Запуск с хода	1
5-40	Реле функций	9

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

23

Продолжение таблицы 3.4

Параметр	Описание параметра	Значение
14-01	Частота ШИМ	2
Ввод параметров разгона/торможения		
3-41	Время разгона 1	5
3-42	Время торможения 1	5

В таблице 3.4 приведены только те параметры, которые требуют изменения по сравнению с их заводскими настройками. Параметры ПЧ, не указанные в таблице 3.4, остаются без изменений и соответствуют заводской конфигурации.

При вводе параметров электродвигателя выполняется автоматическая адаптация алгоритмов управления к параметрам электродвигателя с помощью параметра 1-29, установленного в значение 2. Это позволит более точно определить параметры схемы замещения электродвигателя, что необходимо при работе векторного управления. Режим векторного управления в ПЧ настроен по умолчанию.

При параметрировании предусмотрена тепловая защита электродвигателя с помощью электронного теплового реле, активируемого параметром 1-90 при значении 4.

Также при параметрировании ПЧ предусмотрены другие виды защит (табл. 3.4).

### 3.2.2 Настройка преобразователя частоты для вентилятора

Настройка параметров преобразователя частоты для вентилятора также выполняется в соответствии с руководством по вводу в эксплуатацию [10] в следующей последовательности (табл. 3.5):

- ввод параметров электродвигателя;
- ввод параметров защит и ограничений;

– ввод параметров разгона и торможения.

При параметрировании ПЧ для электропривода вентилятора предусматриваем минимально-допустимую выходную частоту на уровне 20 Гц (параметр 4-12). Это необходимо для того, чтобы вентилятор не работал в недопустимом диапазоне низких скоростей вращения, где снижается его КПД и повышается потребление электроэнергии.

Предусмотрена автоматическая оптимизация энергопотребления, необходимая для электропривода вентилятора (параметр 1-03 равный 2).

Таблица 3.5 – Настройка параметров ПЧ вентилятора

Параметр	Описание параметра	Значение
Ввод основных параметров электропривода		
1-03	Характеристики крутящего момента	2
1-01	Принцип управления двигателем	0
1-20	Номинальная мощность (кВт)	15
1-22	Номинальное напряжение (В)	380
1-23	Номинальная частота (Гц)	50
1-24	Номинальный ток (А)	29,6
1-25	Номинальная скорость (об/мин)	1450
1-29	Автоматическая адаптация двигателя	2
Ввод параметров защит и ограничений		
4-12	Нижний предел скорости двигателя (Гц)	20
4-14	Верхний предел скорости двигателя (Гц)	50
4-16	Максимальный момент (%)	100
2-10	Функция торможения	2
2-17	Контроль перенапряжения	2
1-90	Тепловая защита двигателя	4
1-93	Источник термистора	0
1-73	Запуск с хода	1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

25

Продолжение таблицы 3.5

Параметр	Описание параметра	Значение
5-40	Реле функций	9
14-01	Частота ШИМ	2
Ввод параметров разгона/торможения		
3-41	Время разгона 1	5
3-42	Время торможения 1	5

Также для электропривода вентилятора предусмотрен принцип скалярного управления (параметр 1-01 равный 0).

### 3.2.3 Настройка преобразователя частоты для насоса

Настройка параметров преобразователя частоты для насоса также выполняется в соответствии с руководством по вводу в эксплуатацию [10] в следующей последовательности (табл. 3.6):

Таблица 3.6 – Настройка параметров ПЧ насоса

Параметр	Описание параметра	Значение
Ввод параметров электродвигателя		
1-20	Номинальная мощность (кВт)	7,5
1-22	Номинальное напряжение (В)	380
1-23	Номинальная частота (Гц)	50
1-24	Номинальный ток (А)	16
1-25	Номинальная скорость (об/мин)	1440
1-29	Автоматическая адаптация двигателя	2
Ввод параметров защит и ограничений		
4-12	Нижний предел скорости двигателя (Гц)	20
4-14	Верхний предел скорости двигателя (Гц)	50

Продолжение таблицы 3.6

Параметр	Описание параметра	Значение
4-16	Максимальный момент (%)	100
2-10	Функция торможения	2
2-17	Контроль перенапряжения	2
1-90	Тепловая защита двигателя	4
1-93	Источник термистора	0
1-73	Запуск с хода	1
5-40	Реле функций	9
14-01	Частота ШИМ	2
4-56	Предупреждение: низкий сигнал обратной связи (ОС)	3
Ввод параметров разгона/торможения		
3-41	Время разгона 1	5
3-42	Время торможения 1	5
Ввод параметров регулирования давления		
1-00	Режим конфигурирования	3
3-02	Минимальное задание	0
3-03	Максимальное задание	10
7-20	Источник обратной связи для ПИ регулятора	2
7-30	Нормальный/инверсный режим работы регулятора	0
7-33	Пропорциональный коэффициент усиления ПИ регулятора	При наладке
7-34	Постоянная времени интегрирования ПИ регулятора	При наладке

По многим параметрам настройка ПЧ для электропривода насоса похожа на настройку ПЧ для электропривода вентилятора, кроме того, что электропривод насоса должен работать в замкнутой системе регулирования

по поддержанию давления. Для реализации контура регулирования давления используются параметры 3-02, 3-03, 7-20, 7-30, 7-33, 7-34.

При настройке контура регулирования давления необходимо выполнить подбор значений пропорционального коэффициента усиления ПИ-регулятора (параметр 7-33) и постоянной времени интегрирования ПИ регулятора (параметр 7-34). Это может выполняться с помощью осциллографа или с помощью компьютерной визуализации. В результате настройки ПИ регулятора должны быть получены переходные процессы по отработке заданного давления без статической ошибки, с требуемым быстродействием и допустимым перерегулированием.

### 3.3 Выбор программируемого логического контроллера

#### 3.3.1 Главный модуль

Для системы автоматизации погрузочно-разгрузочного кластера выбираем программируемый логический контроллер (ПЛК) модели ОВЕН ПЛК160 (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Контроллер ОВЕН ПЛК 160

Данный управляющий контроллер входит в линейку программируемых моноблочных контроллеров, оснащенных необходимыми дискретными и аналоговыми входами/выходами. Такой контроллер используется для реализации систем автоматизации средних систем [11].

Контроллер ОВЕН ПЛК 160 характеризуется следующими особенностями и функционалом:

- большое количество входов / выходов (16 дискретных входов, 12 дискретных выходов, 8 аналоговых входов, 4 аналоговых выхода);
- наличие последовательных портов (RS-232, RS-485);
- порт Ethernet для включения в локальные или глобальные сети верхнего уровня;
- поддержка широкого спектра протоколов обмена (Modbus, ОВЕН, DCON);
- работа напрямую с портами контроллера, подключение внешних устройств с нестандартными протоколами;
- наличие встроенных часов реального времени позволяет создавать системы управления с учетом реального времени;
- встроенный аккумулятор позволяет организовать ряд дополнительных функций, таких как защита от кратковременного пропадания питания, перевод выходных элементов в безопасное состояние.

Программирование контроллера ОВЕН ПЛК 160 также как и ОВЕН ПЛК 150, осуществляется в среде CODESYS v.2.3.x, соответствующей стандарту МЭК 61131.

На рисунке 3.3 представлена структурная схема ОВЕН ПЛК 160.

В соответствии с ней, ОВЕН ПЛК 160 имеет различные выводы во внешнюю цепь. Рассмотрим их подробнее.

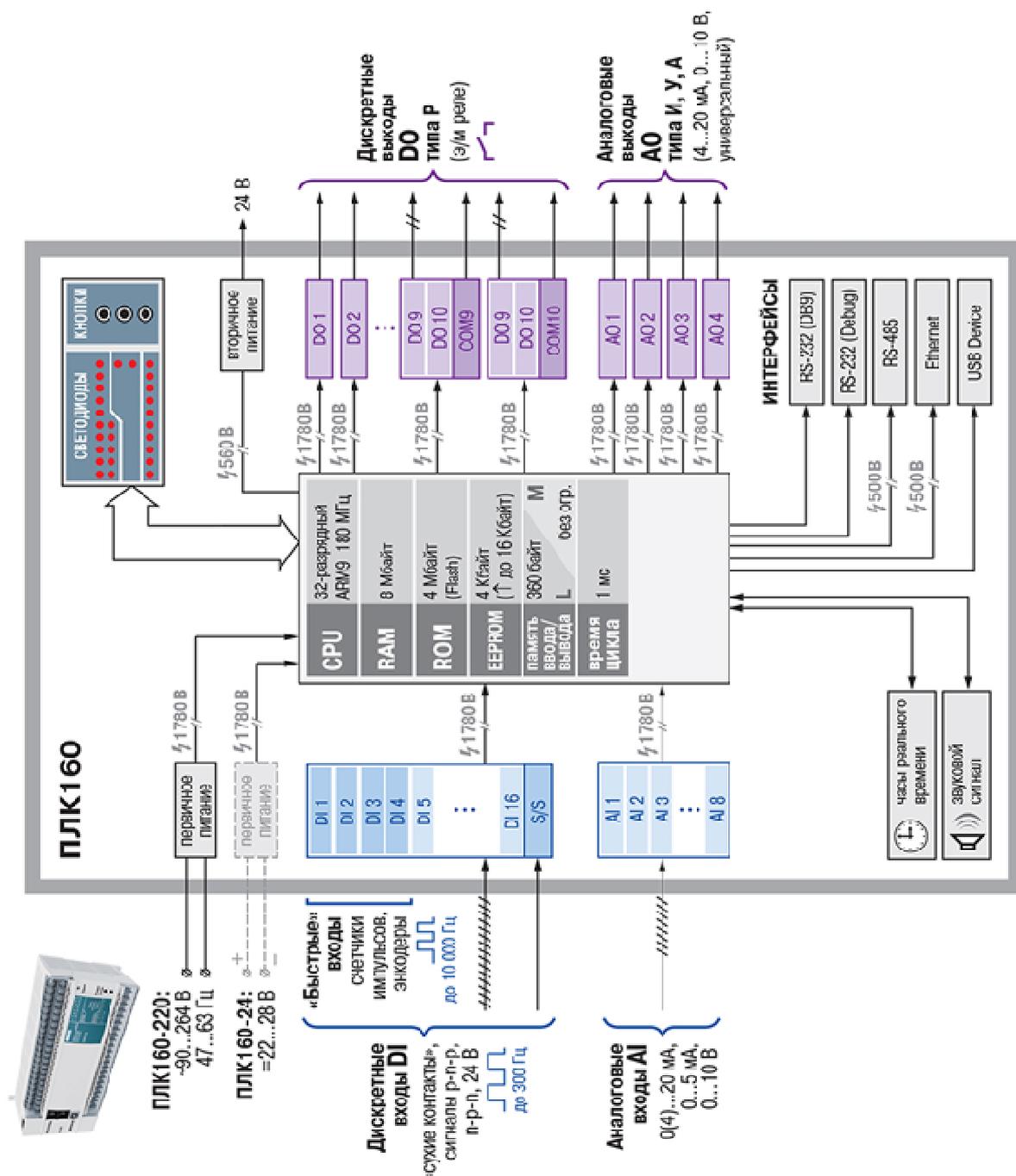


Рисунок 3.3 – Структурная схема ОВЕН ПЛК 160

Первичное питание возможно от 90 до 264 В переменного тока с частотой от 47 Гц до 63 Гц, или от 22 В до 28 В постоянного тока – это зависит от конкретной модели. В большинстве случаев выбирают модель контроллера с питанием 220 В переменного напряжения.

Дискретные входы DI пронумерованы на схеме как DI1 ... DI16. При этом дискретные входы могут воспринимать сигналы типа «сухие контакты», п-р-п, р-п-р, 24 В. Все дискретные входы могут работать в режиме счетчиков для сигналов, изменяющихся с частотой до 300 Гц.

Дискретные входы DI1...DI4 могут работать в режиме «быстрых дискретных входов», что позволит обрабатывать сигналы счетчиков импульсов и энкодеров с частотой до 10 кГц.

Аналоговые входы AI пронумерованы на схеме как AI1 ... AI8. Аналоговые входы могут быть по напряжению (0...10 В) или по току (0...20 мА, 4...20 мА, 0...5 мА).

Дискретные выходы DO на схеме контроллера пронумерованы как DO1...DO10 – это электромагнитные реле, контакты которых выдерживают ток 3А при напряжении 250 В переменного тока. В ПЛК 160 по два дискретных выхода имеют общую клемму COM.

Аналоговые выходы AO. На схеме пронумерованы как AO1 ... AO4. Каждый аналоговый выход изолирован от других. На аналоговых выходах контроллера могут быть сигналы типа напряжение (0...10 В) или ток (4...20 мА).

Вторичное питание напряжением 24 В постоянного тока (внутренний блок питания) необходимо для питания аналоговых датчиков, которые подключаются к ОВЕН ПЛК 160. Если нет таких датчиков, или они запитаны от внешнего источника питания, то это внутренний блок питания не задействован.

В контроллере ОВЕН ПЛК 160 предусмотрены следующие интерфейсы:

- RS-232 (тип DB9);
- RS-232 (Debug);

- RS-485;
- Ethernet;
- USB.

Интерфейс RS-232 нужен для подключения ОВЕН ПЛК 160 к ПК с установленным программным обеспечением CODESYS v.2.3.x для создания программных приложений системы автоматизации.

Интерфейс RS-485 нужен для включения ОВЕН ПЛК 160 в коммуникационные сети типа RS-485.

В центральном модуле управления контроллера ОВЕН ПЛК150 имеются такие компоненты как:

- микропроцессор CPU;
- память RAM;
- память ROM;
- память EEPROM;
- память ввода/вывода.

Модуль микропроцессора CPU – главный и самый интеллектуальный модуль в ПЛК. Этот CPU является 32-разрядным устройством типа AMR9, с рабочей частотой 180 МГц. К нему подключаются все вышеприведенные интерфейсы (DI, AI, DO, AO и т.д.). Подключение данных интерфейсов выполняется с помощью цепочек гальванической развязки, которые защищают CPU от внешних перенапряжений, больших токов и т.д.

Память RAM содержит 8 Мбайт, память ROM – 4 Мбайт по технологии Flash, EEPROM имеет 4 Кбайта, с возможностью увеличения до 16 кБайт.

Время цикла вычислительной части у ОВЕН ПЛК 160 составляет 1 мс.

Все внешние интерфейсы изолированы от модуля центрального процессора с прочностью изоляции в основном 1780 В, некоторые узлы подключены с изоляцией 500 В (интерфейсы RS-485 и Ethernet) или 560 В (источник вторичного питания).

Также к модулю CPU по внутренней информационной шине подключаются кнопки и светодиоды, которые расположены на лицевой панели контроллера.

### 3.3.2 Модули расширения

В системах автоматизации на основе ПЛК ОВЕН используются модули расширения для ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов.

В основе модулей расширения для ПЛК ОВЕН применяется распространенный в промышленности стандарт проводной коммуникации RS-485. Данный стандарт коммуникации основан на принципе, что все задействованные модули применяют в коммуникации простые протоколы по принципу «запрос-ответ».

Внешний вид модуля расширения показан на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Внешний вид модуля расширения ОВЕН

При использовании модулей расширения, следует предусмотреть, что они не могут работать в режиме Мастера сети. В связи с этим, сеть RS-485 должна содержать устройство, которое будет Мастером в коммуникационной сети, например:

- офисный компьютер с установленным соответствующим программным обеспечением и включенной системой диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA-система);
- программируемый логический контроллер;
- регулятор с расширенными коммуникационными возможностями.

Для успешной наладки систем автоматизации с модулями расширения тип протокола коммуникации определяется модулем расширения автоматически.

К модулям расширения ОВЕН предоставляется бесплатное программное обеспечение (OPC-драйвер) и программная библиотека стандарта WIN DLL, которые необходимо применять для подключения модулей расширения к системам SCADA или ПЛК других производителей.

Настройка и подготовка модулей расширения к работе выполняется с помощью персонального компьютера при подключении с помощью адаптера RS-485/RS-232 или RS-485/USB (к примеру, ОВЕН АС3-М или АС4, соответственно). Также для этого используется программное обеспечение «Конфигуратор М110». Указанное программное обеспечение поставляется совместно с модулями расширения.

Модули расширения ОВЕН могут быть использованы, если выдержаны данные условия:

- закрытые взрывобезопасные помещения без наличия агрессивных паров и газов;
- температура окружающей среды –10..55°С;
- относительная влажность воздуха менее 80% при температуре 25°С и более низкой температуре без конденсации влаги;
- атмосферное давление – 86..106,7 кПа.

Для сбора аналоговых сигналов в системе управления необходимо применять модуль расширения МВ110-8А [12]. Особенностью опроса входов данного модуля – опрос выполняется последовательно, что значит, что опрос

восьми входов займет время, равное сумме опросов всех имеющихся входов с 1 по 8.

Основные технические характеристики модуля ввода аналоговых сигналов МВ110-8А приведены в таблице 3.7.

Для сбора дискретных сигналов в системе управления нужно использовать модуль расширения МВ110-16Д [13].

В таблице 3.8 приведены основные технические характеристики модуля ввода дискретных сигналов МВ110-16Д.

Таблица 3.7 – Основные характеристики модуля МВ110-8А

Характеристика	Значение
Напряжение питания	90..264 V AC, 47..63 Гц
Потребляемая мощность, ВА	не более 6
Количество аналоговых входов	8
Интерфейс связи с компьютером	RS-485
Максимальная скорость обмена по интерфейсу RS-485, бит/сек	115200
Протокол связи, используемый для передачи информации	ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
Степень защиты корпуса	IP20 – панель, IP00 – клеммник
Габаритные размеры прибора, мм	63x110x73
Масса прибора, кг	не более 0,5
Средний срок службы, лет	10

Таблица 3.8 – Основные характеристики модуля МВ110-16Д

Характеристика	Значение
Напряжение питания	90..264 V AC, 47..63 Гц или 24 V DC
Потребляемая мощность, ВА	6
Количество дискретных входов	16

Продолжение таблицы 3.8

Характеристика	Значение
Интерфейс связи с компьютером	RS-485
Максимальная скорость обмена по интерфейсу RS-485, бит/сек	115200
Коммуникационный протокол, используемый для передачи информации	ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
Степень защиты корпуса	IP20
Габаритные размеры прибора, мм	63x110x73
Масса прибора, кг, не более	0,5
Средний срок службы, лет	8

Для вывода аналоговых сигналов в системе управления необходимо использовать модуль расширения МУ110-6У [14]. Выходные сигналы данного модуля находятся в диапазоне от 0 до 10 В, что позволяет реализовать управление большинством соответствующих исполнительных механизмов технологических линий.

В таблице 3.9 приведены основные технические характеристики модуля вывода аналоговых сигналов МУ110-6У.

Таблица 3.9 – Основные характеристики модуля МУ110-6У

Характеристика	Значение
Напряжение питания	90..264 V AC, 47..63 Гц или 24 V DC
Потребляемая мощность, ВА	6
Количество аналоговых выходных элементов	6
Тип аналоговых выходных элементов	ЦАП «параметр – напряжение 0...10 В»

Продолжение таблицы 3.9

Характеристика	Значение
Интерфейс связи с компьютером	RS-485
Максимальная скорость обмена по интерфейсу RS-485, бит/сек	115200
Коммуникационный протокол, используемый для передачи информации	ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
Степень защиты корпуса	IP20
Габаритные размеры прибора, мм	63x110x73
Масса прибора, кг, не более	0,5
Средний срок службы, лет	8

Для вывода дискретных сигналов в системе управления необходимо использовать модуль расширения МУ110-16Р [15]. Особенностью выходных цепей данного модуля является то что, они также могут функционировать в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

В таблице 3.10 приведены основные технические характеристики модуля вывода дискретных сигналов МУ110-16Р.

Таблица 3.10 – Основные характеристики модуля ОВЕН МУ110-16Р

Характеристика	Значение
Напряжение питания	90..264 V AC, 47..63 Гц или 24 V DC
Потребляемая мощность, ВА	12
Количество дискретных выходных элементов	16
Интерфейс связи с компьютером	RS-485
Максимальная скорость обмена по интерфейсу RS-485, бит/сек	115200

Продолжение таблицы 3.10

Характеристика	Значение
Коммуникационный протокол, используемый для передачи информации	ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
Степень защиты корпуса	IP20
Габаритные размеры прибора, мм	63x110x73
Масса прибора, кг, не более	0,5
Средний срок службы, лет	8

### 3.4 Выбор графической панели оператора

Для отображения необходимой информации о функционировании технологического оборудования погрузочно-разгрузочного кластера, а также диалога с обслуживающим персоналом, в случае применения управляющего контроллера типа ОВЕН ПЛК 160 можно использовать сенсорную панель ОВЕН СП 307 [16].

Внешний вид данной панели показан на рисунке 3.5.

Сенсорная панель ОВЕН СП307 помимо наглядного отображения значений параметров и оперативного управления может вести архив событий или значений.

Конфигурирование панели СП307 осуществляется в среде «Конфигуратор СП300».

Панель имеет графический сенсорный экран размером 7 дюймов. Также панель оснащена двумя последовательными интерфейсами RS-485/RS-232 для обмена с ПЛК и порт USB-B для подключения к компьютеру.

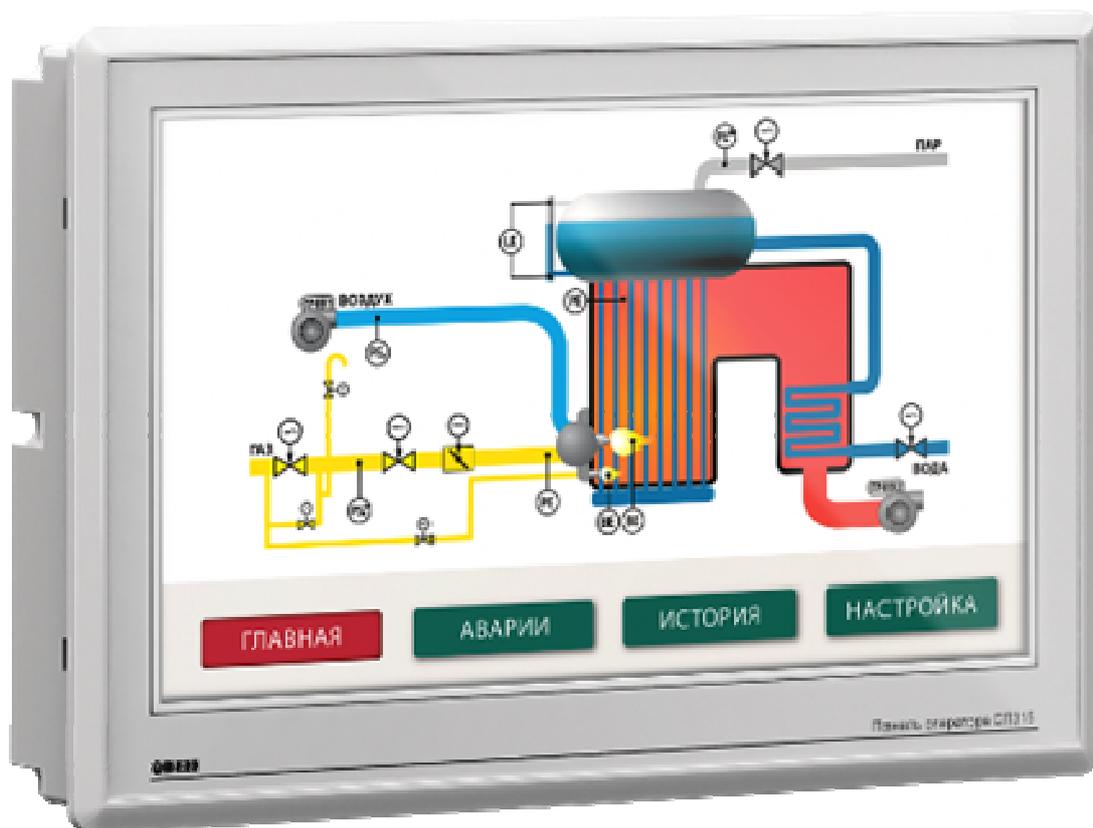


Рисунок 3.5 – Внешний вид панели визуализации ОВЕН СП 307

В расширенной модификации (СП307-Р) присутствует Ethernet-порт для обмена данными с контроллером и порт USB для подключения USB-flash-накопителей. Корпус панели СП307 с лицевой стороны имеет защиту от пыли и влаги по стандарту IP65.

В таблице 3.11 приведены данные о технических характеристиках панели ОВЕН СП 307.

Таблица 3.11 – Технические характеристики ОВЕН СП307

Наименование	Значение
Процессор	
Модель	AT91SAM9G35-CU
Частота, МГц	400
Человеко-машинный интерфейс	
Тип дисплея, диагональ, мм (в дюймах)	16,7 млн цветов TFT (7,0)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

39

Продолжение таблицы 3.11

Наименование	Значение
Разрешение дисплея, пиксель	800×480
Рабочая зона дисплея (ширина × высота), мм	154,1 × 85,9
Встроенные часы реального времени	есть
Память	
Память программ (Flash-РАМ), Мб	128
Питание	
Тип питающего напряжения	постоянное
Диапазон питающего напряжения, В	23...27
Номинальное напряжение питания, В	24
Потребляемый ток, А, не более	0,25
Потребляемая мощность, Вт, не более	8
Корпус панели	
Конструктивное исполнение	для щитового крепления
Габаритные размеры (Ш × В × Г), мм	200,4×146,9×49
Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254	IP65 (лицевая сторона), IP20 (клеммники)
Масса (с элементами крепления), кг, не более	1,2
Количество (тип) портов	1 × PLC(DB9M), 1 × Download(DB9M), 1 × USB-Device (USB-B)
Протокол (тип связи и особенности работы)	Modbus RTU, Modbus ASCII
Скорость обмена по интерфейсам RS, бод	от 4800 до 187500
Наработка на отказ	
Средняя наработка на отказ	75 000 часов

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

40

### 3.5 Выбор датчиков

#### 3.5.1 Датчик скорости ленты конвейера

Датчики контроля скорости конвейерной ленты ДКС [17] формируют на своем выходе сигналы, частота которых пропорциональна скорости движения ленты конвейера. Выходные сигналы датчика подключаются к управляющему контроллеру. Последний в случае критического уменьшения частоты сигналов, передаваемых одним датчиком, или критическом рассогласовании частот сигналов, передаваемых двумя датчиками, формирует команду включения предупреждающей сигнализации или команду для аварийного останова конвейера.

Датчик устанавливается так, что при движении конвейера в его рабочей зоне, с частотой, пропорциональной скорости конвейера, оказывались металлические элементы конструкции. Такими элементами могут быть рёбра жёсткости ведущего (натяжного) барабана, звенья цепи, и т.д.

Внешний вид датчика ДКС показан на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Внешний вид датчика контроля скорости ДКС

Основные технические параметры выбранного датчика контроля скорости конвейерной ленты ДКС-1320 приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Основные технические параметры датчика ДКС-1320

Характеристика	Значение
Напряжение питания	20...250 В переменного тока, 20...320 В постоянного тока
Рабочий ток	5...500 мА
Номинальный зазор	10 мм
Присоединение	Кабель 3 × 0,34 мм <sup>2</sup>
Частота переключения	150 Гц
Тип контакта	Нормально замкнутый (NC)

### 3.5.2 Датчик температуры воздуха

Для измерения температуры воздуха используется датчик ОВЕН ПВТ100 [18]. Внешний вид датчика ПВТ100 для наружного воздуха показан на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Внешний вид датчика ОВЕН ПТВ100 для наружного применения

В таблице 3.13 приведены основные технические характеристики датчика ОВЕН ПВТ100.

Таблица 3.13 – Основные технические характеристики датчика ОВЕН ПТВ100

Характеристика	Значение
Диапазон измерений относительной влажности <i>RH</i>	0 ... 100 % <i>RH</i>
Диапазон измерений температуры окружающего воздуха	-40 ... + 80 (+120) °C
Степень пылевлагозащиты	IP65
Температура измеряемой среды: - общепромышленное исполнение - высокотемпературное исполнение	-40 ... + 80 °C -40 ... + 120 °C
Длина кабеля (модификации Н5)	2,5 м / 5,0 м
Абсолютная погрешность измерения влажности	± 2,5 % – в диапазоне <i>RH</i> = 20 ... 80 % ± 3,5 % – вне диапазона <i>RH</i> = 20 ... 80 %
Абсолютная погрешность измерения температуры	± 0,5°C в диапазоне <i>RH</i> = 20 ... 80 % ± 0,7 °C вне диапазона <i>RH</i> = 20 ... 80 %
Повторяемость	±0,1 % <i>RH</i> / ±0,1 °C
Стабильность	±0,25 % <i>RH</i> / 0,02 °C в год
Время готовности к работе после включения, не более	10 – 15 сек
Поддерживаемые интерфейсы и протоколы	RS-485 (протокол Modbus RTU), скорость 1200...57600 бит/с

Датчик ОВЕН ПТВ 100 используется для непрерывного преобразования относительной влажности и температуры неагрессивного газа в два

унифицированных выходных сигнала 4...20 мА и передачи измеренных значений по интерфейсу RS-485 (Modbus RTU).

Датчик ОВЕН ПВТ100, показанный на рисунке 3.7 за счет применения выносного зонда, который можно устанавливать на открытом воздухе, будет измерять температуру и влажность наружного воздуха.

На рисунке 3.8 показаны условия эксплуатации датчика ОВЕН ПВТ100 по температуре и по влажности воздуха.

На рисунке 3.9 показана схема подключения ОВЕН ПВТ100.

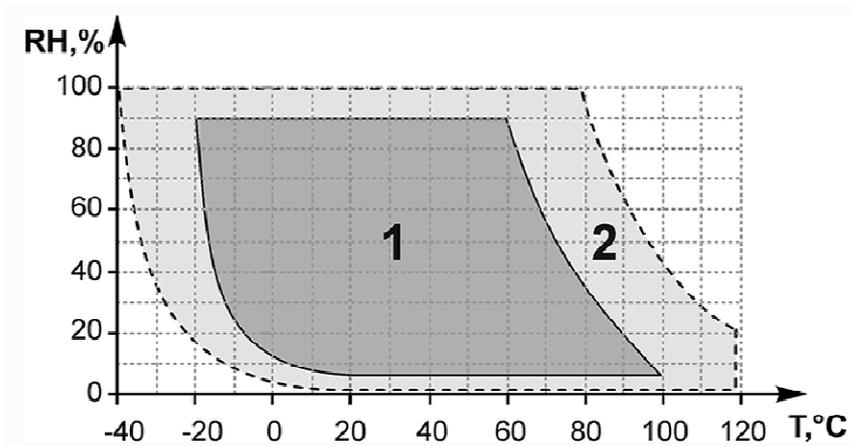


Рисунок 3.8 – Условия эксплуатации датчика ОВЕН ПВТ100

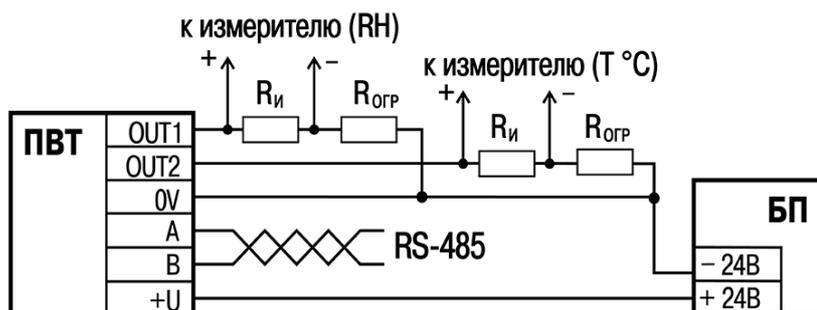


Рисунок 3.9 – Схема подключения ОВЕН ПВТ100

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

44

### 3.5.3 Датчик давления жидкости

Для измерения давления воды на выходе насоса выбираем датчик ОВЕН ПД100-ДИ [19] (табл. 3.14) с диапазоном измерения 0-30 бар.

Таблица 3.14 – Основные технические характеристики ОВЕН ПД100-ДИ

Наименование	Значение
Выходной сигнал постоянного тока	4...20 мА, 2-х проводная схема
Основная приведенная погрешность	0,5; 1,0 % ВПИ
Диапазон рабочих температур измеряемой среды	-40...+100 °С
Напряжение питания	12...36 В постоянного тока
Сопротивление нагрузки	0...1,0 кОм
Потребляемая мощность	не более 0,8 Вт
Устойчивость к механическим воздействиям	группа исполнения V3 по ГОСТ Р 52931
Степень защиты корпуса	IP65
Устойчивость к климатическим воздействиям	УХЛ3.1
Диапазон рабочих температур окружающего воздуха	-40...+80 °С
Атмосферное давление рабочее	66...106,7 кПа
Средний срок службы	12 лет
Межповерочный интервал	2 года
Методика поверки	КУВФ.406230.100 МП
Вес без упаковки / в упаковке	0,2 кг / 0,3 кг
Габаритный размер (по высоте)	не более 115 мм
Перегрузочная способность	не менее 200 % от ВПИ
Предельное давление перегрузки	не менее 400 % от ВПИ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

45

Данный датчик является преобразователем давления с измерительной мембраной из нержавеющей стали AISI 316L, сенсором на основе технологии КНК и кабельным вводом стандарта EN175301-803 (DIN43650 А).

Данные датчики характеризуются высокой точностью измерения (от  $\pm 0,5\%$  ВПИ), устойчивостью к гидроударам и относительно низким выходным шумом (не более  $\pm 16$  мкА).

### 3.5.4 Датчик перепада давления

Для измерения перепада давления на насосе и вентиляторе будем использовать реле давления КРІ 35 для общепромышленного применения (рис. 3.10) [20]. Эти реле также называют прессостатами.

Сигналы от данных реле позволят получить информацию о фактическом включении/отключении насоса или вентилятора.

Реле давления КРІ 35 используется для систем регулирования, контроля и аварийной сигнализации в промышленных установках. Реле серии КРІ пригодны для установок, в которых используются жидкие и газообразные среды. Реле КРІ 35 снабжены однополюсной перекидной контактной системой (SPDT).



Рисунок 3.13 – Внешний вид реле давления КРІ

Отличительные особенности реле КРІ 35:

- диапазоны давления от -0,2 до 28 бар;
- высокая нагрузочная способность контактов;

- сверхкороткое время переключения контактов;
- по заказу поставляются с позолоченными контактами;
- настраиваемое значение дифференциала;
- шкала для настройки диапазона и дифференциала;
- класс защиты IP44 при монтаже с защитной накладкой и задним щитком;
- контактная система мгновенного действия.

В таблице 3.15 приведены технические характеристики КРІ 35.

Таблица 3.15 – Технические характеристики прессостата КРІ 35

Тип	КРІ 35
Резьбовое соединение	G 1/2, G 3/8 А
Диапазон настройки, бар	–0,2 ... 8
Перепад давления, бар	0,5 – 1,5
Диапазон давления испытания, бар	–1 ... 18
Макс. рабочее давление, бар	18
Макс. допустимая температура рабочей среды, °С	–40
Мин. допустимая температура рабочей среды, °С	100
Макс. допустимая температура окружающего воздуха, °С	–40
Мин. допустимая температура окружающего воздуха, °С	70
Рабочая среда	вода, воздух, масло
Контактная нагрузка (переменный ток), А	6
Вес, кг	0,3

### 3.6 Выбор блока питания

Для питания датчиков и других устройств системы автоматизации необходимо напряжение 24 V DC. Для этого в шкаф управления системы

устанавливается БП60Б-Д4-24 (рис. 3.14), который имеет выходную мощность 60 Вт, выходное напряжение 24 В и максимальный выходной ток 2,5 А [21].



Рисунок 3.14 – Внешний вид блока питания БП60Б-Д4-24

Выбранный блок питания позволяет преобразовывать переменное напряжение питающей сети в постоянное стабилизированное напряжение, имеет защиту от перенапряжения и импульсных помех на входе, защиту от перегрузки, короткого замыкания и перегрева.

Выходное напряжение блока БП60 можно регулировать с помощью внутреннего подстроечного резистора в диапазоне  $\pm 8\%$  от номинального выходного напряжения с сохранением мощности.

В шкафу управления блок питания БП60 может быть установлен на DIN-рейку.

## 4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

### 4.1 Расчет естественных и искусственных механических характеристик электропривода конвейера

Выполним расчет естественной и искусственной механических характеристик асинхронного электродвигателя АИР100S4.

Номинальная угловая скорость

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 1410}{30} = 147,65 \text{ рад/с.} \quad (4.1)$$

Номинальный момент на валу электродвигателя

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{3000}{147,65} = 20,32 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (4.2)$$

Максимальный вращающий момент электродвигателя

$$M_K = M_K^* \cdot M_H = 2,2 \cdot 98,79 = 44,7 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (4.3)$$

Критическое скольжение электродвигателя, соответствующее максимальному вращающему моменту

$$s_K = s_H \cdot \left( M_K^* + \sqrt{M_K^{*2} - 1} \right) = 0,027 \cdot \left( 2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1} \right) = 0,1123. \quad (4.4)$$

Для построения механической характеристики двигателя определим вращающие моменты электродвигателя для разных скольжений на основании упрощенной формулы Клосса

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} \quad (4.5)$$

Для связи между скольжением и скоростью электродвигателя используем следующую формулу

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (4.6)$$

где  $\omega_0$  – угловая скорость идеального холостого хода или скорость магнитного поля асинхронного электродвигателя;

$\omega$  – текущая угловая скорость асинхронного электродвигателя.

Скорость магнитного поля асинхронного электродвигателя можно определить по следующей формуле

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{2p}, \quad (4.7)$$

где  $f$  – частота изменения напряжения статора (питающего напряжения);

$2p$  – число пар полюсов асинхронного электродвигателя.

Для выбранного электродвигателя

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ с}^{-1}.$$

Учитываем то, что максимальный вращающий момент электродвигателя и критическое скольжение в этом случае будут неизменными при всех частотах и равны соответственно  $M_K = 44,69 \text{ Н} \cdot \text{м}$  и  $s_K = 0,1123$ .

Искусственные механические характеристики рассчитаем для значений частоты питающего напряжения: 40 Гц, 30 Гц, 20 Гц.

При скольжениях  $s > s_K$  формула Клосса занижает действительные вращающие моменты. Поэтому при расчете необходимо выполнять

корректировки по значениям пускового и минимального момента. При корректировке рассчитанных значений используем соответствующие параметры, приведенные в паспорте электродвигателя (таблица 2.1).

Результаты расчетов механических характеристик двигателя АИР100S4 представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Механические характеристики электродвигателя АИР100S4

	$s$	$\omega$ , рад/с	$M$ , Н·м
$f = 50$ Гц	0	157,08	0
	$s_H = 0,027$	152,84	20,32
	0,1	141,37	44,4
	$s_K = 0,1123$	139,44	44,7
	0,2	125,66	38,17
	0,3	109,96	29,35
	0,4	94,25	23,27
	0,8	31,42	32,51
	1,0	0	40,64
$f = 40$ Гц	0	125,66	0
	$s_H = 0,027$	122,27	20,32
	0,1	113,1	44,4
	$s_K = 0,1123$	111,55	44,7
	0,2	100,53	38,17
	0,3	87,96	29,35
	0,4	75,4	23,27
	0,8	25,13	32,51
	1,0	0	40,64
$f = 30$ Гц	0	94,25	0
	$s_H = 0,027$	91,23	20,32
	0,1	84,82	44,4
	$s_K = 0,1123$	83,66	44,7
	0,2	75,4	38,17
	0,3	65,97	29,35
	0,4	56,55	23,27
	0,8	18,85	32,51
	1,0	0	40,64

Продолжение таблицы 4.1

	$s$	$\omega$ , рад/с	$M$ , Н·м
$f = 20$ Гц	0	62,83	0
	$s_H = 0,027$	61,14	20,32
	0,1	56,55	44,4
	$s_K = 0,1123$	55,78	44,7
	0,2	50,27	38,17
	0,3	43,98	29,35
	0,4	37,7	23,27
	0,8	12,57	32,51
	1,0	0	40,64

По данным таблицы 4.1 построим механические характеристики электродвигателя конвейера АИР100S4 (рис. 4.1).

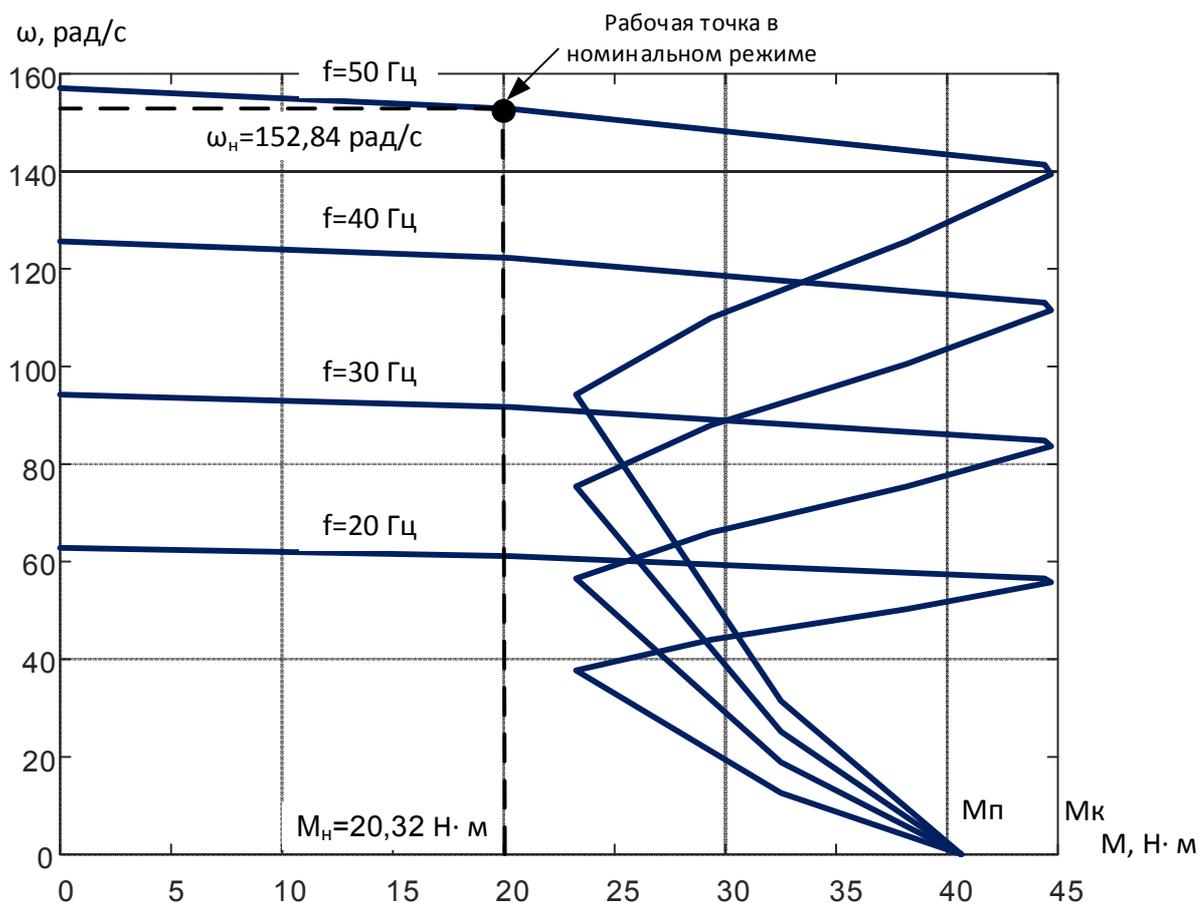


Рисунок 4.1 – Механические характеристики асинхронного двигателя АИР100S4

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

52

## 4.2 Расчет естественных и искусственных механических характеристик электропривода вентилятора

Для расчета естественных и искусственных механических характеристик электропривода вентилятора с асинхронным двигателем АИР160S4 используем методику, примененную ранее при расчете характеристик электропривода конвейера. Результаты расчетов механических характеристик двигателя АИР160S4 представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Механические характеристики электродвигателя АИР160S4

	$s$	$\omega$ , рад/с	$M$ , Н·м
$f = 50$ Гц	0	157,08	0
	$s_H = 0,027$	152,84	116,75
	0,1	141,37	255,12
	$s_K = 0,1123$	139,44	256,84
	0,2	125,66	219,3
	0,3	109,96	168,67
	0,4	94,25	133,69
	0,8	31,42	158,06
	1,0	0	217,33
$f = 40$ Гц	0	125,66	0
	$s_H = 0,027$	122,27	116,75
	0,1	113,1	255,12
	$s_K = 0,1123$	111,55	256,84
	0,2	100,53	219,3
	0,3	87,96	168,67
	0,4	75,4	133,69
	0,8	25,13	158,06
	1,0	0	217,33
$f = 30$ Гц	0	94,25	0
	$s_H = 0,027$	91,23	116,75
	0,1	84,82	255,12
	$s_K = 0,1123$	83,66	256,84
	0,2	75,4	219,3

Продолжение таблицы 4.2

	$s$	$\omega$ , рад/с	$M$ , Н·м
$f = 30$ Гц	0,3	65,97	168,67
	0,4	56,55	133,69
	0,8	18,85	158,06
	1,0	0	217,33
$f = 20$ Гц	0	62,83	0
	$s_H = 0,027$	61,14	116,75
	0,1	56,55	255,12
	$s_K = 0,1123$	55,78	256,84
	0,2	50,27	219,3
	0,3	43,98	168,67
	0,4	37,7	133,69
	0,8	12,57	158,06
	1,0	0	217,33

По данным таблицы 4.2 построим механические характеристики электродвигателя вентилятора АИР160S4 (рис. 4.2).

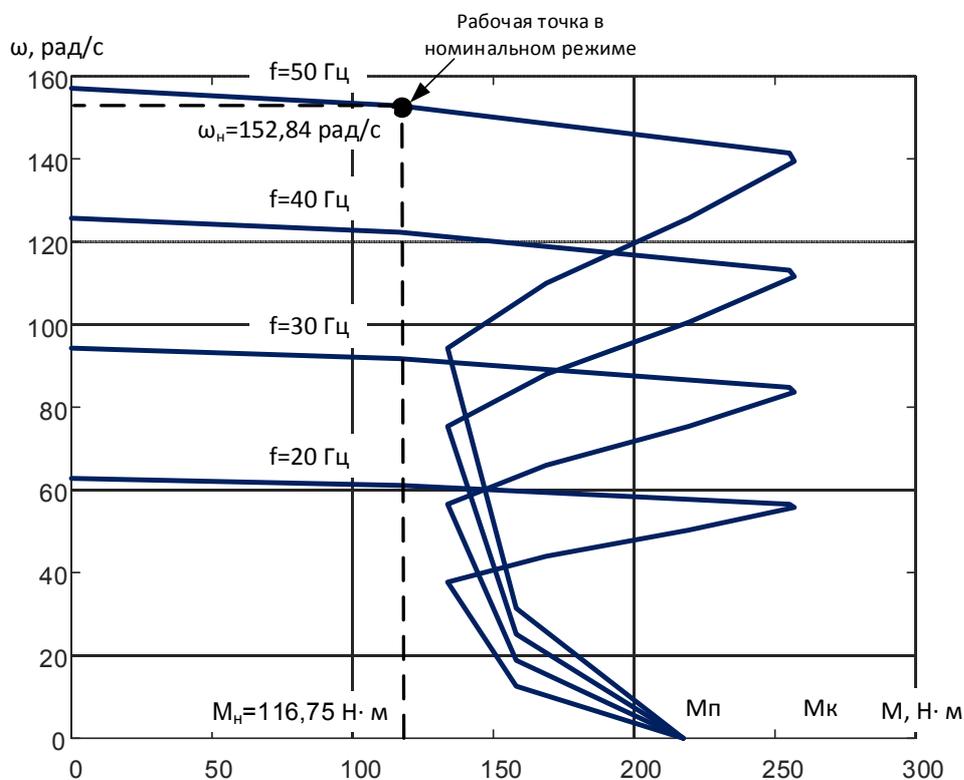


Рисунок 4.2 – Механические характеристики асинхронного двигателя АИР160S4

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Лист

54

### 4.3 Расчет естественных и искусственных механических характеристик электропривода насоса

Для расчета естественных и искусственных механических характеристик электропривода насоса с асинхронным двигателем АИР132S4 используем методику, примененную ранее при расчете характеристик электропривода конвейера и вентилятора. Результаты расчетов механических характеристик двигателя АИР132S4 представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Механические характеристики электродвигателя АИР132S4

	$s$	$\omega$ , рад/с	$M$ , Н·м
$f = 50$ Гц	0	157,08	0
	$s_H = 0,027$	152,84	56,52
	0,1	141,37	123,51
	$s_K = 0,1123$	139,44	124,34
	0,2	125,66	106,17
	0,3	109,96	81,65
	0,4	94,25	64,72
	0,8	31,42	79,58
	1,0	0	99,47
$f = 40$ Гц	0	125,66	0
	$s_H = 0,027$	122,27	56,52
	0,1	113,1	123,51
	$s_K = 0,1123$	111,55	124,34
	0,2	100,53	106,17
	0,3	87,96	81,65
	0,4	75,4	64,72
	0,8	25,13	79,58
	1,0	0	99,47
$f = 30$ Гц	0	94,25	0
	$s_H = 0,027$	91,7	56,52
	0,1	84,82	123,51
	$s_K = 0,1123$	83,66	124,34
	0,2	75,4	106,17

Продолжение таблицы 4.3

	$s$	$\omega$ , рад/с	$M$ , Н·м
$f = 30$ Гц	0,3	65,97	81,65
	0,4	56,55	64,72
	0,8	18,85	79,58
	1,0	0	99,47
$f = 20$ Гц	0	62,83	0
	$s_H = 0,027$	61,14	56,52
	0,1	56,55	123,51
	$s_K = 0,1123$	55,78	124,34
	0,2	50,27	106,17
	0,3	43,98	81,65
	0,4	37,7	64,72
	0,8	12,57	79,58
	1,0	0	99,47

По данным таблицы 4.3 построим механические характеристики электродвигателя насоса АИР132S4 (рис. 4.3).

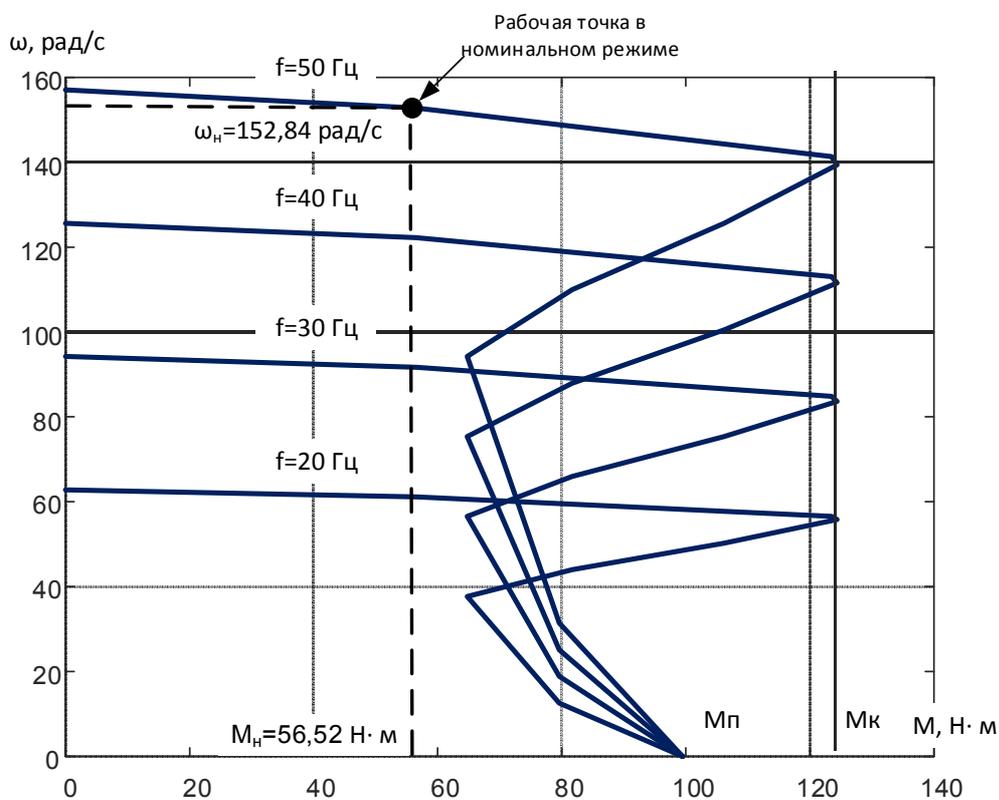


Рисунок 4.3 – Механические характеристики асинхронного двигателя АИР132S4

## 5 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 5.1 Структурная схема

На рисунке 5.1 показана структурная схема системы автоматизации погрузочно-разгрузочного кластера.

На структурной схеме показаны следующие компоненты:

- программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 160;
- модули ввода/вывода МВ110-8А, МУ110-6У, МВ110-16Д, МУ110-16Р;
- панель оператора СП307;
- Ethernet-концентратор;
- преобразователи частоты конвейера (ПЧВ103-3К0-В), вентилятора (ПЧВ204-15К-В) и насоса (ПЧВ204-11К-В).

Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 160 является главным управляющим элементом в системе автоматизации. К нему через сеть RS-485 подключены модули ввода/вывода дискретных/аналоговых сигналов и преобразователи частоты. При таком соединении в сети RS-485 контроллер ОВЕН ПЛК 160 работает ведущим устройством (мастер сети), а остальные устройства, подключенные к RS-485 являются ведомыми устройствами. При такой реализации ОВЕН ПЛК 160 инициирует запросы от ведомых устройств или отправляет им рассылки. По сети RS-485 контроллер ОВЕН ПЛК160 может отправлять ведомым преобразователям частоты задание на работу с требуемой скоростью, либо задавать определенные режимы работы. Также при необходимости, по сети RS-485 преобразователи частоты отвечают на запросы контроллера о текущих параметрах (частота, скорость, момент, ток и др.) и режимах работы (двигательный режим, тормозной режим, работа с допустимой температурой, работа в зоне повышенной температуры, перегрев и др.).

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

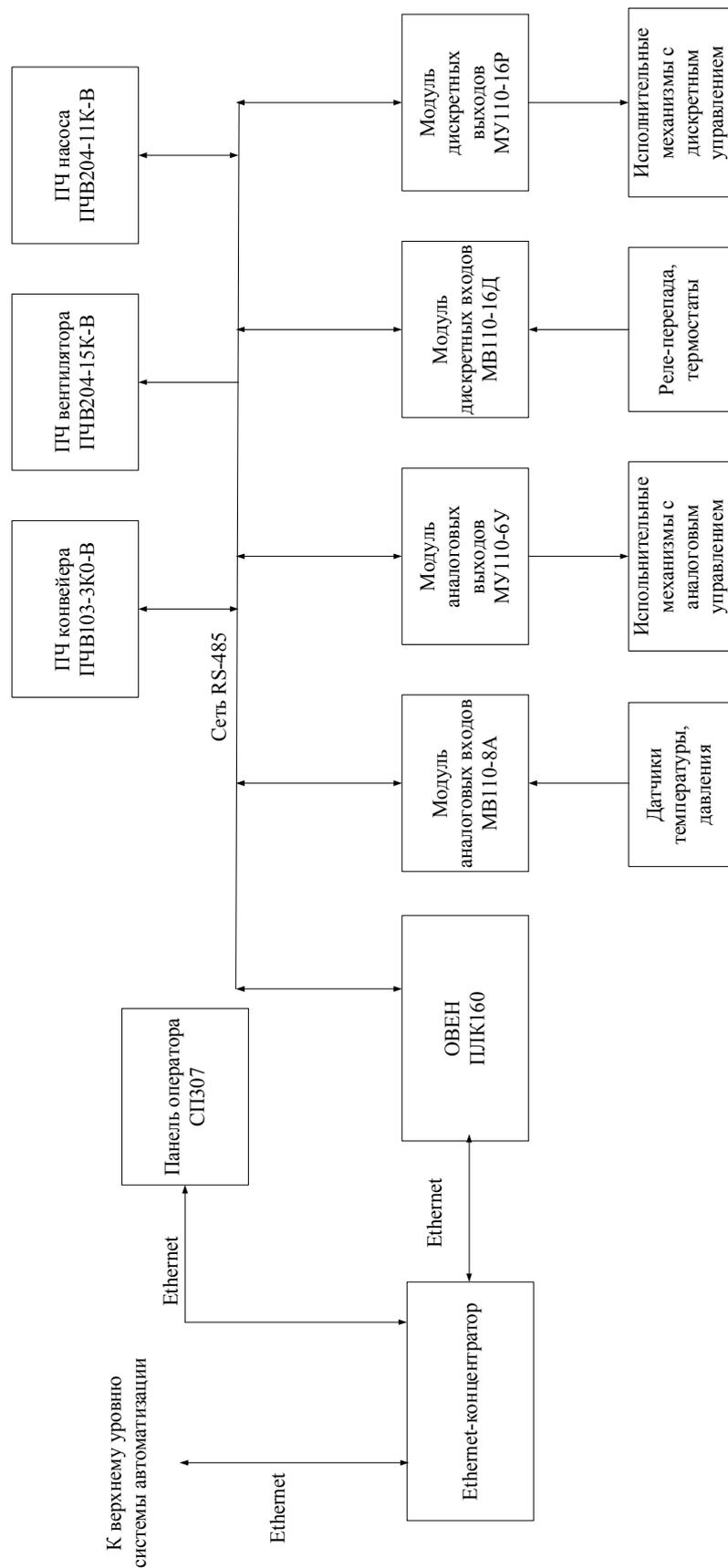


Рисунок 5.1 – Структурная схема системы автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ

Через коммуникационный интерфейс Ethernet контроллер ОВЕН ПЛК 160 подключен к концентратору сети Ethernet. К данному концентратору подключена панель интерфейса оператора ОВЕН СП 307, позволяющая отображать в удобном виде схему технологического процесса. Также к данному концентратору может быть подключена линия связи от системы автоматизации верхнего уровня, например, от системы сбора данных и диспетчерского управления (SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition).

К модулям ввода/вывода подключаются соответствующие датчики и исполнительные механизмы, расположенные на технологическом оборудовании погрузочно-разгрузочного кластера.

## 5.2 Функции системы автоматизации

К функциям системы автоматизации погрузочно-разгрузочного кластера относятся:

- управление электроприводом конвейера;
- управление электроприводом насоса;
- управление электроприводом вентилятора;
- контроль состояния основного технологического оборудования;
- отображение текущей информации о состоянии основного технологического оборудования и его режимах работы;
- архивирование и просмотр архивов с информацией о состоянии основного технологического оборудования и режимах его работы;
- формирование и вывод информации об аварийных ситуациях на технологическом оборудовании.



оборудования погрузочно-разгрузочного кластера выбрана графическая сенсорная панель ОВЕН СП307.

Для получения обратных связей о ходе технологического процесса и контроля работы оборудования выбраны соответствующие датчики, которые подключаются к программируемому логическому контроллеру или его дополнительным модулям ввода/вывода.

В работе выполнен расчет естественных и искусственных механических характеристик электроприводов погрузочно-разгрузочного кластера (конвейер, вентилятор, насос). В основу расчетов была положена упрощенная формула Клосса, сами расчеты выполнены с помощью системы MatLab. Для уточнения рассчитанных значений использовались паспортные данные электродвигателей, например, кратность минимального момента, кратность пускового тока. Это связано с тем, что в зоне больших скольжений формула Клосса занижает рассчитанные значения.

Для реализации системы автоматизации выполнена разработка структурной схемы системы и описан ее функционал.

Таким образом, все задачи решены, и цель работы достигнута.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соснин О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.М. Соснин – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 240 с.
2. Минаев И.Г. Программируемые логические контроллеры: практическое руководство для начинающего инженера / И.Г. Минаев, В.В. Самойленко. – Ставрополь: АГРУС, 2009. – 100 с.
3. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.
4. Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера/ пер. 3-го англ. издания – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 516 с.
5. Смилянский Г. Справочник проектировщика АСУТП / Г. Смилянский. – Москва. 2012 – 528 с.
6. Трофимов В.Б., Кулаков С.М. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами: учебно-практическое пособие / В.Б. Трофимов, С.М. Кулаков. – М.: Инфра-Инженерия. 2016 – 232 с.
7. Электродвигатель АИР100S4 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.esbk.ru/products\\_info/ed/101\\_ed\\_as\\_obprom/elektrovdvigatel\\_air\\_100s4.html](http://www.esbk.ru/products_info/ed/101_ed_as_obprom/elektrovdvigatel_air_100s4.html) - Данные на 04.06.2020 г.
8. Электродвигатель АИР160S4 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.esbk.ru/products\\_info/ed/101\\_ed\\_as\\_obprom/elektrovdvigatel\\_air\\_160s4.html](http://www.esbk.ru/products_info/ed/101_ed_as_obprom/elektrovdvigatel_air_160s4.html) - Данные на 04.06.2020 г.
9. Электродвигатель АИР132S4 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.esbk.ru/products\\_info/ed/101\\_ed\\_as\\_obprom/elektrovdvigatel\\_air\\_132s4.html](http://www.esbk.ru/products_info/ed/101_ed_as_obprom/elektrovdvigatel_air_132s4.html) - Данные на 04.06.2020 г.

10. Преобразователи частоты серии ПЧВ1 и ПЧВ2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.owen.ru/product/preobrazovatel-chastoti-oven-pchv1-i-pchv2> - Данные на 04.06.2020 г.
11. Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК160 – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij-logicheskij-kontroller-oven-plk160/opisanie> – Данные 04.06.2020 г.
12. Модуль аналогового ввода МВ110-8А [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.owen.ru/catalog/modul-vvoda-analogovih-signalov-oven-mv110-8a/opisanie> - Данные 04.06.2020 г.
13. Модуль дискретного ввода МВ110-16Д [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.owen.ru/catalog/modul-vvoda-diskretnih-signalov-mv110-16d/opisanie> - Данные 04.06.2020 г.
14. Модуль вывода аналоговых сигналов МУ110-6У [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.owen.ru/catalog/modul-analogovogo-vivoda-oven-mu110-6u/opisanie> - Данные 04.06.2020 г.
15. Модуль вывода дискретных сигналов МУ110-16Р [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.owen.ru/catalog/modul-diskretnogo-vivoda-oven-mu110-16r/opisanie> – Данные 04.06.2020 г.
16. СПЗхх сенсорные панели оператора [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.owen.ru/product/sensornie-paneli-operatora-oven-sp3xx> - Дата обращения 04.06.2020 г.
17. Датчики контроля скорости конвейерной ленты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://teko-com.ru/katalog/konvejernaja-avtomatika/datchiki-kontrolya-skorosti/> - Дата обращения 04.06.2020 г.
18. Промышленный датчик (преобразователь) влажности и температуры воздуха ОВЕН ПВТ100 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.owen.ru/catalog/promishlennij\\_datchik\\_preobrazovatel\\_vlazhnost\\_i\\_i\\_temperaturi\\_vozduha\\_oven\\_pvt100/opisanie](http://www.owen.ru/catalog/promishlennij_datchik_preobrazovatel_vlazhnost_i_i_temperaturi_vozduha_oven_pvt100/opisanie) – Данные 04.06.2020 г.

19. ПД100-ДИ-111/171/181. Датчики давления общепромышленные [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://owen.ua/ru/datchiki/pd100-di-111-171-181-datchiki-davlenija-obschepromyshlennye> - Данные 04.06.2020 г.
20. Промышленное реле давления Danfoss KPI35 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kpi35.ru/> – Данные 04.06.2020 г.
21. Блоки питания промышленной автоматики [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.owen.ru/catalog/bloki-pitaniya-dlya-promishlennoj-avtomatiki/10656730> – Данные 04.06.2020 г.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.362.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64