

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /А.Н. Шишков/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

Модернизация компрессора 2С6 – электропривода датчика мягкого пуска

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ  
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

**ЮУрГУ-13.03.02.2019.417 ВКР**

*Руководитель проекта:*

Профессор, д.т.н.

\_\_\_\_\_ / В.Л. Кодкин /

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

*Автор проекта*

*студент группы* \_\_\_\_\_ ПЗ-576

\_\_\_\_\_ / И.Р. Янышев /

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

*Нормоконтролер*

Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ /А.Е. Бычков/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск  
2019 г.

## АННОТАЦИЯ

Янышев И.Р. Модернизация компрессора 2С-6 – электропривода датчика мягкого пуска. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ; 2019, 42 с., 10 ил., 12 табл., библиографический список – 9 наим., 1 лист чертежей ф. А3

В данной работе была произведена модернизация компрессорной установки электровоза 2С6. Модернизация механизма заключалась в замене электропривода винтового блока компрессора на более современный, с лучшими техническими характеристиками.

Произведена разработка функциональной и принципиальной схем, в соответствии с выбранным программируемым логическим контроллером, преобразователем частоты, двигателем и периферией. Приведены характеристики и диаграммы двигателя и рабочего органа.

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Янышев И.Р.</i>				<b>Модернизация компрессора 2С6 – электропривода датчика мягкого пуска</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Кодкин В.Л.</i>						4	42
<i>Реценз</i>						<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Бычков А.Е.</i>							
<i>Утверд.</i>	<i>Шишков А.Н.</i>							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	7
2 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	10
3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	14
4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	24
5 ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	27
6 СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ 30	
7 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА.....	35
8 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	38
9 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	41
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА.....	43
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА.....	44

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР				5

## ВВЕДЕНИЕ

Компрессоры предназначены для обеспечения сжатым воздухом тормозной сети поезда и пневматической сети вспомогательных аппаратов: электропневматических контакторов, песочниц, сигналов, стеклоочистителей и др.

Агрегат компрессорный ВВ-3,5/10 – агрегат компрессорный, воздушный, винтовой, стационарный, предназначен для снабжения сжатым воздухом пневматических систем тягового подвижного состава железных дорог: (локомотивы), моторвагонного и специального самоходного подвижного состава.

К компрессорным установкам предъявляются требования, регламентируемые ГОСТ 28567-90 «Компрессоры. Термины и определения», определяющие их принцип действия и основные конструктивные признаки.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация компрессорной установки и разработка системы управления, а именно выбор электродвигателя, преобразовательной техники и средств автоматизации.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

## 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Компрессор является источником сжатого воздуха для 2С6, он установлен на каждой секции электровоза. Компрессор предназначен для выработки сжатого воздуха и снабжения им пневматических систем подвижного состава железнодорожного транспорта, а также для других потребностей.

Основным узлом компрессорной установки является компактный модуль. Компактный модуль – это объединенные составные части: винтовой компрессор, воздушный фильтр, впускной (дроссельный) клапан, маслоотделитель, сепаратор масляный фильтр, термостат, предохранительный клапан, клапан минимального давления.

По команде «Включение компрессоров» происходит запуск двигателей компрессорных агрегатов на «холостом ходу», с частотой тока, задаваемой преобразователем:

- при давлении в питательной магистрали менее 0,8 МПа (8,0 кгс/см<sup>2</sup>), устанавливается режим с плавным увеличением частоты тока от 0 до 55 Гц в течение 10 секунд;

- при давлении в питательной магистрали от 0,8 до 0,9 МПа (от 8,0 до 9,0 кгс/см<sup>2</sup>) частота тока определяется по формуле:

$$f = 25 + (0,9 - P) \cdot 300, \quad (1.1)$$

где  $f$  – частота;

$P$  – давление в питательной магистрали.

- при давлении в питательной магистрали более 0,9 МПа (9,0 кгс/см<sup>2</sup>), частота снижается до 25 Гц.

После пуска двигателя 8 через систему автоматики происходит открытие электромагнитного клапана 17. Воздух из ресивера компрессорной установки через открытый электромагнитный клапан поступает к дроссельному клапану 10, открывая его. Атмосферный воздух через воздушный фильтр 2 компрессора и дроссельный (впускной) клапан 10 поступает в винтовой блок 9, где

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

осуществляется его сжатие. Сжатый воздух в смеси с маслом из компрессора поступает в маслоотделитель 15, где происходит отделение масла от воздуха. Отделение масла проходит в две ступени. Первая ступень – инерционная очистка, вторая – тонкая очистка через сепаратор 11. Давление в маслоотделителе 15 быстро повышается за счет его малого объема и при достижении 0,35 МПа происходит открытие клапана минимального давления 12. Далее сжатый воздух через клапан минимального давления 12 поступает в концевой теплообменник 6, и через блок осушки или минуя его ( в зависимости от положения разобщительных кранов 3) поступает в питательную магистраль электровоза.

После достижения давления 0,9 МПа происходит отключение привода 8 компрессорной установки. Система автоматики закрывает электромагнитный клапан 17 на 30 секунд. Воздух из винтового блока 9 через дроссельный клапан 10 выпускается в атмосферу, происходит разгрузка винтового блока 9. После чего закрывается запорный клапан 4 и расход воздуха через компрессор прекращается. Все пуски установки происходят за счет использования воздуха из ресивера компрессорной установки.

Всасываемый компрессорным агрегатом воздух очищается от пыли системой фильтрации агрегата. Нагнетаемый компрессорным агрегатом сжатый воздух охлаждается, а затем осушается с помощью входящего в состав агрегата адсорбционного осушителя. Разница температуры сжатого воздуха на выходе агрегата и температуры воздуха на всасывании не превышает 15. На электровозе подключение осушителей происходит автоматически через электромагнитные клапаны.

На рисунке 1 показана схема компрессорной установки ВВ-3,5/10

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

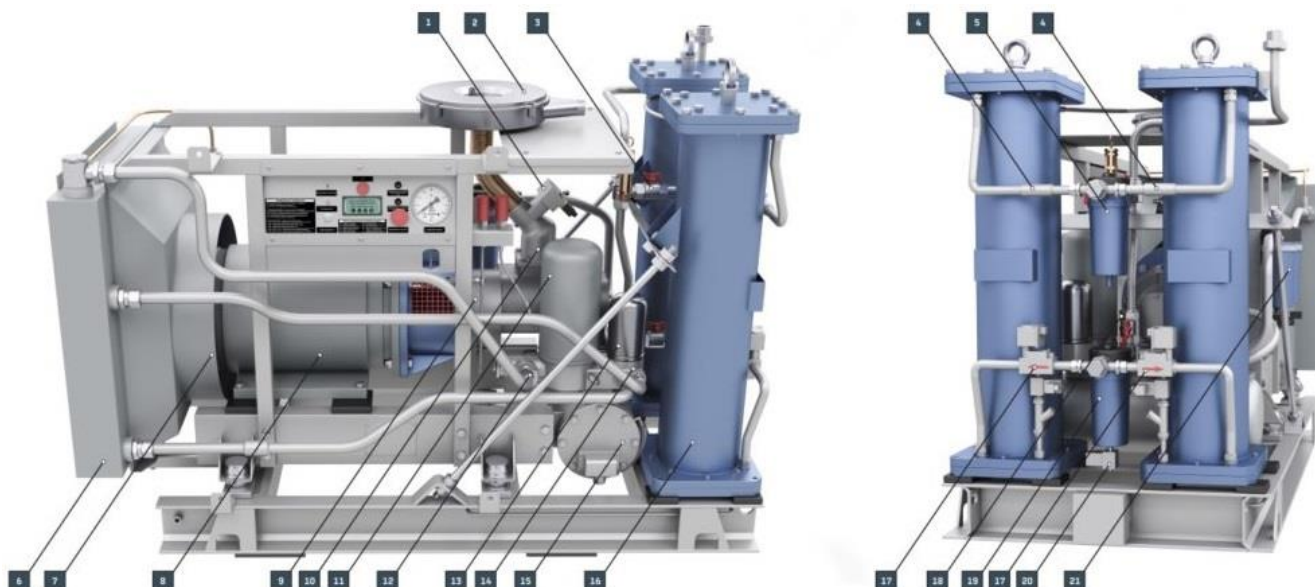


Рисунок 1 – Схема компрессорной установки ВВ-3,5/10: 1 – клапан электропневматический; 2 – фильтр воздушный, 3 – кран разобщительный, 4 – клапан обратный, 5 – фильтр тонкой очистки, 6 – теплообменник, 7 – узел вентилятора, 8 – электродвигатель, 9 – блок винтовой, 10 – клапан впускной, 11 – сепаратор воздушно-масляный, 12 – клапан минимального давления, 13 – фильтр масляный, 14 – клапан термостатический, 15 – маслоотделитель, 16 – блок очистки и осушки сжатого воздуха, 17 – клапан впускной электромагнитный, 18 – клапан предохранительный, 19 – фильтр угольный, 20 – клапан сброса конденсата, 21 – блок фильтров влагоотделителей

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР

Лист

9

## 2 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Согласно документации на 2С-6 компрессорный агрегат ВВ-3,5/10 устанавливается в электровоз совместно с асинхронным трехфазным электродвигателем с короткозамкнутым ротором АНЭ225L4УХЛ2. Его технические характеристики сведены в таблицу 1, а конструкция изображена на рисунке 2.

Таблица 1 – Основные параметры электродвигателя АНЭ225L4УХЛ2

Наименование параметра	Размерность	Значение
Номинальная мощность электродвигателя	кВт	55
Напряжение питания электродвигателя	В	380
Частота напряжения питания	Гц	50
Номинальная частота вращения	об/мин	1430
Номинальный ток статора	А	119
Коэффициент мощности	—	0,8
КПД электродвигателя	%	88
Режим работы	—	S1
Класс изоляции обмотки статора	—	H
Масса электродвигателя, не более	кг	380
Высота оси вращения	мм	225
Длина двигателя	мм	900







Рисунок 3 – Конструкция электродвигателя 5АИ225М2

Таблица 2 – Основные параметры электродвигателя 5АИ225М2

Наименование параметра	Размерность	Значение
Номинальная мощность электродвигателя	кВт	55
Напряжение питания электродвигателя	В	380
Частота напряжения питания	Гц	50
Номинальная частота вращения	об/мин	1400
Номинальный ток статора	А	100
Коэффициент мощности	—	0,91
КПД электродвигателя	%	92,5
Режим работы	—	S1
Класс изоляции обмотки статора	—	H
Масса электродвигателя, не более	кг	318
Высота оси вращения	мм	225
Длина двигателя	мм	840

Для наглядной демонстрации преимущества нового двигателя над старым, поместим их характеристики в одну таблицу (таблица 3) и сравним между собой.

Таблица 3 – Сравнение параметров АНЭ225L4УХЛ2 и 5АИ225М2

Наименование параметра	Размерность	АНЭ225L 4УХЛ2	5АИ225 М2
Номинальная мощность электродвигателя	кВт	55	55
Напряжение питания электродвигателя	В	380	380
Частота напряжения питания	Гц	50	50
Номинальная частота вращения	об/мин	1430	1400
Номинальный ток статора	А	119	100
Коэффициент мощности	—	0,8	0,91
КПД электродвигателя	%	88	92,5
Режим работы	—	S1	S1
Класс изоляции обмотки статора	—	Н	Н
Масса электродвигателя, не более	кг	380	318
Высота оси вращения	мм	225	225
Длина двигателя	мм	900	840

Как мы можем видеть, электродвигатель 5АИ225М2 имеет меньшую длину и вес, по сравнению с АНЭ225L4УХЛ2, что способствует снижению габаритов и массы всей компрессорной установки. Это положительно влияет на удобство транспортировки всей установки и освобождает место в самом электровозе.

Также новый двигатель обладает большим КПД и коэффициентом мощности, что означает снижение энергопотребления и уменьшение потерь.

### 3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В данной главе необходимо выбрать оборудование для управления электродвигателями, выбранными в предыдущей главе согласно требованиям технологического процесса. Для реализации технологического процесса компрессорной установкой нам следует выбрать преобразователь частоты с векторным управлением, так как в рамках технологического процесса требуется осуществить глубокое регулирование скорости при наличии высоких требований к ее поддержанию.

Для этого изначальный преобразователь частоты (установленный по документации) будет заменен на более современный преобразователь, имеющий в своем составе ПИД-регулятора, осуществляющий управление скоростью вращения винтового блока компрессора.

Автоматизация работы компрессора будет реализована при помощи программируемого логического контроллера и пульта управления, оборудованного переключателями и кнопками для работы оператора.

#### 3.1 Выбор преобразователей частоты

При разработке частотно-регулируемого электропривода важно выбрать правильный преобразователь частоты, так как от него будет зависеть эффективность и ресурс работы электропривода. Выбирая преобразователь частоты по электрической совместимости с двигателем, как с электрической нагрузкой, необходимо учесть, что паспортная мощность преобразователя частоты должна быть больше или равна паспортной мощности двигателя. Так, если мощность преобразователя будет намного больше мощности двигателя, то выбранный преобразователь будет работать с низким КПД, так как не выйдет на номинальный режим работы, а также сможет обеспечить защиту двигателя. С другой стороны, если мощность преобразователя будет меньше мощности

двигателя, то он не сможет обеспечить высокодинамичный режим работы, а большие перегрузки могут привести преобразователь к выходу из строя.

Номинальный длительный ток ПЧ должен быть больше (или равен) фактического длительного тока, потребляемого двигателем. Пусковой ток двигателя ограничивается преобразователем по уровню (120-200% от номинального тока ПЧ) и по времени действия (обычно до 60 сек), поэтому, условия пуска двигателя при питании напрямую от сети и при питании от ПЧ отличаются.

Для управления приводом компрессора выберем преобразователь фирмы «Delta» модель *VFD550CP43S* с векторным управлением и встроенным ПИД-регулятором *CP2000* с обратной связью. Преобразователь обеспечивает качественное управление электродвигателями с переменным моментом вращения в системах вентиляции, кондиционирования, отопления, водоснабжения, водоотведения, водоочистки и т.д. Технические параметры *VFD550CP43S* приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические параметры преобразователя *VFD550CP43S*

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	323...528
Номинальная частота питающей сети	Гц	47...63
Номинальная выходная мощность	кВт	55
Номинальный входной ток	А	101
Номинальный выходной ток		91
Максимальный выходной ток		110
Коэффициент полезного действия	%	93
Максимальная выходная частота	Гц	600

ПИД – регулятор *CP2000*, встроенный в преобразователь частоты, предназначен для поддержания постоянной скорости компрессора. Он содержит в себе три составляющих: пропорциональную, интегрирующую и дифференцирующую.

Пропорциональная составляющая вырабатывает выходной сигнал, противодействующий отклонению скорости от заданного значения, наблюдаемому в данный момент времени. Он тем больше, чем больше это отклонение. Если входной сигнал равен заданному значению, то выходной равен нулю.

Интегрирующая составляющая пропорциональна интегралу по времени от отклонения скорости. Её используют для устранения статической ошибки. Она позволяет регулятору со временем учесть статическую ошибку.

Если система не испытывает внешних возмущений, то через некоторое время скорость стабилизируется на заданном значении, сигнал пропорциональной составляющей будет равен нулю, а выходной сигнал будет полностью обеспечиваться интегрирующей составляющей.

Дифференцирующая составляющая пропорциональна темпу изменения отклонения скорости и предназначена для противодействия отклонениям от целевого значения, которые прогнозируются в будущем. Отклонения могут быть вызваны внешними возмущениями или запаздыванием воздействия регулятора на систему.

Изначально в компрессорной установке был установлен преобразователь частоты E5-8500. Для наглядной демонстрации преимущества нового преобразователя частоты над старым проведем сравнение характеристик в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнение технических характеристик преобразователей частоты

Наименование параметра	Размерность	E5-8500	VFD550CP43S
Напряжение питания	В	380	323...528
Номинальная частота питающей сети	Гц	50	47...63
Номинальная выходная мощность	кВт	55	55
Номинальный входной ток	А	115	101
Номинальный выходной ток		118	91
Максимальный выходной ток		145	110

Продолжение таблицы 5

Наименование параметра	Размерность	<i>E5-8500</i>	<i>VFD550CP43S</i>
Коэффициент полезного действия	%	80	93
Максимальная выходная частота	Гц	500	600
Наличие ПИД-регулятора	—	Нет	Да

Из таблицы 5 становится понятно, что новый преобразователь частоты *VFD550CP43S* имеет более широкий диапазон регулировки выходных значений. *VFD550CP43S* обладает лучшим коэффициентом полезного действия, что благоприятно сказывается на энергетических характеристиках системы. Также он менее чувствителен к скачкам напряжения и частоты в сети, питающей его.

### 3.2 Выбор программируемого логического контроллера

Для автоматизации компрессорной установки необходимо выбрать промышленный программируемый логический контроллер. В рамках технологического процесса, контроллер связан с двумя преобразователями частоты. Один преобразователь отвечает за управление основным компрессором ведущей секции, а другой за вспомогательный компрессор ведомой секции

Целесообразным будет осуществить выбор контроллера по следующим основным критериям:

- Достаточное количество цифровых портов ввода-вывода;
- Согласование протоколов передачи данных контроллера с ведомыми устройствами.

*PROFINET* – стандарт промышленного *Ethernet*, разработанный и опубликованный организацией *PROFIBUS International*. Он регламентирует требования к оборудованию и построению сети для передачи данных со скоростью 100 Мбит/с в условиях повышенных температурных, механических и электромагнитных воздействий. Данная спецификация позволяет работать со









Рисунок 4 – Внешний вид S7-1200

### 3.3 Выбор дополнительного оборудования

#### 3.3.1 Выбор датчика скорости

Для осуществления векторного управления приводом компрессора необходимо выбрать энкодер. При векторном управлении асинхронного привода не требуется знать абсолютное положение ротора двигателя, поскольку короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя не имеет полюсной структуры, а в общем случае в формулах расчета входит только частота вращения ротора, поэтому достаточно наличие инкрементального энкодера.

Выбирать энкодер необходимо по количеству импульсов на оборот, оно должно превышать количество оборотов, совершаемых двигателем за секунду на максимальной скорости.

Выберем инкрементальный энкодер *ARC-H-100*, его технические характеристики представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики энкодера *ARC-H-100*

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	24
Разрешение	имп/об	1024
Максимальная скорость	об/мин	6000
Ток питания	мА	50
Выходы	—	A, B, Z

### 3.3.2 Выбор датчика давления

Для контроля давления в питательной магистрали необходимы датчики технологической информации. Для получения информации о давлении нам подойдет датчик давления фирмы «Honeywell» *MLH150PSB01A*. Его внешний вид изображен на рисунке 5, а технические параметры сведены в таблицу 8.



Рисунок 5 – Внешний вид датчика давления *MLH150PSB01A*

Таблица 8 – Технические параметры датчика давления *MLH150PSB01A*

Наименование параметра	Размерность	Значение
Максимальное рабочее давление,	кПа	1000
Напряжение питания,	В	24
Измеряемая среда	—	Сухой газ/вода/топливо

### 3.3.3 Выбор датчика температуры

Также необходимо контролировать температуру масла в компрессоре. Обычно для этого используются термометры. Для нашего технологического процесса подходит термометр фирмы «NXP» *KTY81*. Внешний вид которого представлен на рисунке 6, а его характеристики в таблице 9.



Рисунок 6 – Внешний вид термометра *KTY81*

Таблица 9 – Технические параметры термометра *KTY81*

Наименование параметра	Размерность	Значение
Минимальная измеряемая температура	°С	-55
Максимальная измеряемая температура	°С	150
Точность	%	1
Измеряемая среда	—	Газ/жидкость
Корпус	—	sod70

### 3.3.4 Выбор блока питания

Для питания программируемого логического контроллера и датчиков температуры и давления требуется напряжение постоянного тока 24В.

Выбор блока питания осуществляется по номинальному напряжению и потребляемой мощности. Для расчета мощности воспользуемся выражением (3.1).



#### 4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Целью расчета является определение значений регулируемых координат на статорах асинхронных двигателей, обеспечивающих диапазоны регулирования скоростей согласно техническому заданию. Рабочие скорости электропривода, требуемые для выполнения технологического процесса в заданном диапазоне регулирования, должны быть обеспечены с заданной степенью точности.

В компрессорной установке используется асинхронный двигатель, который регулируется по закону векторного управления, что позволяет обеспечить высокоточное поддержание частоты в большом диапазоне регулирования не зависимо от изменения статической нагрузки.

Для векторного управления скорость вращения вала двигателя в о.е. будет равна:

$$\overline{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_{0H}}. \quad (4.1)$$

Частоту вращения вала найдем из следующего соотношения:

$$\overline{\omega}_i = \frac{f_i}{f_H}. \quad (4.2)$$

Напряжение на статоре найдем из отношения закона регулирования  $U/f^2$ :

$$U_i = \frac{f_i^2 \cdot U_H}{f_H^2}. \quad (4.3)$$

Значения частоты вращения вала и напряжения на статоре при давлении 0,8 МПа:

$$\overline{\omega}_1 = \frac{55}{50} = 1,1;$$
$$U_1 = \frac{55^2 \cdot 220}{50^2} = 226,2.$$

Значения частоты вращения вала и напряжения на статоре при давлении 0,9 МПа:

$$\overline{\omega}_2 = \frac{25}{50} = 0,5;$$



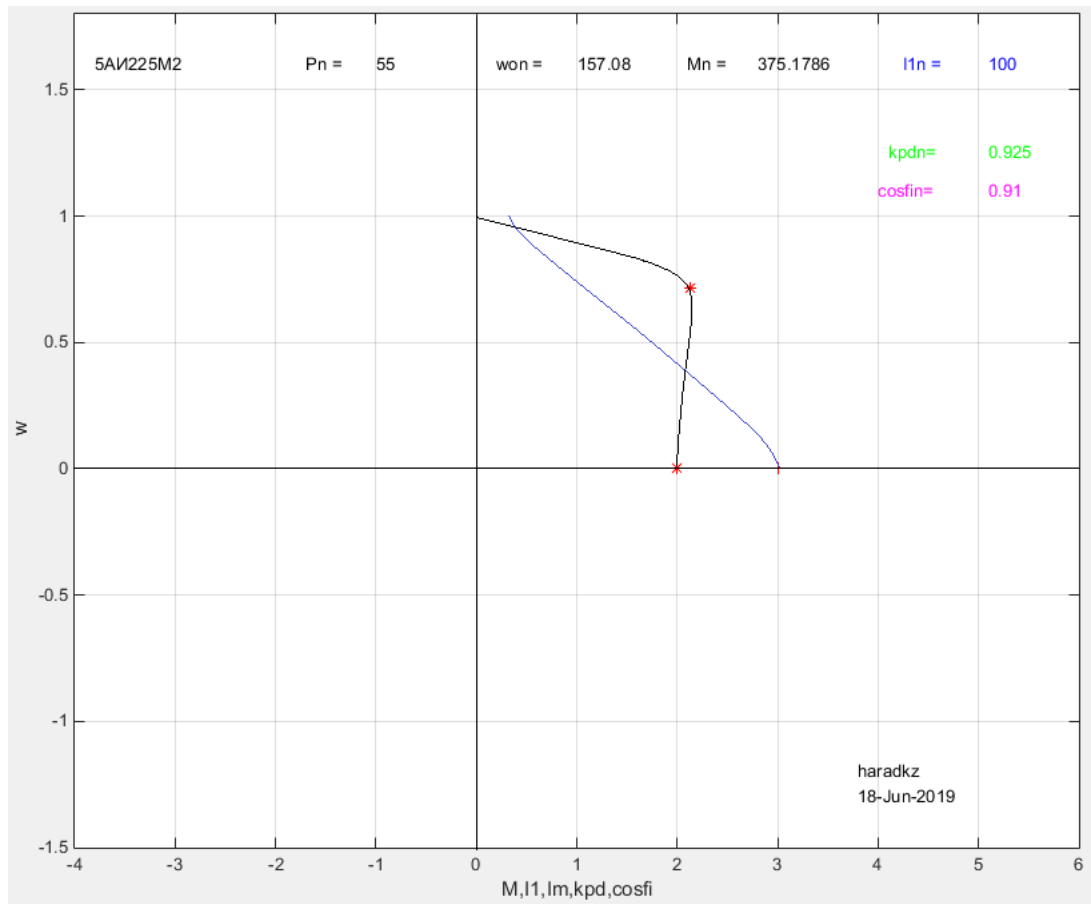


Рисунок 7 – Естественная характеристика

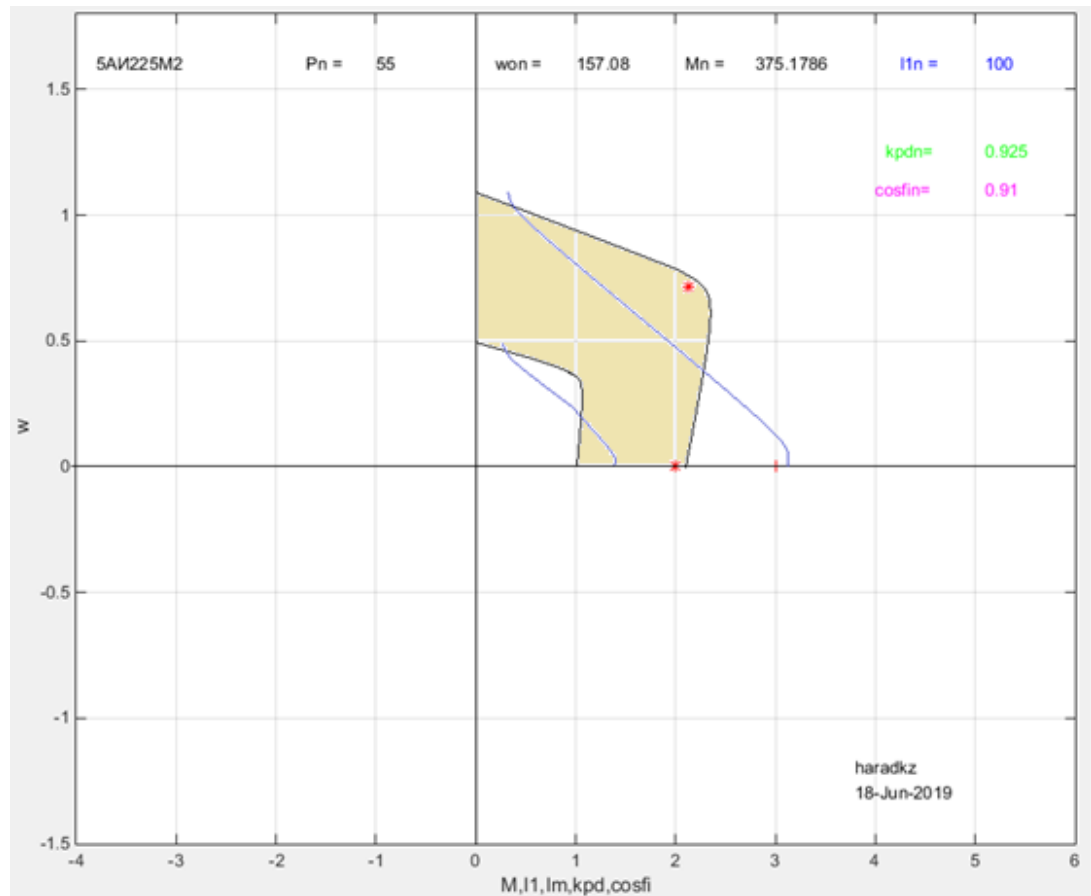


Рисунок 8 – Искусственная характеристика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР

Лист

26



## 5 ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Запуск компрессорной установки производится включением тумблера «Компрессоры» или нажатием и удержанием кнопки «Принудительное включение компрессоров».

Запуск компрессора возможен при наличии сигнала «Готовность», который формируется в блоке управления компрессорным агрегатом при условии:

- отсутствия признаков обратного вращения винтового блока;
- на панели управления компрессорного агрегата отжата кнопка «Авария»;
- температура масла в компрессоре ниже 115°C.

Автоматический режим работы компрессоров каждой секции устанавливается требованиями на запуск при давлении в питательной магистрали менее 0,76 МПа (7,6 кг/см<sup>2</sup>) и снятием данного требования при давлении в питательной магистрали 0,92 МПа (9,2 кг/см<sup>2</sup>) и более.

Различают режимы работ компрессорных агрегатов: без открытия нагнетательного клапана («холостой ход»), и с открытием нагнетательного клапана («нагнетание»). Команды на запуск двигателя компрессорного агрегата и на открытие впускного клапана подаются в блок управления компрессорной установки.

Включение компрессора в автоматическом режиме осуществляется тумблером пульта управления «Компрессоры», имеющим два положения «Вкл» и «Откл».

При переводе тумблера в положение «Вкл», система управления ведущей секции выдает в межсекционную линию связи команду «Включение компрессоров». По команде «Включение компрессоров», при наличии сигнала «Готовность» от блока управления компрессорной установкой и отсутствии сигнала об аварии, происходит запуск двигателей компрессорных агрегатов на «холостом ходу», с частотой тока, задаваемой преобразователем:



блока управления компрессорным агрегатом на время более 15 секунд – работа компрессора запрещается до снятия блокировки.

Нажатие на пульте машиниста кнопки «Принудительное включение компрессоров», приводит к запуску двигателей компрессоров и открытию нагнетательного клапана в независимости от величины давления в питательной магистрали электровоза.

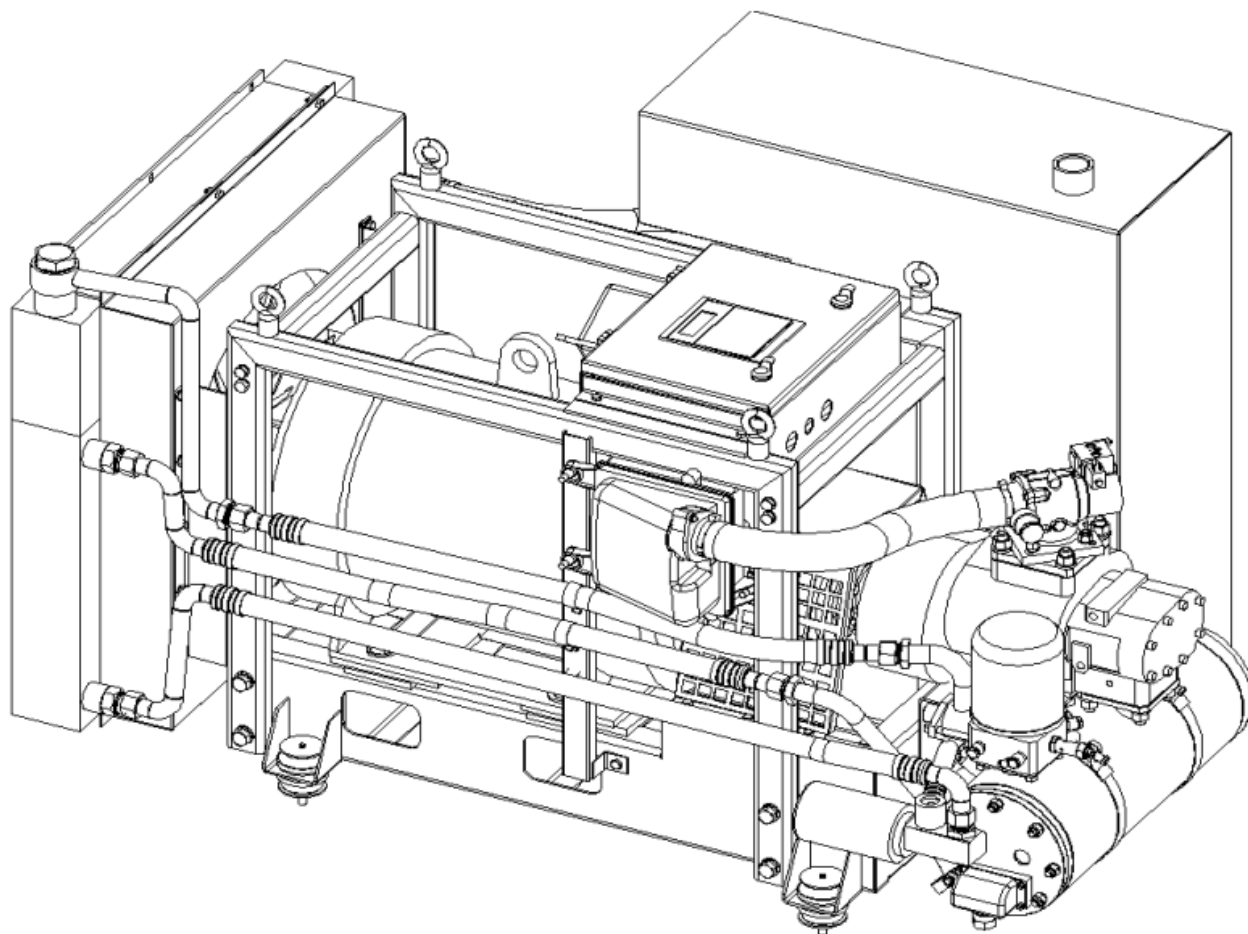


Рисунок 9 – Схема компрессорного агрегата ВВ-3,5/10

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР

Лист

29

## 6 СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

6.1 Из представленного описания технологического процесса и последовательности работы механизмом следует, что система автоматизации должна обеспечить работу в автоматическом и ручном режимах.

6.2 Система автоматизации должна формировать следующие выходные команды:

- включение привода вспомогательного компрессора на холостом ходу (ВКХ);
- включение привода вспомогательного компрессора на нагнетание (ВКН);
- включение привода основного компрессора на холостом ходу (ОКХ);
- включение привода основного компрессора на нагнетание (ОКН);

6.3 Кроме команд на исполнительные механизмы, необходимо задействовать выходные сигналы на индикацию и сигнализацию состояния системы. На пульт оператора будут выводиться следующие сигналы:

- сигнал «Питания» (Пит);
- сигнал «Готовность» (ИндГот);
- сигнал «Обратное вращение винтового блока» (ИндОВ);
- сигнал «Превышена температура масла» (ИндТМ);
- сигнал «Авария» (Авария).

6.4 Для управления работой компрессоров используется пульт машиниста (рисунок 2), представляющий собой панель с кнопками, формирующий следующие выходные сигналы:

- сигнал «Питание» (кнПит);
- сигнал «Автоматический режим» (Авто);
- сигнал «Ручной режим» (Руч);
- сигнал «Включение компрессоров» (Вкл);
- сигнал «Отключение компрессоров» (Откл);
- сигнал «Сброс Аварии» (СбросА);

- сигнал «Авария» (кнАвария);
- сигнал «Принудительное включение компрессоров» (ПВК).

6.5 Для автоматизации работы необходимо иметь информацию о состоянии системы, поэтому необходимо использовать следующие датчики:

- датчик, сигнализирующий об обратном вращении винтового блока (ОВ);
- датчик, сигнализирующий о превышении температуры масла (ПТ);
- датчик, сигнализирующий о давлении 0,76 МПа в питательной магистрали (Д1);
- датчик, сигнализирующий о давлении 0,82 МПа в питательной магистрали (Д2);
- датчик, сигнализирующий о давлении 0,88 МПа в питательной магистрали (Д3);
- датчик, сигнализирующий о давлении 0,92 МПа в питательной магистрали (Д4).

6.6 В таблицу 12 сведены все сигналы и команды, используемые в системе. В этой же таблице выражено соответствие действий сигналов и команд дискретным значениям этих переменных.

Таблица 12 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы пульта управления и выходные контроллера	Пит	Лампа индикации «Питания»	Есть
	ИндГот	Лампа индикации «Готовность»	Есть
	ИндОВ	Лампа индикации «Обратное вращение винтового блока»	Есть
	ИндТМ	Лампа индикации «Превышена температура масла»	Есть
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Есть

Продолжение таблицы 12

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Выходные сигналы пульта управления	Авто	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут вправо
	Руч	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут влево
	Вкл	Тумблер работы компрессоров «Вкл/Откл»	Верхнее положение тумблера
	Откл	Тумблер работы компрессоров «Вкл/Откл»	Нижнее положение тумблера
	СбросА	Кнопка «Сброс Аварии»	Нажата
	кнАвария	Кнопка «Авария»	Нажата
	ПВК	Кнопка «Принудительное включение компрессоров»	Нажата
	кнПит	Ключ-бирка «Питание»	Ключ повернут
Входные сигналы контроллера	ОВ	Датчик сигнализирующий об обратном вращении винтового блока	Есть
	ПТ	Датчик, сигнализирующий о превышении температуры масла	Есть
	Д1	Датчик, сигнализирующий о давлении 0,76 МПа в питательной магистрали	Есть

Продолжение таблицы 12

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы контроллера	Д2	Датчик, сигнализирующий о давлении 0,82 МПа в питательной магистрали	Есть
	Д3	Датчик, сигнализирующий о давлении 0,88 МПа в питательной магистрали	Есть
	Д4	Датчик, сигнализирующий о давлении 0,92 МПа в питательной магистрали	Есть
Выходные сигналы контроллера	ВКХ	Включение привода вспомогательного компрессора на холостом ходу	Есть
	ВКН	Включение привода вспомогательного компрессора на нагнетание	Есть
	ОКХ	Включение привода основного компрессора на холостом ходу	Есть
	ОКН	Включение привода основного компрессора на нагнетание	Есть

# Пульт управления компрессорной установкой

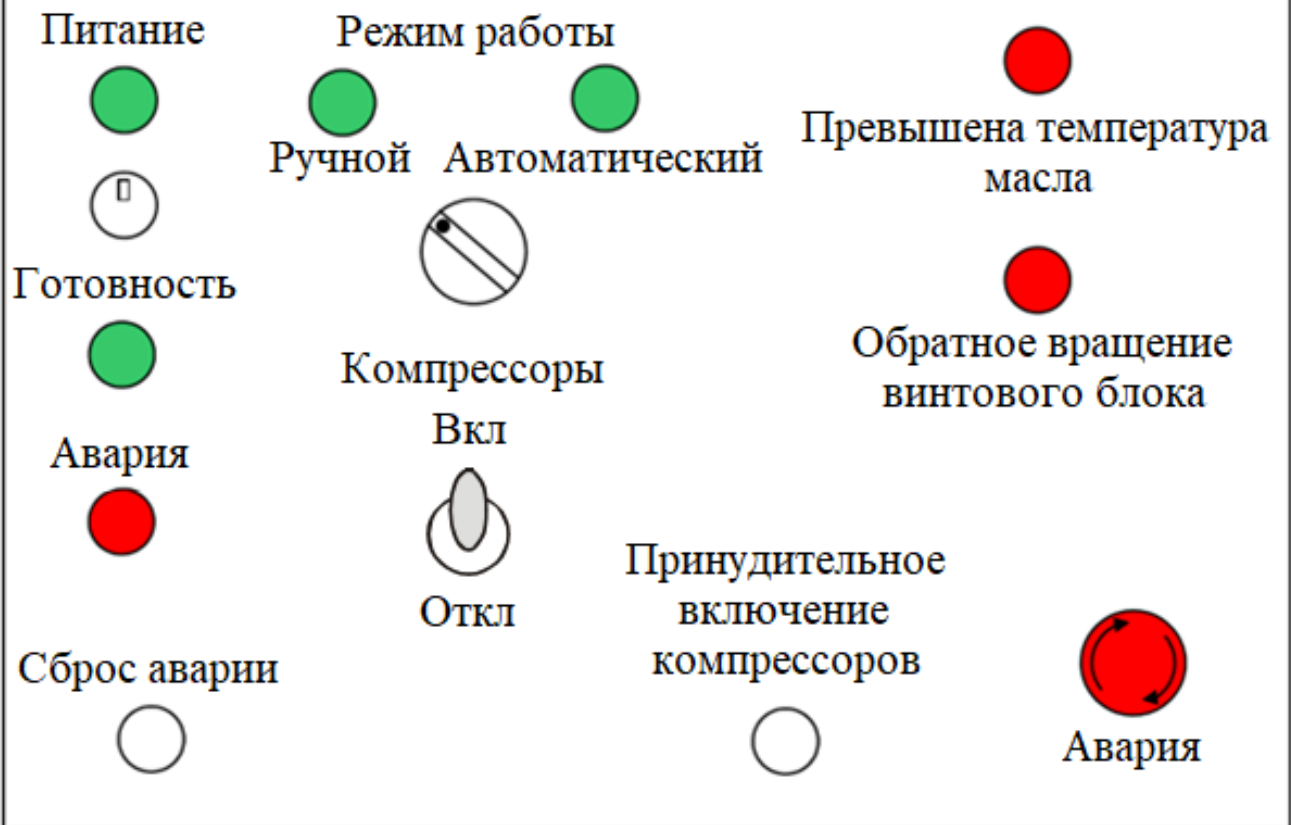


Рисунок 10 – Пульт управления



## 7 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА

Программу для контроллера разделим условно-функционально на четыре блока: «блок автоматического цикла», «блок управления основным компрессором», «блок управления вспомогательным компрессором» и «блок аварийных сигналов».

### 7.1 Блок автоматического цикла

Сигнал готовности к автоматическому режиму возникает при наличии питания и если переключатель находится в положении автоматического режима, и сохраняется до поступления сигнала об обратном вращении винтового блока, превышении температуры масла свыше 115°C или переключения в ручной режим:

$$ГотА = (кнПит \cdot Авто + ГотА) \cdot \overline{ОВ} \cdot \overline{ПТ} \cdot \overline{Руч}. \quad (7.1)$$

### 7.2 Блок управления основным компрессором

Сигнал на включение основного компрессора в режиме холостого хода возникает в автоматическом режиме при готовности компрессорной установки и закрытом нагнетательном клапане основного компрессора при переводе тумблера работы компрессоров в положение «Вкл» (верхнее положение тумблера) до тех пор, пока тумблер работы компрессоров не будет переведен в положение «Откл» (нижнее положение тумблера) или при появлении сигнала «Авария»:

$$ОКХ = ГотА \cdot \overline{ОКН} \cdot \overline{Откл} \cdot (Вкл + ОКХ) \cdot \overline{Авария}. \quad (7.2)$$

Сигнал на включение основного компрессора в режиме нагнетания возникает в автоматическом режиме при готовности компрессорной установки и достижении давления 0,76 МПа в питательной магистрали до тех пор,

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

пока давление в питательной магистрали не достигнет значения 0,92 МПа (с задержкой в 30с, для снижения частоты до 10 Гц) или тумблер работы компрессоров не будет переведен в положение «Откл» (нижнее положение тумблера) или при появлении сигнала «Авария»:

$$ОКН = (ГотА \cdot \overline{Д4}^{\uparrow 30с} \cdot \overline{Откл} \cdot (Д1 + ОКН) + Руч \cdot ПВК) \cdot \overline{Авария}. \quad (7.3)$$

### 7.3 Блок управления вспомогательным компрессором

Сигнал на включение вспомогательного компрессора в режиме холостого хода возникает в автоматическом режиме при готовности компрессорной установки и закрытом нагнетательном клапане вспомогательного компрессора при переводе тумблера работы компрессоров в положение «Вкл» (верхнее положение тумблера) до тех пор, пока тумблер работы компрессоров не будет переведен в положение «Откл» (нижнее положение тумблера) или при появлении сигнала «Авария»:

$$ВКХ = (ГотА \cdot \overline{ВКН} \cdot \overline{Откл} \cdot (Вкл + ВКХ)) \cdot \overline{Авария}. \quad (7.4)$$

Сигнал на включение вспомогательного компрессора в режиме нагнетания возникает в автоматическом режиме при готовности компрессорной установки и достижении давления 0,76 МПа или снижении ниже 0,82 МПа (при работающем основном компрессоре в режиме нагнетания) в питательной магистрали до тех пор, пока давление в питательной магистрали не достигнет значения 0,88 МПа (с задержкой в 30с, для снижения частоты до 10 Гц) или тумблер работы компрессоров не будет переведен в положение «Откл» (нижнее положение тумблера) или при появлении сигнала «Авария»:

$$ВКН = (ГотА \cdot \overline{Откл} \cdot \overline{Д3}^{\uparrow 30с} \cdot (Д1 + ОКН \cdot \overline{Д2} + ВКН)) + Руч \cdot ПВК \cdot \overline{Авария}. \quad (7.5)$$

#### 7.4 Блок аварийных сигналов

Сигнал аварии возникает при нажатой кнопке «Авария», обратном вращении винтового блока, пропадании сигнала «Готовность» на время более 15с и ошибках в работе датчиков, в отсутствии нажатой кнопки «Сброс Аварии»:

$$\begin{aligned} \text{Авария} = & \left( \text{кнАвария} + \text{ОВ} + \overline{\text{ГотА}}^{\uparrow 15\text{с}} + \overline{\text{Д1}} \cdot (\text{Д4} + \text{Д3} + \text{Д2}) + \overline{\text{Д2}} \right. \\ & \left. \cdot (\text{Д4} + \text{Д3}) + \overline{\text{Д3}} \cdot \text{Д4} + \text{Авария} \right) \cdot \overline{\text{СбросА}}. \end{aligned} \quad (7.6)$$

## 8 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

8.1 На основе описания технологического процесса, автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд составлена схема электрическая функциональная, представленная в приложении А.

8.2 В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

- пульт управления (ПУ);
- блок управления (БУ);
- системы управления двигателями (СУД);
- приводной двигатель (М1) основного компрессора;
- приводной двигатель (М2) вспомогательного компрессора;
- датчики технологической информации (ОВ, ПТ, Д1, Д2, Д3, Д4);
- блок питания (БП).

8.3 На функциональной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации.

8.4 На пульте управления предусмотрены:

- индикационные светодиодные лампы с целью индикации состояния системы: «Питание», «Авария», «Готовность», «Обратное вращение винтового блока», «Превышена температура масла»;
- кнопки: «Принудительное включение компрессоров» и «Авария», а также кнопка «Сброс аварии»;
- переключатель положений автоматического и ручного режима работы;
- тумблер работы компрессоров (Вкл/Откл).

8.5 Питание контроллера, пульта управления и датчиков осуществляется от блока питания, преобразующего переменный трехфазный ток напряжением 380В в постоянный ток напряжением 24В.



сигналы через интерфейс *Modbus RS-485* подаются на преобразователи частоты (*UZ1* и *UZ2*) двигателей.

9.6 В данной системе автоматизации для контроля давления в питательной магистрали используются датчики *SQ2-SQ5*, а за контроль температуры масла отвечает датчик *SQ1*. Выходы датчиков подключены к контроллеру *A2*.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы, исходя из данных технического задания, были построены принципиальная и функциональная схемы системы управления компрессорной установкой.

Выбрано оптимальное оборудование, основываясь на расчетах, актуальности и экономических показателях.

Разработана система автоматизации компрессорной установки, которая обеспечивает возможность работы как в автоматическом, так и в ручном режиме, и предотвращает возможные аварии при превышении давления в питательной магистрали, высокой температуре масла или обратном вращении винтового блока.

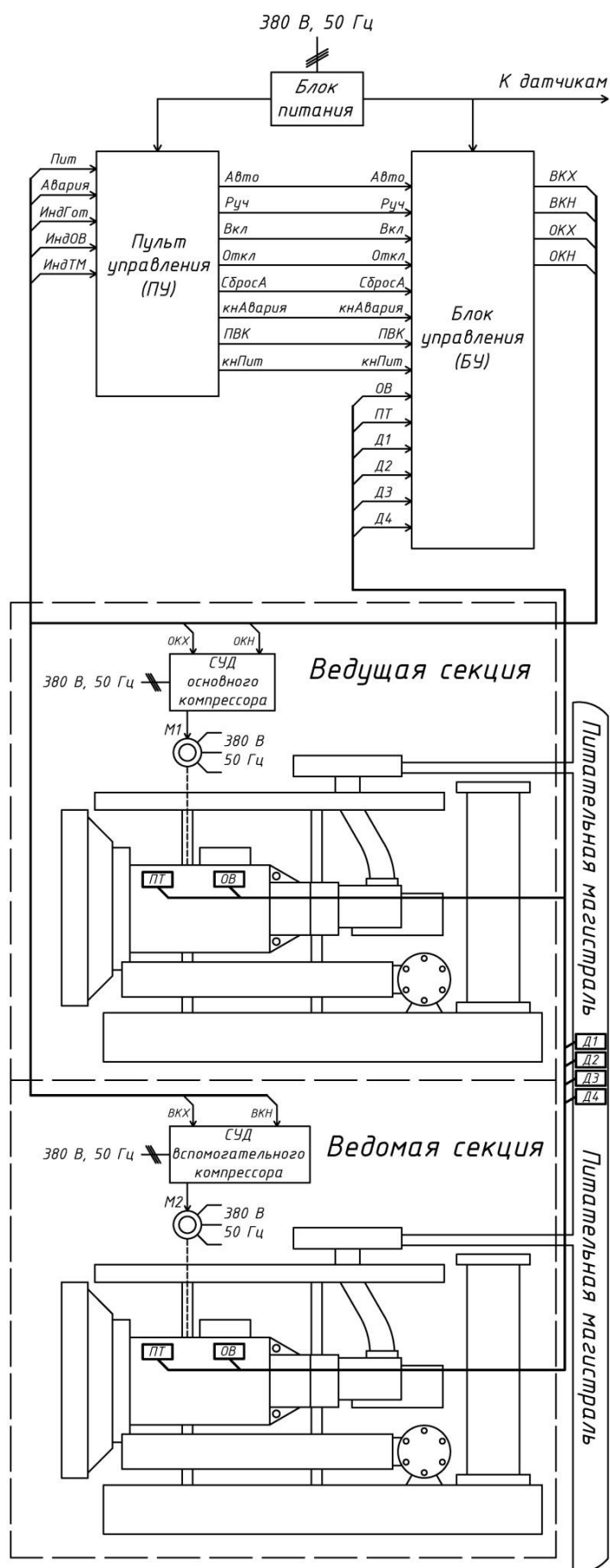
					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 168 с.
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
- 3 Вешеневский, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. – С.Н. Вешеневский. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
- 4 Салтаев А.В. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми электродвигателями «Руководство по эксплуатации» 2013. – 141 с.
- 5 Петров С.В. Курс лекций «Устройство и ремонт электровоза 2ЭС6» – Курган: Издательство ЮУЖД, 2017. – 165 с.
- 6 Борисов, А.М. Автоматизация технологических процессов (технологические средства, проектирование, лабораторный практикум): учебное пособие в 2 ч. / А.М. Борисов, Н.Е. Лях. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – Ч.1. – 404 с.
- 7 Борисов, А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, Н.А. Логинова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.
- 8 Стандарт предприятия: курсовые и дипломные проекты. Общие требования к содержанию и оформлению. СТО ЮУрГУ 04 – 2008. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
- 9 Гельман, М.В. Преобразовательная техника: Учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.



# ПРИЛОЖЕНИЕ А. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР

Лист

43

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.417.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44