

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.

Электропривод и автоматизация системы вентиляции помещения

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»
ЮУрГУ–13.03.02.2020.463 ВКР**

Руководитель, доцент, к.т.н.

_____ / Д.А. Сычев /
« ____ » _____ 2020 г.

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

_____ / И.И. Савин /

Нормоконтролер, доцент, к.т.н.

_____ / Т.А. Функ /
« ____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Савин И.И. Электропривод и автоматизация системы вентиляции помещения. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 57 с., 20 ил., 17 табл., библиографический список – 9наим., 1 лист чертежей ф. А3.

Объектом проектирования данной работы является система вентиляции помещения. Система предназначена для подачи предварительно нагретого воздуха и поддержания постоянной температуры для комфортного пребывания человека в помещении.

В ходе выпускной квалификационной работы произведен расчет и выбор асинхронного электродвигателя, который должен приводить во вращение радиальный вентилятор системы вентиляции. После этого было выбрано силовое оборудование, для управления и защиты электродвигателя, и построены статические и динамические характеристики электропривода.

Вторая часть работы содержит описание процесса автоматизации. На основе описания технологического процесса и списка сигналов разработан алгоритм управления системой вентиляции в дневное и ночное время суток.

Для наглядной демонстрации работы системы в работе представлены функциональная и принципиальная схемы.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Савин И.И.</i>				<i>Электропривод и автоматизация системы вентиляции помещения</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Сычев Д.А.</i>						4	57
<i>Реценз</i>						<i>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Функ Т.А.</i>							
<i>Утверд.</i>	<i>Григорьев М.А.</i>							

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	7
2 РАЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	9
3 ВЫБОР ВЕНТИЛЯТОРА И РЕДУКТОРА	11
4 ПРИВЕДЕНИЕ МОМЕНТОВ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ	16
5 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ	20
6 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА	23
7 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	27
8 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	29
9 ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ...	32
10 СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	34
11 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА	40
12 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	42
13 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	44
14 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ.....	51
15 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	57

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

ВВЕДЕНИЕ

Вентиляторы применяются для:

- систем принудительно-вытяжной местной вентиляции в зданиях и помещениях;
- обдува охлаждающих и нагревательных элементов в устройствах для обогрева воздуха и его кондиционирования;
- обдувания радиаторов охлаждения различных приборов.

Приточная система вентиляции – это система, которая подает определенный объем воздуха в производственное помещение, который может охлаждаться в летний период и подогреваться в зимний.

Данная работа посвящена проектированию системы вентиляции помещения на основе частотно-регулируемого асинхронного электропривода. Вентиляцией называют процесс удаления воздуха из помещения, взамен которого подается чистый воздух с улицы.

В современном обществе очень высока необходимость использования частотного способа управления асинхронной машиной, выгода от которого заметна не только в экономии потребляемой электрической энергии, но и в совершенствовании управления технологическим процессом.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

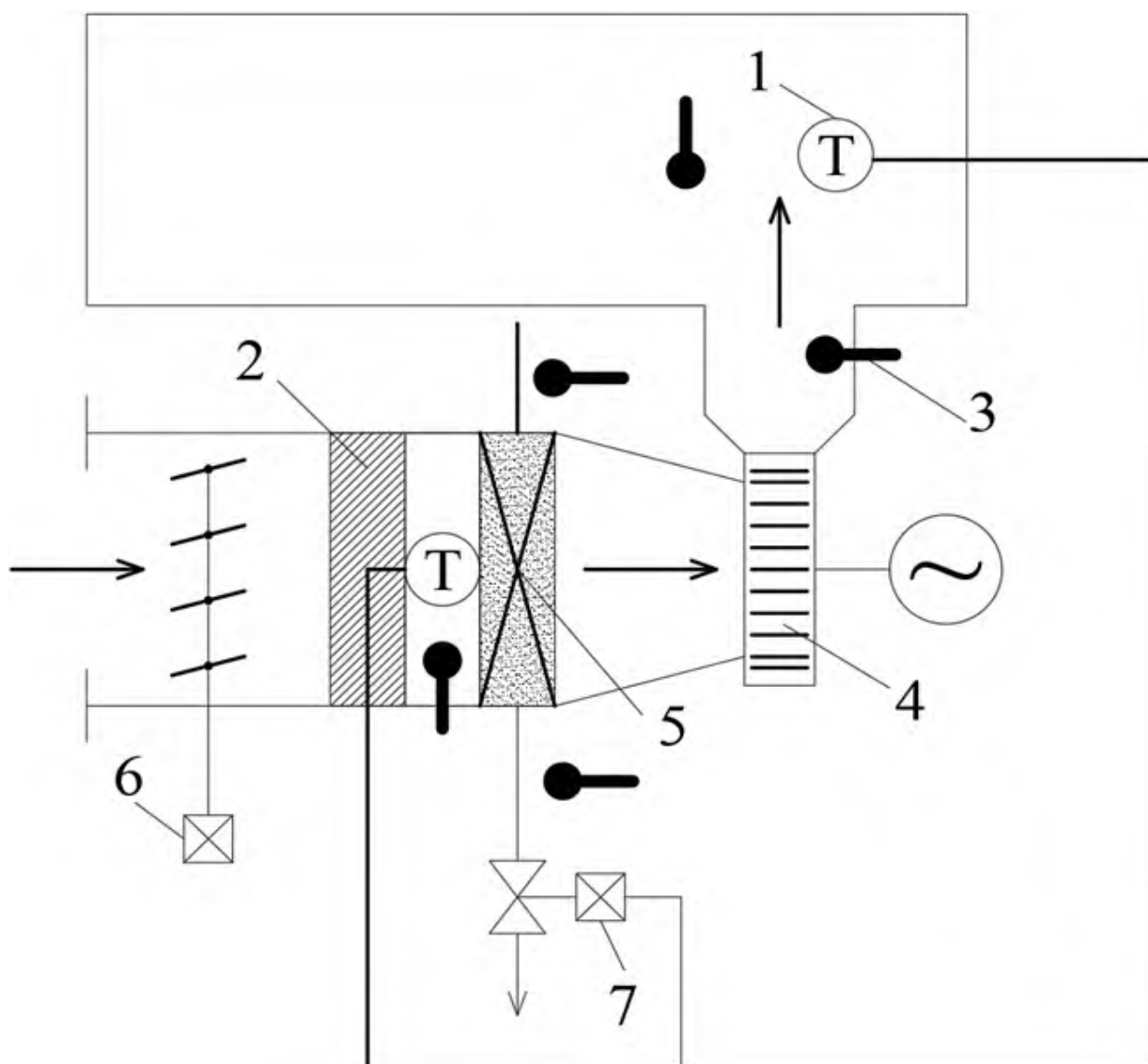


Рисунок 1.1 – Схема работы системы вентиляции

1 – термодатчик, 2 – фильтр, 3 – термометр, 4 – вентилятор, 5 – калорифер, 6 – клапан заслонки, 7 – клапан горячей воды.

Для экономии электроэнергии и поддержания температуры в помещениях, прибегают к применению автоматизированных систем кондиционирования и вентиляции, позволяющих производить автоматическое включение и отключение оборудования в аварийных ситуациях. Для наблюдения за основными параметрами на щиты выносят приборы контроля и сигнализирующие приборы, которые предотвращают нарушение технологического процесса.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

7

Индикаторы работы системы вентиляции и кондиционирования устанавливаются как в системе приточной вентиляции, так и в комбинированных системах с воздушным отоплением, и в системах кондиционирования воздуха. Здесь важен контроль температуры воздуха наряду с контролем параметров теплоносителя.

В системе кондиционирования отслеживаются влажность воздуха и температура горячей и холодной воды, а также давление, чтобы правильно регулировать работу насосов, подающих воду в оросительную камеру.

При запуске системы калорифер 5 предварительно прогревается, до того, как вентилятор 4 будет включен. В момент включения вентилятора 4 открывается заслонка 6.

В приведенной схеме (рисунок 1.1), установленный в потоке подогретого воздуха, терморегулятор при отклонении температуры воздуха от уровня уставки включает моторный клапан 7, регулирующий подачу в калорифер 5 теплоносителя (целесообразно применять в случае, если теплоносителем является вода). Вода поступает в калорифер пропорционально положению клапана 7 над седлом по высоте.

Таблица 1.1 – Исходные данные для системы вентиляции

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$V_{\text{пмц}}$	Объем помещения	м ³	5 000
p	Необходимое давление	Па	400
K_p	Нормативная кратность воздухообмена	1/ч	1...2
μ	Коэффициент трения скольжения	–	0,02
$a_{\text{доп}}$	Допустимое ускорение	м/с ²	5

2 РАЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Необходимую для вентилятора мощность можно вычислить по следующей формуле:

$$P_B = k_3 \frac{L \cdot p}{1000 \cdot \eta'} \quad (1)$$

где L – подача воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$; p – давление газа, Па; η – КПД; k_3 – коэффициент запаса, учитывающий не выявленные расчетом факторы ($k_3=1,05\dots 1,1$).

$$L = V_{\text{помщ}} \cdot K_P, \quad (2)$$

где $V_{\text{помщ}}$ – объем помещения, м^3 ; K_P – нормативная кратность воздухообмена, $1/\text{ч}$.

$$L = 5000 \cdot 2 = 10\,000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$P_B = 1,1 \cdot \frac{10000 \cdot 400}{1000 \cdot 0,68} = 6\,470,59 \text{ Вт}.$$

В качестве двигателя вентилятора выберем асинхронный двигатель из серии 4МТКФ. Электродвигатели данной серии благодаря простоте конструкции, отсутствию подвижных контактов, высокой ремонтпригодности, невысокой цене по сравнению с другими электрическими двигателями применяются практически во всех отраслях. Они используются для привода вентиляционного оборудования, насосов, компрессорных установок, станков, эскалаторов и многих других машин [1].

Ближайшим, подходящим по мощности, двигателем является 4МТКФ(Н)132LB6. Технические характеристики представлены в таблице 2.1, а внешний вид на рисунке 2.1.

Таблица 2.1 – Номинальные данные двигателя 4МТКФ(Н)132LB6

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
P_n	Номинальная мощность на валу	кВт	7,5
n_n	Номинальная частота вращения	об/мин	900

Продолжение таблицы 2.1

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
U_n	Номинальное напряжение	В	220
I_{In}	Номинальный ток статора	А	18,3
$\cos\varphi_n$	Коэффициент мощности в номинальном режиме	—	0,7
η	Коэффициент полезного действия	%	88
I_n	Пусковой ток	А	79
M_n	Пусковой момент	Н·м	216
M_{max}	Максимальный (критический) момент	Н·м	225
$J_{дв}$	Момент инерции двигателя	кгм ²	0,11
r_1	Активное сопротивление статора	Ом	0,68
I_o	Ток холостого хода для номинального режима	А	10,1
$R_{кз}$	Активное сопротивление короткого замыкания	Ом	2,37
$X_{кз}$	Реактивное сопротивление короткого замыкания	Ом	1,91



Рисунок 2.1 – Внешний вид 4МТКФ(Н)132LB6

3 ВЫБОР ВЕНТИЛЯТОРА И РЕДУКТОРА

Основным элементом системы вентиляции и кондиционирования является вентилятор, необходимый для принудительной приточно-вытяжной и местной вентиляции помещений, обдува нагревательных и охлаждающих элементов в устройствах обогрева и кондиционирования воздуха. Существуют несколько типов вентиляторов, различных по своей конструкции, а именно: осевые (аксиальные), центробежные (радиальные), диаметральные (тангенциальные) и безлопастные.

В этой работе будет использован центробежный (радиальный) тип вентилятора среднего давления (от 100 Па до 3000 Па), ввиду его высокой эффективности и надежности.

С учетом исходных данных и рассчитанной мощности выберем из [2] радиальный вентилятор ВЦ-14-46-6,3, основные технические характеристики которого приведены в таблице 3.1, а внешний вид на рисунке 3.1. Его аэродинамические характеристики представлены на рисунке 3.2[2].



Рисунок 3.1 – Внешний вид ВЦ-14-46-6,3

Таблица 3.1 – Технические характеристики ВЦ-14-46-6,3

Наименование показателя	Размерность	Величина
Производительность	м ³ /ч	7500...17300
Полное давление	Па	790...1040
Уровень шума	дБА	100...106
Обороты вентилятора	об/мин	725...960
Рабочая температура	°С	-40...+40
Количество лопаток рабочего колеса	—	32
Диаметр рабочего колеса	мм	630
Масса рабочего колеса	Кг	50

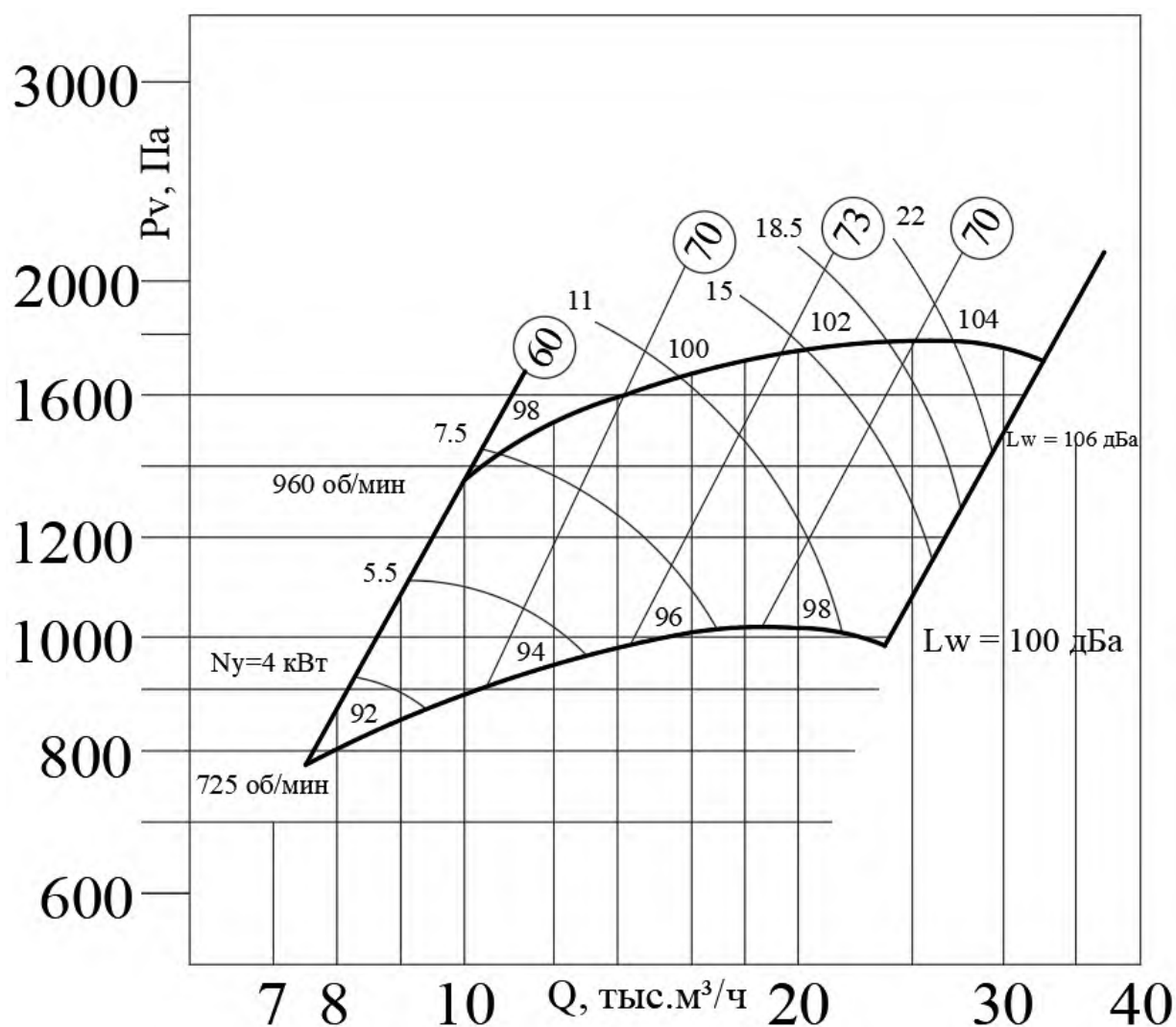


Рисунок 3.2 – Аэродинамические характеристики

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

12

Момент сил трения в подшипниках:

$$M_{\text{тп}} = \frac{m_1 \cdot d_c \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2}, \quad (3)$$

где m_1 – масса деталей и узлов, опирающихся на подшипники, кг ; d_c – диаметр шейки вала или оси , м; $\mu_{\text{п}}$ – коэффициент трения скольжения в подшипниках; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести.

$$M_{\text{тп}} = M_{\text{рост}} = \frac{50 \cdot 0,25 \cdot D \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = \frac{2,45 \cdot 0,63}{2} = 0,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для определения динамических моментов рабочей машины рассчитываются моменты инерции рабочей машины (рабочего органа):

$$J_{\text{ро}} = m \cdot \frac{D_K^2}{4}, \quad (4)$$

где m – масса поступательно движущихся частей; D_K – диаметр колеса.

В соответствии с формулой (3.2):

$$J_{\text{ро}} = 50 \cdot \frac{0,63^2}{4} = 4,96 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При заданной величине допустимого ускорения $a_{\text{доп}}$ для каждого режима рабочей машины определяются динамические моменты:

$$M_{\text{родин}} = J_{\text{ро}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D_K}; \quad (5)$$

$$M_{\text{родин}} = J_{\text{ро}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D_K} = 4,96 \cdot \frac{2 \cdot 5}{0,63} = 78,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент рабочей машины находится по формуле:

$$M_{\text{ро}} = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин}}. \quad (6)$$

Первый участок – разгон вентилятора до рабочей скорости:

$$M_{\text{ро}}^1 = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин}} = 0,8 + 78,7 = 79,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок – работа вентилятора с рабочей скоростью:

$$M_{\text{ро}}^2 = M_{\text{рост}} = 0,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок – торможение вентилятора:

$$M_{\text{ро}}^3 = M_{\text{рост}} - M_{\text{родин}} = 0,8 - 78,7 = -77,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Значения статических моментов, моментов инерции, полного момента рабочей машины для каждого участка движения сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок движения		Рабочий ход		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Уст. Режим	Торможение
Моменты РО, Нм:				
Трения скольжения в подшипниках	$M_{тп}$	0,8		
Статический момент, Нм	$M_{рост}$	0,8		
Момент инерции, кгм ²	$J_{ро}$	4,96		
Динамический момент, Нм	$M_{родин}$	78,7	0	-78,7
Суммарный момент, Нм	$M_{ро}$	79,5	0,8	-77,9

Передаточное число редуктора определяется по номинальной скорости вращения выбранного двигателя и основной скорости движения исполнительного органа по формуле [3]:

$$i_p = \frac{\omega_1}{\omega_2}, \quad (7)$$

где ω_1 – номинальная частота вращения двигателя, рад/с ; ω_2 – номинальная частота вращения вентилятора, рад/с.

В соответствии с формулой (4.5):

$$i_p = \frac{94,25}{75,922} = 1,24$$

Выберем редуктор, исходя из того, что передаточное число должно быть равным или несколько меньшим рассчитанного, при этом должны быть учтены условия работы механизма и скорость двигателя. Данные редуктора заносим в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристики редуктора 1Ц2У-100

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
i_p	Передаточное число редуктора	–	1,2
$n_{вр}$	Частота вращения входного вала	Об/мин	≤ 1500
M_T	Номинальный крут. момент на выходном валу	Н·м	500
η_p	Коэффициент полезного действия	%	98

4 ПРИВЕДЕНИЕ МОМЕНТОВ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ

4.1 Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя

После выбора двигателя и редуктора рассчитаем статические моменты рабочей машины, приведенные к валу двигателя, по формуле [4]:

$$M_{pc} = \frac{M_{рост}}{i_p}, \quad (8)$$

где $M_{рост}$ – статический момент рабочего органа; i_p – передаточное число редуктора.

$$M_{рсд} = \frac{79,5}{1,2} = 66,25 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{рст} = \frac{77,9}{1,2} = 64,92 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

С учетом потерь в редукторе статический момент на валу в двигательном режиме рассчитывается по формуле:

$$M_{вс} = \frac{M_{pc}}{\eta_p}. \quad (9)$$

При движении в двигательном режиме:

$$M_{всд} = \frac{M_{рсд}}{\eta_p} = \frac{66,25}{0,98} = 67,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При работе электропривода в тормозных режимах моменты на валу двигателя определяют по формуле:

$$M_{вст} = M_{рст} \cdot \eta_p. \quad (10)$$

При движении в тормозном режиме:

$$M_{вст} = 64,92 \cdot 0,98 = 63,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведенные статические моменты системы электропривод - рабочая машина рассчитывают для каждого участка с учетом режима работы электропривода по формуле:

$$M_c = M_{вс} + \Delta M_x, \quad (11)$$

где ΔM_x - момент потерь холостого хода двигателя.

$$\Delta M_X = (I_{1n} U_{1n} 3 \cos \varphi_n - P_n) / (3n_n / 9,55); \quad (12)$$

$$\Delta M_X = \frac{(18,3 \cdot 220 \cdot 3 \cdot 0,7 - 7500) \cdot 9,55}{3 \cdot 900} = 3,38 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

С учетом потерь на ХХ статический момент на валу в двигательном режиме рассчитывается по формуле:

$$M_c = M_{bc} + \Delta M_X. \quad (13)$$

С учетом потерь на ХХ статический момент на валу в тормозном режиме рассчитывается по формуле:

$$M_c = M_{bc} - \Delta M_X. \quad (14)$$

При движении в двигательном режиме:

$$M_{cd} = 67,6 + 3,38 = 71 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении в тормозном режиме:

$$M_{ct} = 63,6 - 3,38 = 60,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4.2 Приведение моментов инерции и коэффициентов жесткости к валу двигателя

Необходимо привести моменты инерции всей системы к валу двигателя для того, чтобы заменить систему на эквивалентную.

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_{дв} + J_{пр}, \quad (15)$$

где $J_{пр}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $J_{дв}$ – момент инерции ротора выбранного двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; δ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных моментов электропривода: тормозного шкива, муфт, редуктора, и т.д. ($\delta = 1.3 \dots 1.5$).

Тогда:

$$J = 1,5 \cdot J_{дв} + m_1 \cdot \frac{\vartheta_p^2}{\omega_c^2}, \quad (16)$$

где ω_c – установившаяся скорость двигателя, рад/с .

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле:

$$v_p = \frac{\omega_c \cdot D}{2 \cdot i_p}; \quad (17)$$

$$v_p = \frac{\omega_c \cdot D}{2 \cdot i_p} = \frac{75,92 \cdot 0,63}{2 \cdot 1,2} = 19,9 \text{ м/с.}$$

Приведенный момент инерции при движении со скоростью v_p :

$$J^p = 1,5 \cdot 0,11 + 50 \frac{19,9^2}{94,25^2} = 2,39 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Рассчитаем пусковые и тормозные моменты двигателя, которые требуются для разгона и торможения привода.

Пусковой момент:

$$M_{\Pi} = M_c + M_{\text{дин}}, \quad (18)$$

где M_c – статический момент сопротивления движению, Н·м; $M_{\text{дин}}$ – динамический момент, Н·м.

Динамический момент рассчитываем по формуле:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_p}{D}. \quad (19)$$

$$M_{\text{дин}} = J^p \cdot \frac{2 \cdot a \cdot i_p}{D} = 2,39 \cdot \frac{2 \cdot 5 \cdot 1,2}{0,63} = 45,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Пусковой момент:

$$M_{\Pi}^p = M_{\text{сд}} + M_{\text{дин}} = 71 + 45,5 = 116,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Тормозной момент:

$$|M_T| = |M_{\text{дин}}| + M_c. \quad (20)$$

$$|M_T^p| = |M_{\text{дин}}| + M_{\text{ст}} = 45,5 - 60,2 = -14,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Пусковой момент меньше максимально допустимого, значит, ускорения снижать не требуется.

Ни на одном участке момент при торможении или разгоне не оказался выше максимального момента двигателя.

Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 4.1.

Рассчитаем время переходных процессов по формуле (5.16):

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c} \quad (21)$$

где J – суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции, кг · м²; ω_c – установившаяся скорость двигателя, рад/с; M_{cp} – средний момент двигателя, Н·м; M_c – приведенный статический момент, Н·м.

Первый участок – разгон:

$$t_1 = J^p \cdot \frac{\omega_c}{M_{п}^p - M_{сд}} = 2,39 \cdot \frac{75,92}{116,5 - 71} = 3,9 \text{ с.}$$

Третий участок – торможение:

$$t_3 = J^p \cdot \frac{\omega_c}{M_{т}^p + M_{ст}} = 2,39 \cdot \frac{75,92}{-14,7 + 60,2} = 3,9 \text{ с.}$$

Таблица 4.1 – Приведение моментов к валу двигателя

Расчетные данные	Пуск	Уст. режим	Торможение
$M_{рост}$, Н·м	0,8		
$J_{рост}$, кг·м ²	4,96		
ω_c , рад/с	—	75,92	—
$M_{рс}$, Н·м	66,25	—	64,92
$M_{вс}$, Н·м	67,6	67,6	63,6
M_c , Н·м	71	71	60,2
J , кг·м ²	2,39		
$M_{дин}$, Н·м	45,5	—	-45,5
$M_{ср}$, Н·м	116,5	71	-14,7
t , с	3,9	—	3,9

5 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ

5.1 Выбор преобразователя осуществляется на основании номинальных данных предварительно выбранного двигателя [4]:

$$U_{\text{нпч}} \geq U_{\text{нл}};$$

$$I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{н}};$$

где $U_{\text{нл}}$, $I_{\text{н}}$ – номинальные линейное напряжение и фазный ток статора двигателя;

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

Выберем из [5] преобразователь фирмы «АВВ», а именно модель 01-025А-4 серии АСН580. Технические характеристики преобразователя представлены в таблице 5.1.

Серия преобразователей частоты АСН580 предназначены для систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) используются для регулирования скорости вращения двигателей при управлении климатической системой.

Отличительные особенности:

- Может управлять любым типом двигателей, применяемых в HVAC;
- Гарантирует снижение энергозатрат;
- Имеет интуитивно понятную панель управления со встроенными конфигурациями основных применений HVAC и терминологией;
- Прост в подборе, монтаже и эксплуатации.

Таблица 5.1 – Характеристики преобразователя АСН580-01-025А-4

Наименование показателя	Размерность	Величина
Мощность	кВт	11
Напряжение питания	В	~380...480
Номинальный ток	А	25
Выходная частота	Гц	0...500

5.2 Выбор автоматического выключателя

Также необходима установка автоматического выключателя, его выбор осуществляется по следующим параметрам:

$$U_{AB} \geq U_H ;$$

$$I_{AB} \geq I_H.$$

Исходя из этих условий выберем автоматический выключатель фирмы SchneiderElectric типа A0259 C60N 24353, у которого $I_{AB} = 32 \text{ A}$, $U_{AB} = 220 \text{ В}$.

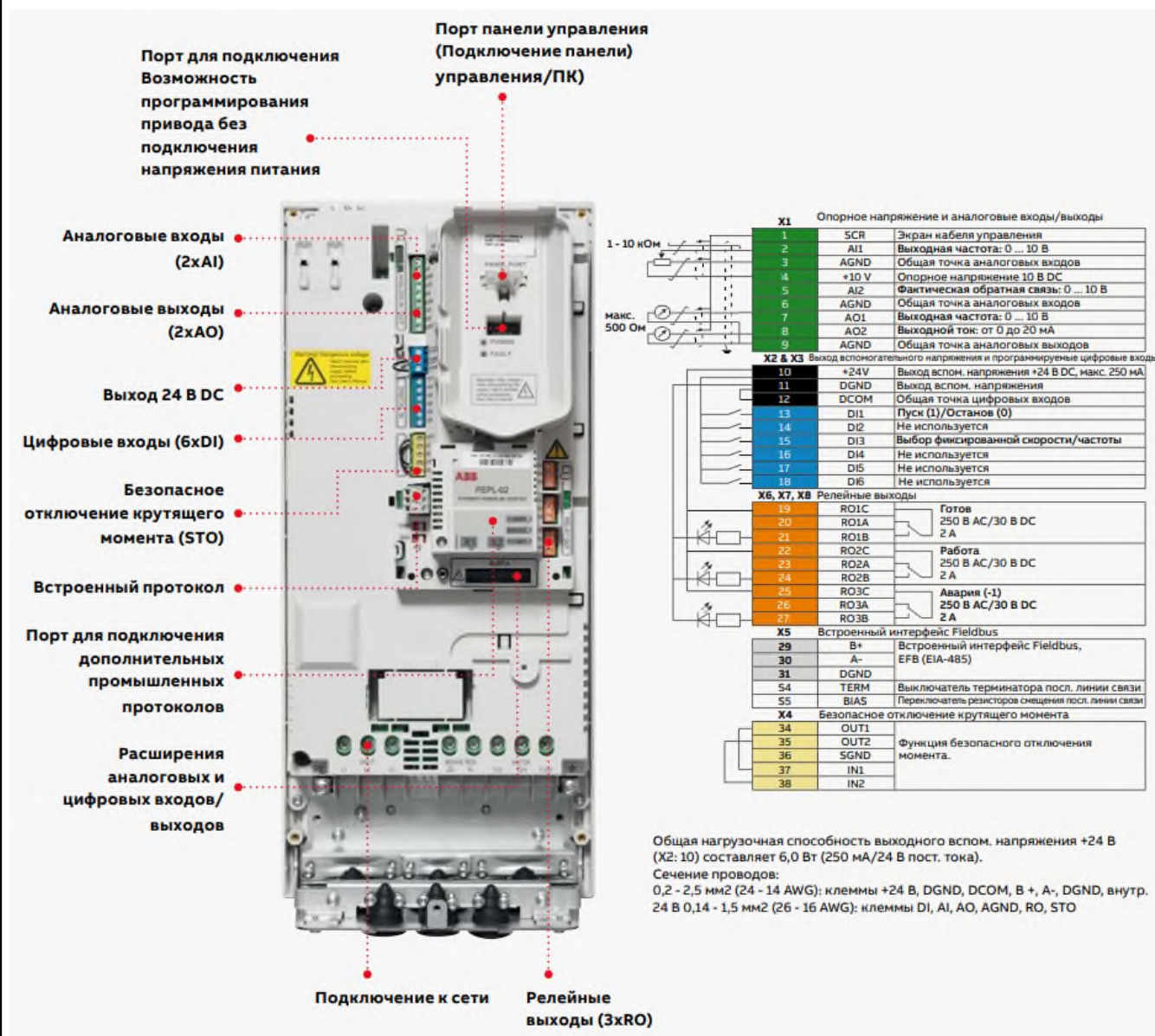


Рисунок 5.1–Схема подключения АСН580-01-025А-4

5.3 Выбор сетевого дросселя осуществим исходя из следующих условий:

$$P_{нсд} \geq P_n;$$

$$I_{нсд} \geq I_n.$$

Установим сетевой дроссель фирмы «DeltaElectronics» ED3N–0,74/33,5. Его характеристики представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Характеристики сетевого дросселя ED3N–0,74/33,5

Параметр	Значение
Мощность двигателя, кВт	11
Индуктивность, мГн	0,74
Номинальный ток, А	33,5
Номинальное напряжение, В	400

Также к нему дополнительно установим радиочастотный фильтр VFD110V43A.

6 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Синхронная скорость вращения ω_{0H} :

$$\omega_{0H} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,72, \quad (22)$$

где p – число пар полюсов; f_{1H} – номинальная частота напряжения статора, Гц.

Номинальный момент на валу M_H :

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}; \quad (23)$$
$$M_H = \frac{7500}{94,25} = 79,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент холостого хода:

$$M_{XX} = \frac{3 \cdot U_{1H} \cdot I_{1H} \cdot \cos\varphi - 3 \cdot I_{1H}^2 \cdot r_1}{\omega_{0H}}; \quad (24)$$
$$M_{XX} = \frac{3 \cdot 220 \cdot 18,3 \cdot 0,7 - 7500}{3 \cdot 104,72} = 3,04 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное относительное скольжение:

$$S_H = \frac{\omega_{0H} - \omega_H}{\omega_{0H}}; \quad (25)$$
$$S_H = \frac{104,72 - 94,25}{104,72} = 0,1.$$

Критическое скольжение:

$$S_k = S_H \cdot (\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1}), \quad (26)$$

где μ_k – перегрузочная способность асинхронного двигателя.

$$m_k = \frac{M_k}{M_H}; \quad (27)$$

$$m_k = \frac{M_k}{M_H} = \frac{225}{79,6} = 2,82.$$

$$S_k = 0,1 \cdot (2,82 + \sqrt{2,82^2 - 1}) = 0,55.$$

Рассчитаем частоту f_1 и напряжение на статоре U_1 , при которых характеристики будут проходить через точки установившегося режима. Будем руководствоваться законом [4]:

$$\frac{U_1}{f_1} = const. \quad (28)$$

Таблица 6.1 – Расчетные параметры для работы в заданных точках

Расчетные параметры/Участок работы		Уст.режим
Заданные точки		
$\omega_{зад}$	Рад/с	75,92
	О.е.	0,72
$M_{зад}$	Нм	71
	О.е.	0,89
Расчетные данные		
$\omega_{0зад}$	О.е.	0,81
	Рад/с	84,74
f_1	О.е.	0,81
	Гц	40,5
U_1	О.е.	0,81
	В	178,2

Синхронная скорость:

$$\omega_{0зад} = \omega_{зад} + \Delta\omega_{ест} = \omega_{зад} + M_{зад} \cdot S_H; \quad (29)$$

$$\omega_{0зад} = 0,72 + 0,89 \cdot 0,1 = 0,81.$$

$$\omega_{0зад} = \omega_{0зад} \cdot \omega_{0н}; \quad (30)$$

$$\omega_{0зад} = 0,81 \cdot 104,72 = 84,74.$$

Частота и напряжение на статоре при $U_1/f_1=const$:

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1н}} = \omega_{0зад}; \quad (31)$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1н}; \quad (32)$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H}. \quad (33)$$

$$f_1 = 0,81 \cdot 50 = 40,5 \text{ Гц.}$$

$$U_1 = 0,81 \cdot 220 = 178,2 \text{ В.}$$

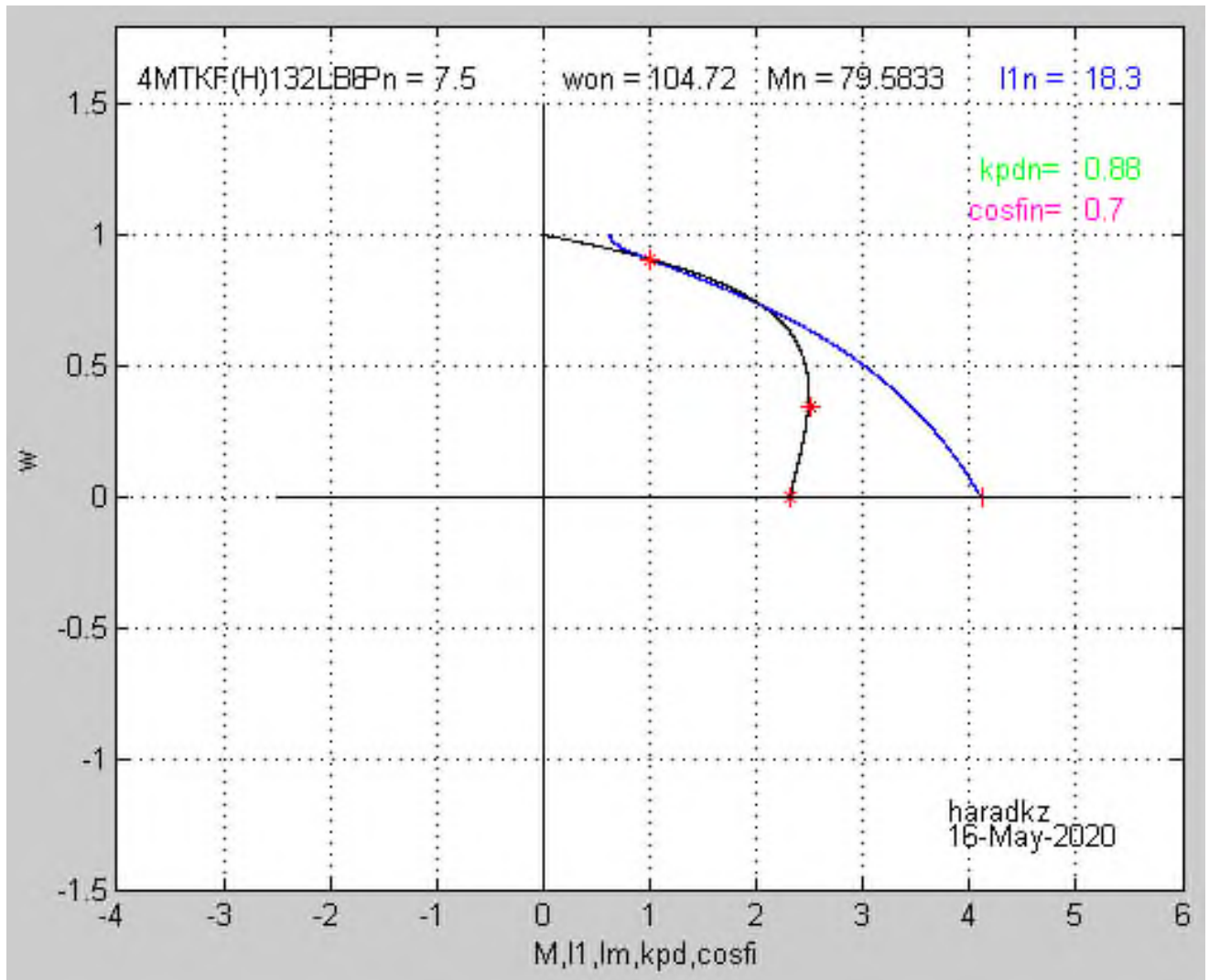


Рисунок 6.1 – Естественная характеристика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

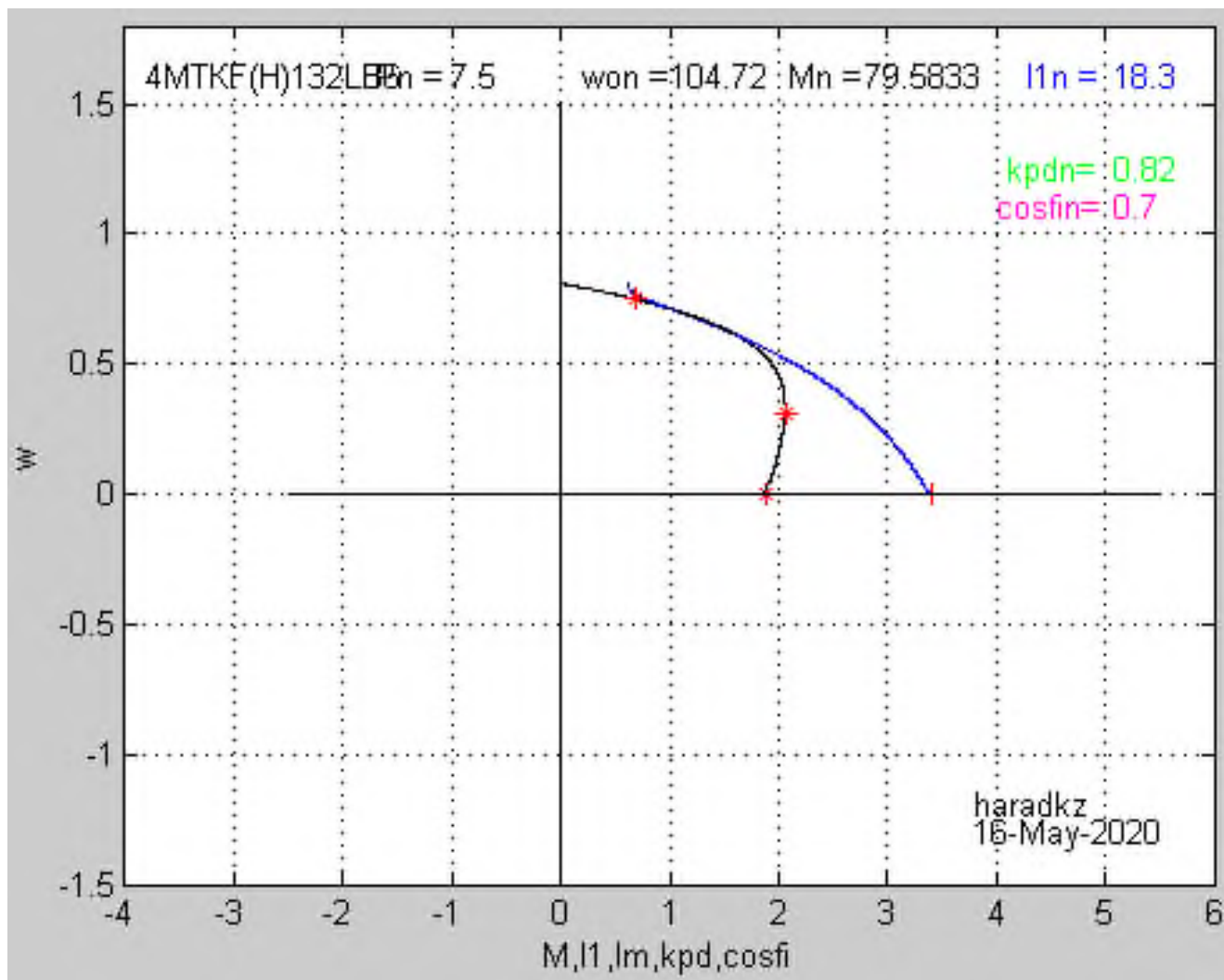


Рисунок 6.2 – Искусственная характеристика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

26

7 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

При питании двигателя от индивидуального преобразователя появляется возможность плавного регулирования напряжения, поэтому переходные процессы пуска и торможения обеспечиваются формированием напряжения управления преобразователем. В разомкнутой системе преобразователь - двигатель чаще всего применяют линейное нарастание напряжения управления, что определяет линейное нарастание напряжения питания двигателя.

Для формирования линейного закона изменения напряжения управления на вход преобразователя подключают интегральный задатчик интенсивности ЗИ, выходное напряжение которого при подаче на его вход скачка задающего напряжения $U_{ЗАД}$ изменяется по линейному закону. При достижении величины $U_{ЗАД}$ нарастание напряжения на выходе ЗИ прекращается. Выходное напряжение ЗИ, таким образом, является управляющим напряжением преобразователя, а величина $U_{ЗАД}$ определяется величиной базовой постоянной времени ЗИ $T_{ЗИ}$ численно равной времени достижения выходного напряжения преобразователя от 0 до базового значения U_H [4].

Базовая постоянная задатчика интенсивности:

$$T_{ЗИ} = \frac{J \cdot \omega_{ОН}}{M_{ДИН}}. \quad (34)$$

Рассчитаем величину постоянной задатчика интенсивности для участков, на которых происходит пуск/торможение.

1) Участок 1. Пуск:

$$T_{ЗИ} = \frac{2,39 \cdot 104,72}{45,5} = 5,5.$$

2) Участок 3. Торможение:

$$T_{ЗИ} = \frac{2,39 \cdot 104,72}{45,5} = 5,5.$$

Расчет и построение характеристик переходных процессов двигателя производится с помощью программы zipchad.m в Matlab.

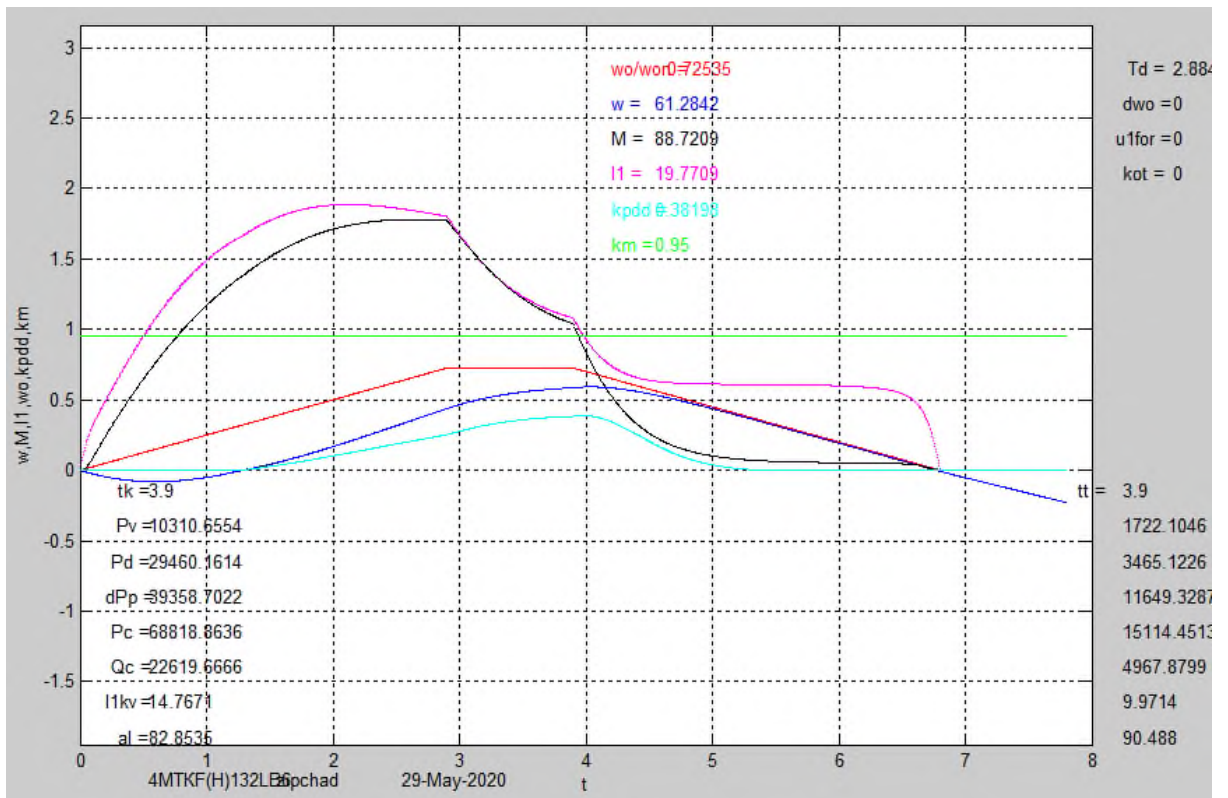


Рисунок 7.1 – Переходные процессы пуска и торможения ($0 - V_p, V_p - 0$)

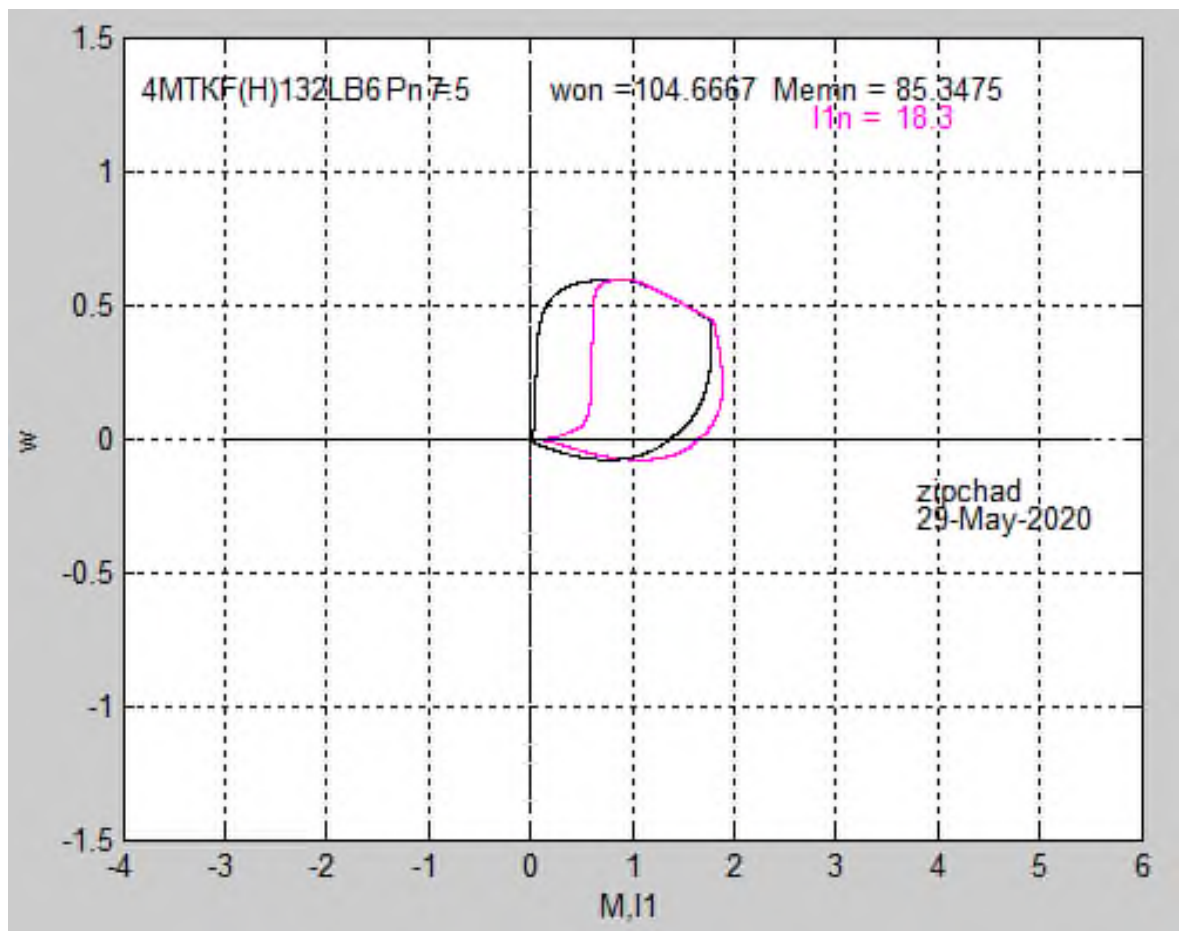


Рисунок 7.2 – Зависимость ω_{OH} от M, I ($0 - V_p, V_p - 0$)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

28

8 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

8.1 Проверка на перегрузочную способность

Выбранные двигатель и преобразователь напряжения выполняют требования перегрузочной способности, т.к. нагрузочные диаграммы показывают, что максимальные значения тока и момента двигателя не превышают допустимые.

8.2 Проверка по нагреву двигателя и преобразователя

Эквивалентный ток:

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (35)$$

где I_i - среднеквадратичное значение тока на i -ом участке; Δt_i - длительность i -го участка работы; β_i - коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя; $I_{\text{доп}}$ - допустимый по нагреву ток.

Среднеквадратичный ток на участке интегрирования за время Δt_k :

$$I_{kv} = \sqrt{\int_0^{t_i} I_i^2 \cdot dt} = \sqrt{\sum_{k=1}^i I_i^2 \cdot \Delta t_k}. \quad (36)$$

На рисунке 7.1 приведены значения среднеквадратичного тока статора I_{kv} за время пуска t_k , за время торможения t_t для одного участка движения.

Коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя β_0 зависит от его конструктивного исполнения и условий вентиляции. Примерные значения β_0 приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Значения коэффициента ухудшения теплоотдачи β_0

Исполнение двигателя	β_0
Закрытый с независимой вентиляцией	1
Закрытый без принудительного охлаждения	От 0,95 до 0,98
Закрытый самовентилируемый	От 0,45 до 0,55
Защищенный самовентилируемый	От 0,25 до 0,35

Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывается коэффициентом ухудшения теплоотдачи β_i , которому, в зависимости от скорости вращения, можно присвоить значения из таблицы 8.2.

Таблица 8.2 – Рекомендуемые значения коэффициента ухудшения условий охлаждения двигателя

ω	$\omega \leq 0,2 \cdot \omega_H$	$0,2 \cdot \omega_H \leq \omega \leq 0,8 \cdot \omega_H$	$\omega \geq 0,8 \cdot \omega_H$
β_i	β_0	$(1 + \beta_0)/2$	1

Рассчитаем эквивалентный ток:

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{14,76^2 \cdot 3,9 + 9,9^2 \cdot 3,9}{3,9 \cdot 1 + 3,9 \cdot 1}} = 12,57 \text{ А.}$$

Допустимый по нагреву ток двигателя:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{КАТ}}}{\text{ПВ}_{\text{ФАКТ}}}} = 18,3 \cdot \sqrt{\frac{0,6}{1}} = 14,2 \text{ А.} \quad (37)$$

$I_{\text{Э}} < (0,85 \dots 0,9) I_{\text{доп}}$, следовательно, двигатель проходит проверку по нагреву.

8.3 Проверка по нагреву преобразователя

Проверка выполняется сравнением среднеквадратичного тока двигателя за время работы с номинальным выходным током преобразователя.

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{1}{t_p} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}. \quad (38)$$

На рисунке 7.1 приведены значения среднеквадратичного тока статора I_{KV} за время пуска t_k , за время торможения t_t и за время установившегося режима.

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{14,76^2 \cdot 3,9 + 9,9^2 \cdot 3,9}{60}} = 4,53 \text{ А.}$$

$I_{\text{ср кв}} < I_{\text{НПР}}$, следовательно, выбранный преобразователь выполняет условия по нагреву.

8.4 Расчет энергетических показателей электропривода

Для оценки циклового КПД следует брать отрезки времени, началу и концу которых соответствует одинаковая энергия, запасенная в элементах привода. Для механизмов, приведенных в данном пособии, таким отрезком является цикл работы, когда механизм возвращается в исходное положение.

Для расчета энергетических показателей используем ранее полученные с помощью ЭВМ данные, а именно рисунок 7.1. Тогда получим следующие выражения для различных видов энергии.

Механическая энергия за цикл:

$$P_{vц} = 10310,65 + 1722,1 = 12,03 \text{ кВт.}$$

Активная энергия из сети за цикл:

$$P_{сц} = 6881,8 + 15114 = 21,99 \text{ кВт.}$$

Реактивная энергия за цикл:

$$Q_{сц} = 22619,6 + 4967,8 = 27,59 \text{ кВт.}$$

Цикловые значения КПД и $\cos\varphi$ определим по формулам:

$$\eta_{ц} = \frac{P_{vц}}{P_{сц}} = \frac{12,03}{21,99} = 0,55. \quad (39)$$

$$(\cos \varphi)_{ц} = \frac{P_{сц}}{\sqrt{P_{сц}^2 + Q_{сц}^2}} = \frac{21,99}{\sqrt{21,99^2 + 27,59^2}} = 0,62. \quad (40)$$

9 ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Для экономии электроэнергии и поддержания температуры в помещениях, прибегают к применению автоматизированных систем кондиционирования и вентиляции, позволяющих производить автоматическое включение и отключение оборудования в аварийных ситуациях. Для наблюдения за основными параметрами на щиты выносят приборы контроля и сигнализирующие приборы, которые предотвращают нарушение технологического процесса.

Индикаторы работы системы вентиляции и кондиционирования устанавливаются как в системе приточной вентиляции, так и в комбинированных системах с воздушным отоплением, и в системах кондиционирования воздуха. Здесь важен контроль температуры воздуха наряду с контролем параметров теплоносителя.

Для автоматизированной системы приточной вентиляции характерно измерение температуры воздуха в помещении и температуры горячей воды до и после калорифера 5. Благодаря регулятору температуры, автоматически действующему на регулировочный клапан горячей воды 7, изменяется в нужную сторону температура в помещении.

В системе имеются два датчика температуры, предотвращающих замерзание калорифера. Первый датчик (ДТ1) отслеживает температуру теплоносителя после калорифера. Второй (ДТ2) — температуру воздуха между калорифером 5 и фильтром 2.

Если в процессе работы вентиляционной установки первый датчик (ДТ1) зафиксирует понижение температуры теплоносителя до $+20...+25^{\circ}\text{C}$, то вентилятор 4 будет автоматически отключен, а клапан регулировки 7 будет полностью открыт, чтобы подать теплоноситель в калорифер 5 с целью прогрева.

Если температура поступающего воздуха больше 0°C , то замерзание калорифера 5 невозможно, и нет надобности в отключении вентилятора 4 и в открывании клапана горячей воды 7.

В ночное время вентилятор 4 отключен, поэтому требуется защита калорифера 5 от замерзания. Второй датчик, фиксируя температуру ниже $+3^{\circ}\text{C}$, откроет клапан 7 для подачи горячей воды. Когда калорифер 5 будет прогрет, клапан 7 закроется.

При запуске системы калорифер 5 предварительно прогревается, до того, как вентилятор 4 будет включен. В момент включения вентилятора 4 открывается заслонка 6.

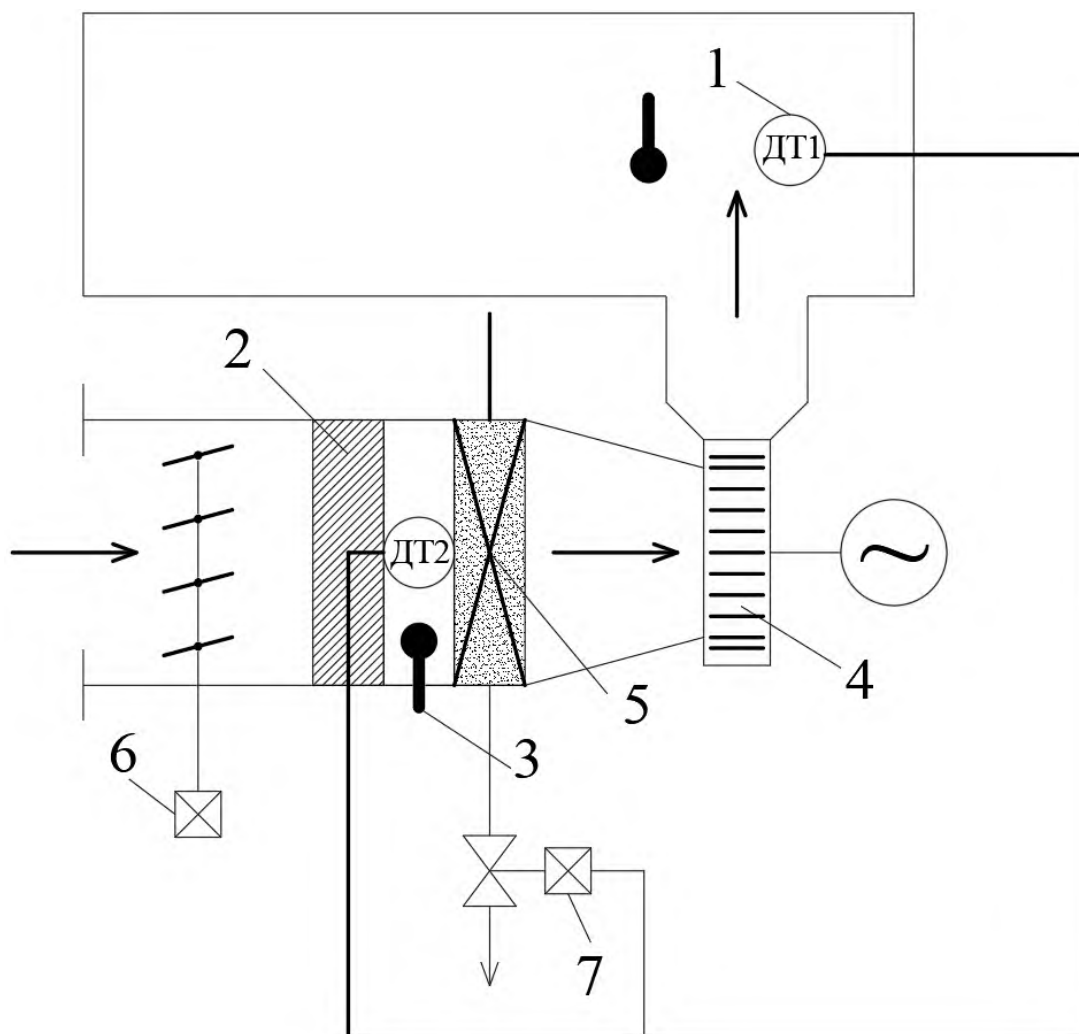


Рисунок 9.1 – Схема работы системы вентиляции

1 – термодатчик, 2 – фильтр, 3 – термометр, 4 – вентилятор, 5 – калорифер,
6 – клапан заслонки, 7 – клапан горячей воды.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

10 СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

10.1 Система должна функционировать в автоматическом режиме, но также будет предусмотрен ручной режим для возможности устранения неполадок.

10.2 Система автоматизации должна формировать следующие выходные команды:

- включение привода вентилятора (ПВ);
- открытие клапана заслонки (КЗ);
- открытие клапана горячей воды (КГВ);
- сигнал «Авария» (Авария);
- сигнал «Открыта заслонка» (ИндЗО);
- сигнал «Вентилятор» (ИндВ);
- сигнал «Открыт клапан горячей воды» (ИндКО);
- сигнал «Неисправность датчиков» (АврД).

10.3 Кроме команд на исполнительные механизмы, необходимо задействовать выходные сигналы на индикацию и сигнализацию состояния системы, для удобства эксплуатации и устранения неполадок в системе. На пульт оператора будут выводиться следующие сигналы:

- сигнал «Питания» (Пит);
- сигнал «Автоматический режим» (ИндАвт);
- сигнал «Ручной режим» (ИндРуч);
- сигнал «Авария» (Авария);
- сигнал «Открыта заслонка» (ИндЗО);
- сигнал «Вентилятор» (ИндВ);
- сигнал «Открыт клапан горячей воды» (ИндКО);
- сигнал «Индикатор температуры в помещении» (ИндТ);
- сигнал «Неисправность привода вентилятора» (АврПВ);
- сигнал «Неисправность клапана заслонки» (АврКЗ);
- сигнал «Неисправность клапана горячей воды» (АврКГВ);

– сигнал «Неисправность датчиков» (АврД).

10.4 Для управления системой автоматизации используется пульт оператора, (изображенный на рисунке 10.1), представляющий собой панель с блоками кнопок, формирующих следующие выходные сигналы:

- сигнал «Питание» (кнПит);
- сигнал «Автоматический режим» (АвтР);
- сигнал «Ручной режим» (РучР);
- сигнал «Сброс Аварии» (СбросА);
- сигнал «Пуск» (Пуск);
- сигнал «Стоп» (Стоп);
- сигнал «Включить вентилятор» (кнПВ);
- сигнал «Открыть клапан заслонки» (кнКЗ);
- сигнал «Открыть клапан горячей воды» (кнКГВ).

10.5 Для автоматизации работы системы необходимо иметь информацию о состоянии системы, поэтому необходимо использовать следующие датчики технологической информации:

- датчик, сигнализирующий о понижении температуры теплоносителя до +20 °С (ДТ1);
- датчик, сигнализирующий о температуре между фильтром и калорифером ниже +3°С (ДТ2);
- датчик, сигнализирующий о том, что калорифер прогрет (ДПК);
- датчик, сигнализирующий о ночном времени (ДНВ).

10.6 В таблицу 10.1 сведены все сигналы и команды, используемые в системе. В этой же таблице выражено соответствие действий сигналов и команд дискретным значениям этих переменных.

Таблица 10.1 – 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
	ИндАвт	Лампа индикации «Автоматический режим»	Есть
	ИндРуч	Лампа индикации «Ручной режим»	Есть
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Есть
	ИндЗО	Лампа индикации «Открыта заслонка»	Есть
	ИндВ	Лампа индикации «Вентилятор»	Есть
	ИндКО	Лампа индикации «Открыт клапан горячей воды»	Есть
	ИндТ	Лампа индикации «Индикатор температуры в помещении»	Есть
	АврПВ	Лампа индикации «Неисправность привода вентилятора»	Есть
	АврКЗ	Лампа индикации «Неисправность клапана заслонки»	Есть
	АврКГВ	Лампа индикации «Неисправность клапана горячей воды»	Есть
АврД	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	Есть	

Продолжение таблицы 10.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Выходные сигналы пульта управления	кнПит	Ключ-бирка «Питание»	Ключ повернут
	АвТР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут вправо
	РучР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут влево
	СбросА	Кнопка «Сброс аварии»	Нажата
	Пуск	Кнопка «Пуск»	Нажата
	Стоп	Кнопка «Стоп»	Нажата
	кнПВ	Кнопка «Включить вентилятор»	Нажата
	кнКЗ	Кнопка «Открыть клапан заслонки»	Нажата
	кнКГВ	Кнопка «Открыть клапан горячей воды»	Нажата
Входные сигналы контроллера	ДТ1	датчик, сигнализирующий о понижении температуры теплоносителя до +20 °С	Есть
	ДТ2	датчик, сигнализирующий о температуре между фильтром и калорифером ниже +3°С	Есть
	ДПК	датчик, сигнализирующий о том, что калорифер прогрет	Есть
	ДНВ	датчик, сигнализирующий о ночном времени	Есть

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

37

Продолжение таблицы 11.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Выходные сигналы контроллера	ПВ	включение привода вентилятора	Есть
	КЗ	открытие клапана заслонки	Есть
	КГВ	открытие клапана горячей воды	Есть
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Есть
	ИндАвт	Лампа индикации «Автоматический режим»	Есть
	ИндРуч	Лампа индикации «Ручной режим»	Есть
	ИндЗО	Лампа индикации «Открыта заслонка»	Есть
	ИндВ	Лампа индикации «Вентилятор»	Есть
	ИндКО	Лампа индикации «Открыт клапан горячей воды»	Есть
	АврД	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	Есть

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

38

Пульт управления вентиляцией

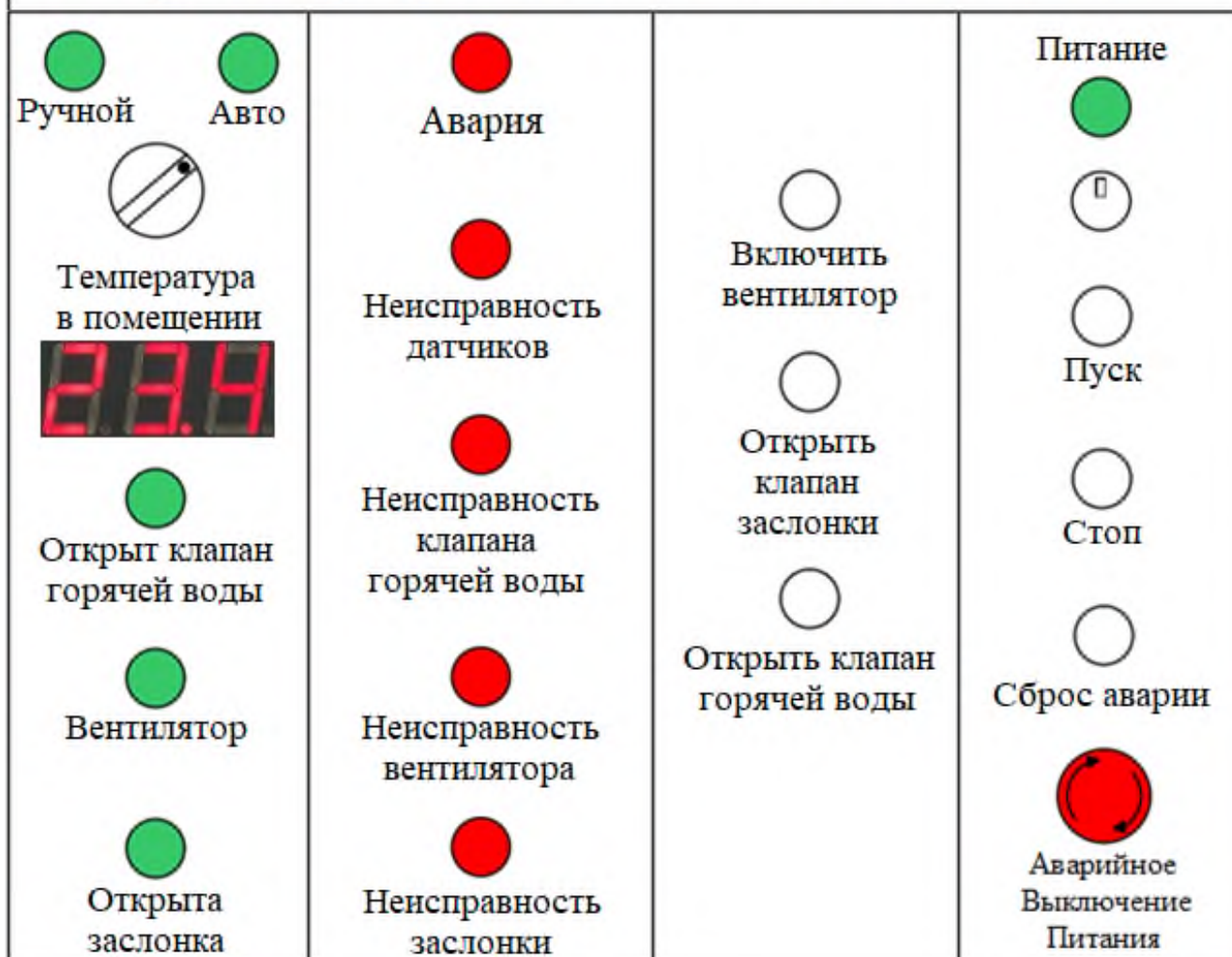


Рисунок 10.1 – Пульт управления

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

39

11 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА

Программу для контроллера разделим условно-функционально на пять блоков: «блок управления вентилятором», «блок управления клапаном заслонки», «блок управления клапаном горячей воды», «блок аварийных сигналов» и «блок индикации».

11.1 Блок управления вентилятором

Сигнал на включение привода вентилятора возникает в автоматическом режиме в дневное время при прогревом калорифере и сохраняется пока температура теплоносителя в помещении не упадет до +20°C, при отсутствии нажатой кнопки «Стоп» и сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода вентилятора возникает при нажатой кнопке «Включить вентилятор» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$ПВ = (АвтР \cdot (ДПК + ПВ) \cdot \overline{ДТ1} \cdot \overline{ДНВ} \cdot \overline{Стоп} + РучР \cdot кнПВ) \cdot \overline{Авария}.$$

11.2 Блок управления клапаном заслонки

Сигнал на открытие клапана заслонки возникает в автоматическом режиме при включении вентилятора и сохраняется пока не будет открыт клапан горячей воды, при отсутствии нажатой кнопки «Стоп» и сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на открытие клапана заслонки возникает при нажатой кнопке «Открыть клапан заслонки» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$КЗ = (АвтР \cdot (ПВ + КЗ) \cdot \overline{КГВ} \cdot \overline{Стоп} + РучР \cdot кнКЗ) \cdot \overline{Авария}.$$

11.3 Блок управления клапаном горячей воды

Сигнал на открытие клапана горячей воды возникает в автоматическом режиме при запуске системы или если температура в помещении понизится до +20°C, или в ночное время при снижении температуры между фильтром и калорифером ниже +3°C, и сохраняется пока калорифер не прогреется, при отсутствии нажатой кнопки «Стоп» и сигнала «Авария».

В ручном режиме сигнал на открытие клапана горячей воды возникает при нажатой кнопке «Открыть клапан горячей воды» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$КГВ = (АвтР \cdot (ДТ1 + Пуск + ДТ2 \cdot ДНВ + КГВ) \cdot \overline{ДПК} \cdot \overline{Стоп} + РучР \cdot кнКГВ) \cdot \overline{Авария}.$$

11.4 Блок аварийных сигналов

11.4.1 Сигнал аварии возникает при отсутствии нажатой кнопки «Сброс Аварии» и неисправности механизмов и датчиков:

$$Авария = (АврПВ + АврКЗ + АврКГВ + АврД + Авария) \cdot \overline{СбросА}.$$

11.4.2 Сигнал неисправности датчиков возникает при непредусмотренной алгоритмом комбинации сигналов с датчиков:

$$АврД = ДТ1 \cdot ДПК + ДТ2 \cdot ДПК.$$

11.5 Блок индикации

11.5.1 Сигнал индикации «Автоматический режим» возникает при выборе автоматического режима работы:

$$ИндАвт = АвтР.$$

11.5.2 Сигнал индикации «Ручной режим» возникает при выборе ручного режима работы:

$$ИндРуч = РучР.$$

11.5.3 Сигнал индикации «Открыта заслонка» возникает при открытии клапана заслонки:

$$ИндЗО = КЗ.$$

11.5.4 Сигнал индикации «Вентилятор» возникает при включении привода вентилятора:

$$ИндВ = ПВ.$$

11.5.5 Сигнал индикации «Открыт клапан горячей воды» возникает при открытии клапана горячей воды:

$$ИндКО = КГВ.$$

12 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

12.1 На основе описания технологического процесса, автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд составлена схема электрическая функциональная, представленная на рисунке 12.1.

12.2 В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

- пульт управления (ПУ);
- блок управления (БУ);
- системы управления двигателями (СУД);
- блок питания (БП);
- приводной двигатель (М1) вентилятора;
- электроклапан (L1) заслонки;
- электроклапан (L2) горячей воды;
- датчики технологической информации (ДТ1, ДТ2, ДПК и т.д.).

12.3 На функциональной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации (пульта и блока управления, датчиков технологической информации и блока управления и т.д.)

12.4 На пульте управления системой вентиляции предусмотрены:

- индикационные светодиодные лампы с целью индикации состояния системы (режима работы): «Автоматический», «Ручной», «Питание», «Авария», «Открыта заслонка», «Вентилятор», «Открыт клапан горячей воды», «Неисправность привода вентилятора», «Неисправность клапана заслонки», «Неисправность клапана горячей воды», «Неисправность датчиков» и семисегментный индикатор температуры в помещении;
- кнопки управления работой приводов «Пуск», «Стоп», «Включить вентилятор», «Открыть клапан заслонки», «Открыть клапан горячей воды», а также кнопка «Сброс аварии»;
- переключатель режимов работы (Автоматический/Ручной).

Продолжение таблицы 13.1

Количество конфигурируемых входов	—	8
Наименование показателя	Размерность	Величина
Количество конфигурируемых выходов		6
Особенности	—	Часы с датой и временем, LCDдисплей, поддержка русского языка

Конфигурируемые входы и выходы будут задействованы для получения команд с пульта управления и индикацию режимов работы и сигналов аварии.

Для остальных сигналов контроллер имеет специальные входы и выходы, предназначенные для работы с системой вентиляции.

Также данный контроллер предоставляет возможность дальнейшей модернизации системы вентиляции. RegVent PRO позволяет управлять охлаждением помещения и рециркуляцией воздуха. Вариант модификации представлен на рисунке 13.2.



Рисунок 13.1 – Внешний вид RegVent PRO

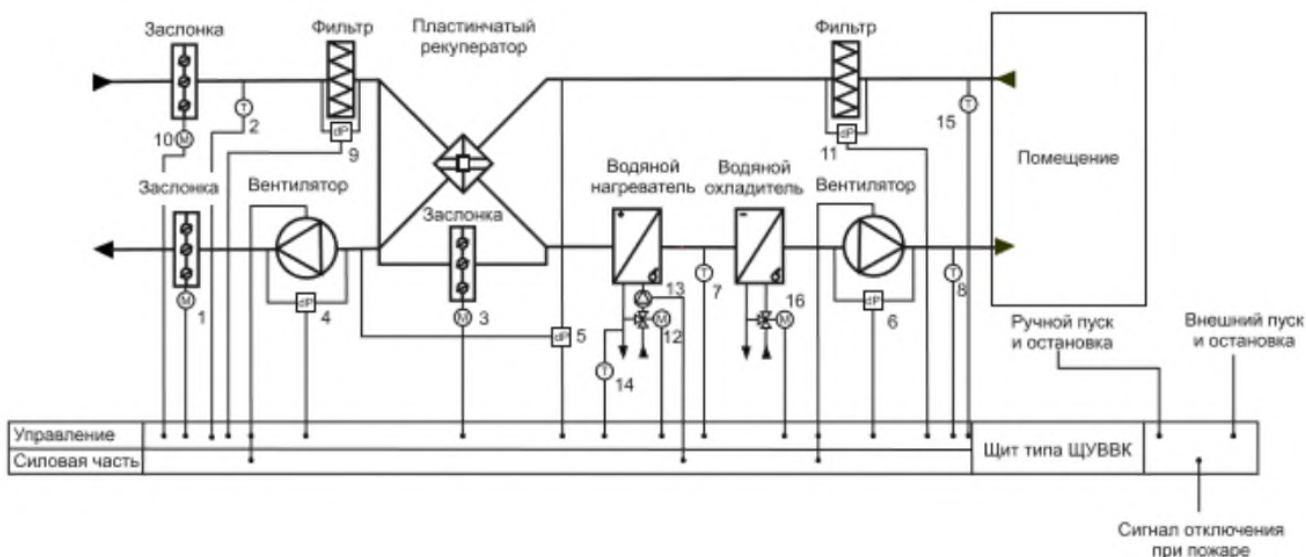


Рисунок 13.2 – Вариант модификации системы вентиляции

13.2 Выбор датчиков температуры

Для контроля температуры в помещении, поступающего воздуха и калорифера необходима установка датчика технологической информации, способного измерять данный параметр.

Нам подходит датчик температуры НТФ50 производителя «REGELTECHNIK» [7]. Характеристики размещены в таблице 13.2, а внешний вид на рисунке 13.3.

Таблица 13.2 – Основные технические параметры НТФ50

Наименование показателя	Размерность	Величина
Диапазоны измерения	°С	-35...+105
Длина кабеля	м	от 1,5 до 10
Измерительный ток	мА	1
Чувствительный элемент, выход	—	Пассивный
Тип подключения	—	Двухпроводное
Степень защиты	—	IP65



Рисунок 13.3 – Внешний вид НТФ50

13.3 Выбор элементов пульта управления

Согласно рисунку 10.1 пульт системы автоматизации предполагает использование следующих элементов:

- Галетный переключатель режимов (Автоматический / Ручной);
- Семисегментный индикатор температуры воздуха в помещении;
- Кнопки управления элементами вентиляции;
- Светодиодные лампы;
- Ключ-выключатель питания.

13.3.1 В качестве переключателя автоматического/ручного режимов установим галетный переключатель RCL371-6-2, имеющий 2 положения [7].



Рисунок 13.4 – Внешний вид переключателя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

47

13.3.2 Для индикации температуры в помещении установим семисегментный индикатор температуры STH0057UG, который связан с датчиком DS18B20 [7].



Рисунок 13.5 – Семисегментный индикатор температуры

13.3.3 В качестве кнопок управления системой вентиляции выберем кнопку MP1-20В без фиксации с алгоритмом работы ON-OFF [7].



Рисунок 13.6 – Внешний вид кнопки MP1-20В

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

48

13.3.4 Для индикации неисправностей и режимов работы системы автоматизации используем светодиодные лампы фирмы «Kingbright». BLFA054MGCK – для зеленых индикаторов, и BLFA054SURCK – для красных.

13.3.5 Запуск системы будет производиться с помощью ключа-выключателя S212Z-2 с алгоритмом работы off-on [7].



Рисунок 13.7 – Внешний вид ключа-выключателя

13.4 Выбор блока питания

Расчет и выбор блока питания необходимо произведем с учетом мощности всех потребителей, питающихся от него.

$$P_{\text{потр}} = U_{\text{К}} \cdot I_{\text{К}} + 11 \cdot U_{\text{инд}} \cdot I_{\text{инд}} + U_{\text{сит}} \cdot I_{\text{сит}} + 3 \cdot U_{\text{дт}} \cdot I_{\text{дт}}; \quad (41)$$

$$P_{\text{потр}} = 24 \cdot 0,1 + 11 \cdot 24 \cdot 1 + 24 \cdot 0,1 + 3 \cdot 24 \cdot 0,001 = 268,8 \text{ Вт.}$$

По полученной мощности выберем блок питания SPV-300-24— AC/DC преобразователь мощностью 300 Вт, производства компании «MeanWell»[7]. Его технические характеристики представлены в таблице 13.3.

Таблица 13.3– Технические характеристики источника питания SPV-300-24

Наименование параметра	Размерность	Значение
Входное напряжение	В	88...264
Выходное напряжение		24

Продолжение таблицы 15

Наименование параметра	Размерность	Значение
Выходная мощность	Вт	300
Выходной ток, до	А	12,5
КПД	%	85



Рисунок 13.8 – Внешний вид блока питания SPV-300-24

14 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

14.1 В соответствии с выбранной элементной базой и разработанной функциональной схемой системы автоматизации (рисунок 13) была составлена принципиальная схема (чертеж ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.02 ЭЗ).

14.2 Автоматический выключатель QF1 обеспечивает питание всей системы, а также осуществляет защиту системы вентиляции от токов короткого замыкания.

С помощью контактора KM1 реализована нулевая защита двигателей, которая исключает самозапуск электродвигателей при исчезновении или резком снижении напряжения питающей сети. При повороте ключ-бирки SA1 подается питание на силовые цепи и на пульт управления, после ее отпускания происходит самоподхват. В случае нажатия кнопки SB1 силовые цепи разрываются.

Автоматический выключатель QF2 обеспечивают питание преобразователя частоты и защищают его от токов короткого замыкания.

Катушки L1 и L2 отвечают за открытие клапана заслонки и открытие клапана горячей воды соответственно.

14.3 Блок питания G1 с выходным напряжением 24 В подает питание на основные низковольтные элементы пульта управления A1, контроллер A2 и датчики SQ1, RK1, RK2 и RK3.

14.4 Пульт A1 обеспечивает управление всем технологическим процессом в ручном и автоматическом режиме, а также индикацию аварийных режимов.

14.5 Автоматизация технологического процесса реализуется программируемым контроллером A2. Входные сигналы поступают с пульта управления A1, датчиков технологической информации SQ1, RK1-RK3, а выходные сигналы подаются на преобразователь частоты, катушки L1, L2 и индикацию пульта управления HL2-HL11.

										Лист
										51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ					

15 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

15.1 На основе логических уравнений, приведенных в пункте 11, а также с учетом подключения входных и выходных цепей к микропроцессорному контроллеру, представленному на электрической принципиальной схеме, создадим программу для управления системой вентиляции.

15.2 Прежде, чем записывать программу, присвоим переменным логических уравнений адреса в соответствие с документацией [8]. Результаты представления переменных в адресах контроллера для входных и выходных сигналов представлены в таблице 15.1.

Таблица 15.1 – Адреса переменных контроллера RegVent PRO

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
Входные сигналы				
1	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	АвтР	IN1	SA2.1
2	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	РучР	IN2	SA2.2
3	Кнопка «Сброс аварии»	СбросА	IN3	SB2
4	Кнопка «Пуск»	Пуск	IN4	SB3
5	Кнопка «Стоп»	Стоп	IN5	SB4
6	Кнопка «Включить вентилятор»	кнПВ	IN6	SB5
7	Кнопка «Открыть клапан заслонки»	кнКЗ	IN7	SB6

Продолжение таблицы 15.1

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
8	Кнопка «Открыть клапан горячей воды»	кнКГВ	IN8	SB7
9	Лампа индикации «Неисправность привода вентилятора»	АврПВ	R5	HL2
10	Лампа индикации «Неисправность клапана заслонки»	АврКЗ	R6	HL3
11	Лампа индикации «Неисправность клапана горячей воды»	АврКГВ	R7	HL4
12	датчик, сигнализирующий о понижении температуры теплоносителя до +20 °С	ДТ1	Тпом	RK1
13	датчик, сигнализирующий о температуре между фильтром и калорифером ниже +3°С	ДТ2	Тпр2	RK2
14	датчик, сигнализирующий о том, что калорифер прогрет	ДПК	Тобр	RK3
15	датчик, сигнализирующий о ночном времени	ДНВ	HL1	—
	Выходные сигналы			
16	Включение привода вентилятора	ПВ	Y5	UZ1

Продолжение таблицы 15.1

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
17	Открытие клапана заслонки	КЗ	Y2	L1
18	Открытие клапана горячей воды	КГВ	Y3	L2
19	Лампа индикации «Авария»	Авария	R1	HL5
20	Лампа индикации «Автоматический режим»	ИндАвт	R2	HL6
21	Лампа индикации «Ручной режим»	ИндРуч	R3	HL7
22	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	АврД	R4	HL8
23	Лампа индикации «Открыта заслонка»	ИндЗО	OU1	HL9
24	Лампа индикации «Вентилятор»	ИндВ	OU2	HL10
25	Лампа индикации «Открыт клапан горячей воды»	ИндКО	OU3	HL11

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

54

15.3 Уравнения с учетом адресации контроллера

Таблица 15.2 – Уравнения в адресации контроллера RegVent PRO

Команда	Уравнения в адресах контроллера
Y5	$Y5 = (IN1 \cdot (T_{обр} + Y5) \cdot \overline{T_{пом}} \cdot \overline{HL1} \cdot \overline{IN5} + IN2 \cdot IN6) \cdot \overline{R1}$
Y2	$Y2 = (IN1 \cdot (Y5 + Y2) \cdot \overline{Y3} \cdot \overline{IN5} + IN2 \cdot IN7) \cdot \overline{R1}$
Y3	$Y3 = (IN1 \cdot (T_{пом} + IN4 + T_{пр2} \cdot HL1 + Y3) \cdot \overline{T_{обр}} \cdot \overline{IN5} + IN2 \cdot IN8) \cdot \overline{R1}$
R1	$R1 = (R5 + R6 + R7 + R4 + R1) \cdot \overline{IN3}$
R2	$R2 = IN1$
R3	$R3 = IN2$
R4	$R4 = T_{пом} \cdot T_{обр} + T_{пр2} \cdot T_{обр}$
OU1	$OU1 = Y2$
OU2	$OU2 = Y5$
OU3	$OU3 = Y3$

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.463.01ПЗ

Лист

55

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом выполнения выпускной квалификационной работы является полностью готовая к работе автоматизированная система вентиляции производственного помещения. Одним из основных компонентов системы является асинхронный короткозамкнутый электродвигатель 4МТКФ(Н)132LB6, находящийся под управлением преобразователя частоты специальной серии АСН580, которая предназначена для использования в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC).

Управление системой реализуется с помощью микропроцессорного многофункционального контроллера RegVent PRO, который, как и преобразователь частоты, разработан для управления системами вентиляции. Установка данного контроллера обусловлена возможностью дальнейшей модернизации системы вентиляции. RegVent PRO позволяет управлять охлаждением помещения и рециркуляцией воздуха (добавляется отток воздуха), что в нашей системе было не обязательно, но при небольшой доработке алгоритма и выборе необходимого оборудования реализация не составит никакого труда.

Для наглядной демонстрации функционирования системы вентиляции построены статические и динамические характеристики, а также разработаны принципиальная и функциональная схемы.

