

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.

Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА  
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»  
ЮУрГУ–13.03.02.2020.512 ВКР**

**Руководитель, Доцент, к.т.н.**

\_\_\_\_\_ / Д.А. Сычев /

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Автор работы,**

**бакалавр группы ПЗ–576**

\_\_\_\_\_ / Е.А. Головин /

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Нормоконтролер, Доцент, к.т.н.**

\_\_\_\_\_ / Т.А. Функ /

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Головин Е.А. Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 79 с., 15 ил., 15 табл., библиографический список – 10 наим., 1 листов чертежей ф. А3

Целью данного выпускного квалификационного проекта является проектирование автоматизированного электропривода конвейера готовой кирпичной продукции. Проект состоит из описания рассматриваемого технологического процесса, расчета и выбора основных элементов электропривода, построения переходных и статических характеристик выбранного привода для разных режимов, проверки по производительности и нагреву выбранного двигателя и преобразователя, составления списка используемых в системе автоматизации сигналов и разработки логических уравнений, связывающих входные и выходные сигналы. По данному алгоритму работы системы составляется функциональная схема автоматизации, отображающая все кинематические и электрические связи между элементами.

Дополнительно в ходе проекта производится выбор составных частей автоматизации, разрабатывается принципиальная схема системы автоматизации.

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.		Головин Е.А.			Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Сычев Д.А.					4	
Реценз						ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
Н. Контр.		Функ Т.А.						
Утверд.		Григорьев М.А.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕПНОГО ТРАНСПОРТЕРА .....	8
1.1 Исходные данные .....	8
1.2 Расчет мощности двигателя .....	11
1.3 Выбор двигателя .....	17
1.4 Выбор редуктора.....	18
1.5 Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя.....	21
1.6 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности .....	21
1.7 Выбор основных элементов силовой цепи.....	24
1.8 Расчет статических характеристик электропривода.....	26
1.9 Расчет параметров схем включения, обеспечивающих пуск и торможение двигателя.....	30
1.10 Расчет переходных процессов электропривода .....	32
1.11 Интегральные показатели переходных процессов .....	35
1.11.1 Проверка на перегрузочную способность .....	35
1.11.2 Проверка по нагреву двигателя и преобразователя .....	35
1.11.3 Проверка по нагреву преобразователя .....	36
1.11.4 Расчет энергетических показателей электропривода .....	37
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1 .....	38
2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИИ .....	39
2.1 Составление списка сигналов системы автоматизации .....	41
2.2 Разработка алгоритма автоматизации управления механизмами объекта .....	45
2.3 Разработка функциональной схемы автоматизации.....	48
2.4 Выбор элементной базы автоматизации .....	49
2.5 Разработка схемы электрической принципиальной .....	52

2.6 Разработка программного обеспечения .....	53
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2 .....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	60
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	61
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	62

## ВВЕДЕНИЕ

Целью данного выпускного квалификационного проекта является разработка автоматизированного электропривода конвейера готовой кирпичной продукции. Для достижения данной цели был описан полный технологический процесс, был выбран двигатель, который удовлетворяет требуемому режиму работы и подходит по расчетной мощности, а также проходит проверки по нагреву и производительности. Преобразователь частоты выбирается на основании технических характеристик и каталожных данных выбранного ранее двигателя. Затем проведен расчет естественных и искусственных механических, а также переходных и динамических характеристик в режимах разгона и торможения.

В дополнение к расчету электропривода, была разработана система автоматизации, выбрана необходимая для функционирования элементная база. На основе описания технологического процесса разработаны уравнения работы схемы. На заключительном этапе проектирования была составлена принципиальная электрическая схема механизма.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

# 1 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕПНОГО ТРАНСПОРТЕРА

## 1.1 Исходные данные

Цепной транспортер служит для передачи поддона кирпича по направляющим с рольганга 2 на рольганг 6. Движение поддона обеспечивается с помощью упоров 3, закрепленных на цепях 5, натянутых между звездочками ведущего 7 и ведомого 1 валов.

В исходном положении упоры располагаются за рольгангом 2. После подачи поддона и остановки рольганга 2 включается двигатель 10, транспортер разгоняется, зацепляет поддон и перемещает его на рабочей скорости  $v_p$  к рольгангу 6. После достижения поддоном рольганга 6 транспортер реверсируется и на скорости возврата  $v_B > v_p$  возвращается в исходное положение.

На рисунке 1.1 показана кинематическая схема цепного транспортера.

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ				

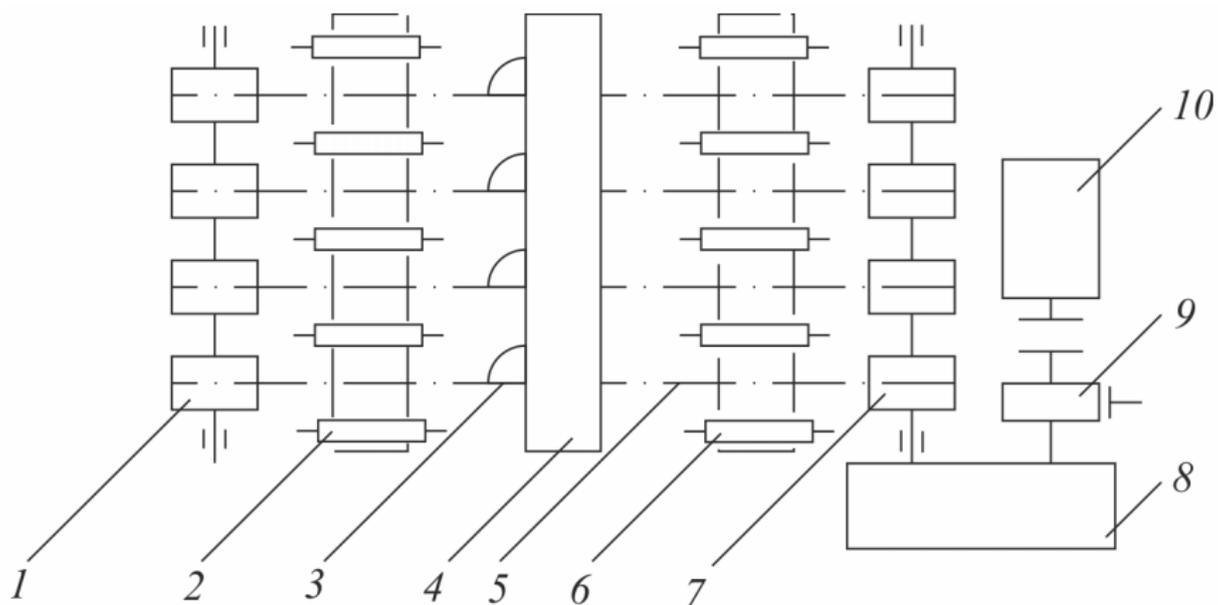


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема цепного транспортера, где:

- 1 – ведомый вал со звездочками;
- 2 и 6 – рольганги;
- 3 – упор;
- 4 – поддон;
- 5 – цепь;
- 7 – ведущий вал со звездочками;
- 8 – тормозной шкив;
- 9 – редуктор;
- 10 – электродвигатель.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

Лист

9

В Таблице 1.1 представлены технические данные цепного транспортера, необходимые для расчетов.

Таблица 1.1 – Технические данные цепного транспортера

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Масса вала	$m_B$	т	10
Масса поддона	$m_3$	т	2
Длина перемещения	$L$	м	10
Скорость рабочего хода	$v_P$	м/с	0,7
Скорость возвратного движения	$v_B$	м/с	1,05
Допустимое ускорение	$a_{\text{доп}}$	м/с <sup>2</sup>	1
Число циклов	$z$	1/ч	60
Диаметр звездочки	$D$	м	0,5
Момент инерции вала	$J_P$	кг·м <sup>2</sup>	100
Диаметр шейки вала	$d_{\text{СТ}}$	м	0,125
Коэффициент трения скольжения в подшипниках	$\mu_{\text{П}}$	-	0,02
Коэффициент трения скольжения по направляющим	$\mu_{\text{С}}$	-	0,02

## 1.2 Расчет мощности двигателя

Время пуска  $t_n$  до установившейся скорости с допустимым ускорением, торможения  $t_m$  от установившейся скорости до остановки:

$$t_{n1} = t_{m1} = \frac{v_p}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,7}{1} = 0,7 \text{ с}; \quad (1)$$

$$t_{n2} = t_{m2} = \frac{v_B}{a_{\text{доп}}} = \frac{1,05}{1} = 1,05 \text{ с}. \quad (2)$$

Путь, проходимый за время пуска (торможения) рабочей машиной:

$$L_{n1} = L_{m1} = \frac{v_p^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}} = \frac{0,7^2}{2 \cdot 1} = 0,245 \text{ м}; \quad (3)$$

$$L_{n2} = L_{m2} = \frac{v_B^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}} = \frac{1,05^2}{2 \cdot 1} = 0,55 \text{ м}. \quad (4)$$

Время установившегося режима движения со скоростью  $v_p$  ( $v_B$ ):

$$t_p = \frac{L - (L_{n1} + L_{m1})}{v_p} = \frac{10 - (0,245 + 0,245)}{0,7} = 13,6 \text{ с}; \quad (5)$$

$$t_p = \frac{L - (L_{n2} + L_{m2})}{v_B} = \frac{10 - (0,55 + 0,55)}{1,05} = 8,47 \text{ с}. \quad (6)$$

Статические моменты сопротивления движению в рабочих машинах создаются силами трения скольжения в подшипниках, силами трения скольжения по направляющей.

Момент сил трения в подшипниках качения ведущего вала со звездочками при перемещении поддона:

$$\begin{aligned} M_{\text{тр1}} &= \frac{(m_B + m_3) \cdot d_{\text{ст}} \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2} = \\ &= \frac{(10000 + 2000) \cdot 0,125 \cdot 0,02 \cdot 9,8}{2} = 147 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned} \quad (7)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Момент сил трения в подшипниках качения ведомого вала со звездочками:

$$M_{\text{тп2}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot d_{\text{ст}} \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2} = \frac{10000 \cdot 0,125 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 122,6 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (8)$$

Момент сил трения скольжения тела по горизонтальной плоскости:

$$M_{\text{тс}} = \frac{m_{\text{з}} \cdot D \cdot \mu_{\text{с}} \cdot g}{2} = \frac{2000 \cdot 0,5 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 98,1 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (9)$$

При возвратном движении, возвращении транспортера в исходное положение и отсутствии поддона:  $M_{\text{тс}} = 0$ .

При перемещении поддона:

$$M_{\text{рост1}} = M_{\text{тс}} + M_{\text{тп1}} + M_{\text{тп2}} = 98,1 + 147 + 122,6 = 367,7 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (10)$$

При возвращении в исходное положение:

$$M_{\text{рост2}} = M_{\text{тс}} + M_{\text{тп2}} = 0 + 122,6 = 122,6 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (11)$$

Моменты инерции рабочего органа при движении с поддоном:

$$J_{\text{ро1}} = J_{\text{р}} + \frac{m_{\text{з}} \cdot D^2}{4} = 100 + \frac{2000 \cdot 0,5^2}{4} = 225 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (12)$$

При движении назад без поддона:

$$J_{\text{ро2}} = J_{\text{р}} = 100 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (13)$$

Динамические моменты при разгоне и торможении с поддоном:

$$M_{\text{родин1}} = J_{\text{ро1}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D} = 225 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,5} = 900 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (14)$$

Разгон и торможение без поддона:

$$M_{\text{родин2}} = J_{\text{ро2}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D} = 100 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,5} = 400 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (15)$$

Полный момент рабочей машины находится по формуле:

$$M_{\text{ро}} = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин}}. \quad (16)$$

Значения статических моментов, моментов инерции, полного момента рабочей машины для каждого участка движения сведены в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 - Данные рабочего органа РО по участкам движения

Участок движения		С грузом			Без груза		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Уст. режим	Торможение	Пуск	Уст. режим	Торможение
Скорость, м/с	$v_{po}$		0,7			-1,05	
Время работы, с	$t_{po}$	0,7	13,6	0,7	1,05	8,47	1,05
Путь, м	$L_{po}$	0,245	9,51	0,245	0,55	8,9	0,55
Моменты РО, Нм							
трения скольжения в подшипниках	$M_{тп}$	269,6			122,6		
трения скольжения по гор. плоскости	$M_{тс}$	98,1			0		
Статический момент, Нм	$M_{рост}$	367,7			122,6		
Момент инерции, кгм <sup>2</sup>	$J_{рост}$	225			100		
Динамический момент, Нм	$M_{родин}$	900	-	900	400	-	400
Суммарный момент, Нм	$M_{po}$	1267,7	367,7	-532,3	-522,6	-122,6	277,4

Полученные значения моментов показаны на нагрузочных диаграммах рабочего органа на рисунке 1.2.

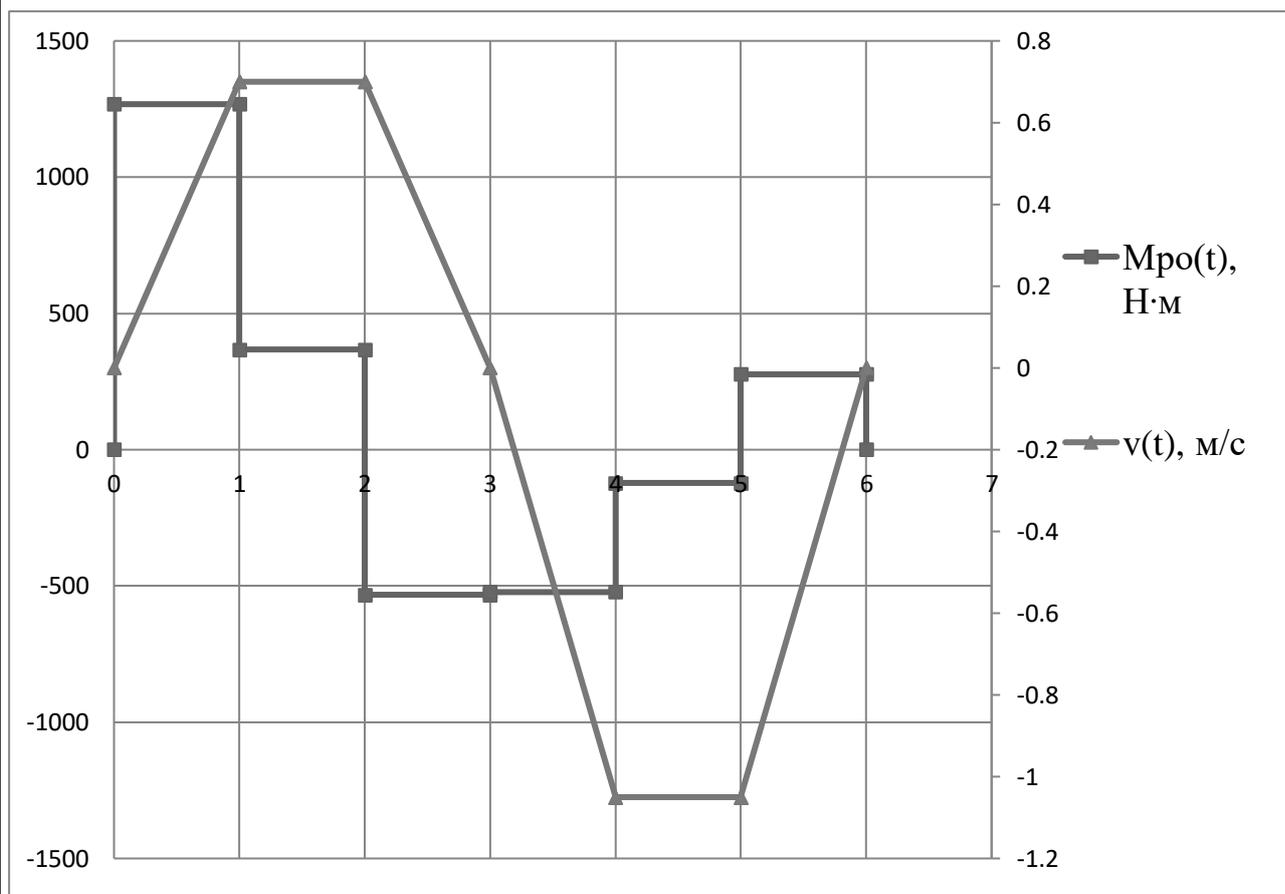


Рисунок 1.2 – Нагрузочные диаграммы скорости и моментов рабочего органа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

Лист

14

Рассчитаем среднеквадратическое значение момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}. \quad (17)$$

где  $M_k$  – момент двигателя на  $k$ -м участке, Н·м;

$t_k$  – длительность  $k$ -го участка, с.

Подставив числовые значения, получим:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{1267,7^2 \cdot 0,7 + \dots + (-277,4)^2 \cdot 1,05}{0,7 + 13,6 + 0,7 + 1,05 + 8,47 + 1,05}} = \sqrt{\frac{3656924,5}{25,57}} = 378,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мощность двигателя может быть определена по формуле:

$$P_{\text{дв}} = k_1 \cdot M_{\text{сркв}} \cdot \frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{факт}}}{ПВ_{\text{кат}}}}, \quad (18)$$

где  $k_1$  – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электродвигателя (двигатель, редуктор), а также потери мощности в редукторе,  $k_1 = 1,5$ ;

$ПВ_{\text{факт}}$  – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электродвигателя;

$ПВ_{\text{кат}}$  – ближайшее к  $ПВ_{\text{факт}}$  каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателя выбранной серии.

Фактическое значение относительной продолжительности включения  $ПВ_{\text{факт}}$  рассчитываем, зная длительность работы  $t_k$  на всех  $m$  участках движения и заданное время цикла:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z}, \quad (19)$$

где  $z$  – число циклов работы в час.

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{60} = 60 \text{ с};$$

$$ПВ_{\text{факт}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \cdot \sum_{k=1}^m t_k \cdot 100\% = \frac{25,57}{60} \cdot 100\% = 42,6 \%. \quad (20)$$

Расчетная мощность двигателя при ближайшем  $ПВ_{\text{кат}} = 40\%$

$$P_{\text{дв}} = 1,5 \cdot 378,1 \cdot \frac{2 \cdot 0,7}{0,5} \cdot \sqrt{\frac{42,6}{40}} = 1638,8 \text{ Вт.}$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

### 1.3 Выбор двигателя

Расчетная мощность двигателя из предыдущего пункта при  $PВ_{кат}=40\%$

$$P_{дв} = 1638,8 \text{ Вт.}$$

Из асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором выбираем двигатель краново-металлургической серии 4МТКF(H)112L6. Основным режимом работы которого является повторно-кратковременный режим.  $PВ=40\%$ . Каталожные данные двигателя сведены в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Номинальные данные двигателя 4МТКF(H)112L6

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Номинальная мощность на валу	$P_n$	кВт	2,2
Номинальная частота вращения	$n_n$	об/мин	880
Номинальный ток статора	$I_{1n}$	А	6,8
Коэффициент мощности в номинальном режиме	$\cos\varphi_n$	-	0,73
Пусковой ток	$I_n$	А	22,7
Пусковой момент	$M_n$	Н · м	62
Максимальный (критический) момент	$M_{макс}$	Н · м	64
Активное сопротивление фазной обмотки статора	$r_1$	Ом	2,97
Ток холостого хода в номинальном режиме	$I_0$	Ом	4,81
Активное сопротивление короткого замыкания	$R_{кз}$	Ом	9,66
Индуктивное сопротивление короткого замыкания	$X_{кз}$	Ом	5,87
Коэффициент приведения сопротивлений	$kr$	-	5,9
Момент инерции двигателя	$J_{дв}$	кг · м <sup>2</sup>	0,035

## 1.4 Выбор редуктора

Передаточное число редуктора определяется по номинальной скорости вращения выбранного двигателя и основной скорости движения исполнительного органа по формуле (21):

$$i_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_o} \quad (21)$$

где  $D$  – диаметр колеса, находящегося на выходном валу редуктора и преобразующего вращение вала в поступательное движение исполнительного органа рабочей машины, м;

$v_o$  – основная скорость движения исполнительного органа.

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_n = \frac{n_n}{9,55} = \frac{880}{9,55} = 92,15 \text{ рад/с.} \quad (22)$$

В соответствии с формулой (21):

$$i_p = \frac{92,15 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,7} = 32,9.$$

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 1.4.

Таблица 1.4 – Характеристики редуктора Ц2-300

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Передаточное число редуктора	$i_p$	-	31,5
Частота вращения входного вала	$n_{вр}$	Об/мин	$\leq 1500$
Номинальный крут. момент на выходном валу	$M_T$	Н · м	1200
Коэффициент полезного действия	$\eta_p$	%	96

## 1.5 Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя

Статические моменты и моменты инерции РО приведены в таблице 2 и продублированы в таблице 5. Выбран редуктор с передаточным числом  $i_p = 31,5$  и коэффициентом полезного действия  $\eta_p = 0,96$ .

Установившаяся скорость двигателя:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot i_p \cdot v_{po}}{D} = \frac{2 \cdot 31,5 \cdot 0,7}{0,5} = 88,2 \text{ рад/с.} \quad (23)$$

Статические моменты рабочей машины, приведенные к валу двигателя, без учета потерь в редукторе ( $\eta_p = 1$ ), при движении с поддоном:

$$M_{пр1} = \frac{M_{рост1}}{i_p} = \frac{367,7}{31,5} = 11,6 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (24)$$

При движении без поддона:

$$M_{пр2} = \frac{M_{рост2}}{i_p} = \frac{122,6}{31,5} = 3,9 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (25)$$

Статические моменты на валу с учетом потерь в редукторе ( $\eta_p = 0,96$ ), в двигательных режимах:

$$M_{вс1} = \frac{M_{пр1}}{\eta_p} = \frac{11,6}{0,96} = 12,1 \text{ Н} \cdot \text{м;} \quad (26)$$

$$M_{вс2} = \frac{M_{пр2}}{\eta_p} = \frac{3,9}{0,96} = -4,1 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (27)$$

В тормозных режимах:

$$M_{вс1т} = M_{пр1} \cdot \eta_p = 11,6 \cdot 0,96 = 11,6 \text{ Н} \cdot \text{м;} \quad (28)$$

$$M_{вс2т} = M_{пр2} \cdot \eta_p = 3,9 \cdot 0,96 = -3,7 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (29)$$

Потери момента холостого хода:

$$\Delta M_x = \frac{\Delta P_H}{3\omega_H} = \frac{3 \cdot U_{1H} \cdot I_{1H} \cdot \cos\varphi_H - P_H}{3 \cdot n_H / 9,55} = \frac{3 \cdot 220 \cdot 6,8 \cdot 0,73 - 2200}{3 \cdot 880 / 9,55} = 3,9 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (30)$$

В двигательных режимах:

$$M_{c1} = M_{bc1} + \Delta M_x = 12,1 + 3,9 = 16 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (31)$$

$$M_{c2} = M_{bc2} + \Delta M_x = -4,1 - 3,9 = -8 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (32)$$

В тормозных режимах:

$$M_{c1T} = M_{bc1T} - \Delta M_x = 11,6 - 3,9 = 7,7 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (33)$$

$$M_{c2T} = M_{bc2T} - \Delta M_x = -3,7 - (-3,9) = 0,2 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (34)$$

Приведенный к валу двигателя момент инерции РО при движении с поддоном:

$$J_{пр1} = \frac{J_{рост1}}{i_P^2} = \frac{225}{31,5^2} = 0,226 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (35)$$

Без поддона:

$$J_{пр2} = \frac{J_{рост2}}{i_P^2} = \frac{100}{31,5^2} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (36)$$

Момент инерции электропривода:

$$J_1 = \delta \cdot J_{дв} + J_{ш} + J_{пр1} = 1,5 \cdot 0,035 + 0,226 = 0,27 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad (37)$$

$$J_2 = \delta \cdot J_{дв} + J_{ш} + J_{пр2} = 1,5 \cdot 0,035 + 0,1 = 0,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (38)$$

Динамический момент при движении с поддоном:

$$M_{дин1} = J_1 \cdot a_{доп} \cdot i_P \cdot \frac{2}{D} = 0,27 \cdot 1 \cdot 31,5 \cdot \frac{2}{0,5} = 34 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (39)$$

При движении без поддона:

$$M_{дин2} = J_2 \cdot a_{доп} \cdot i_P \cdot \frac{2}{D} = 0,15 \cdot 1 \cdot 31,5 \cdot \frac{2}{0,5} = 18,9 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (40)$$

Пусковой и тормозной моменты при движении с поддоном с допустимым ускорением:

$$M_{п1} = M_{c1} + M_{дин1} = 16 + 34 = 50 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (41)$$

$$M_{т1} = M_{c1} - M_{дин1} = 7,7 - 34 = -26,3 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (42)$$





Двигатель проходит по нагреву. Нельзя использовать двигатели с меньшей мощностью, так как они не проходят по нагреву.

Таблица 1.5 – Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя

Участок движения		Рабочий ход			Обратный ход		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Уст. режим	Торможение	Пуск	Уст. режим	Торможение
1	2	3	4	5	6	7	8
По данным таблицы 1.2							
Скорость РО, м/с	$v_{po}$		0,7			-1,05	
Статический момент РО, Нм	$M_{рост}$	367,7			122,6		
Момент инерции РО, кгм <sup>2</sup>	$J_{рост}$	225			100		
Приведение к валу двигателя ( $i_p = 31,5$ , $\eta_p = 0,96$ )							
Скорость двигателя, рад/с	$\omega_c$		88,2			132,3	
Момент статический, Нм:							
без учета потерь в передаче	$M_{пр}$	11,6			3,9		
с учетом потерь	$M_{вс}$	12,1	12,1	11,6	-4,1	-4,1	-3,7
с учетом потерь холостого хода двигателя	$M_c$	16	16	7,7	-8	-8	0,2
Приведенный момент инерции, кгм <sup>2</sup>	$J_{пр}$	0,226			0,1		
Момент инерции электропривода, кгм <sup>2</sup>	$J$	0,27			0,15		
Динамический момент, Нм	$M_{дин}$	34	—	-34	-18,9	—	18,9
Момент двигателя, допускаемый по ускорению, Нм	$M_{доп}$	50	16	-26,3	-26,9	-8	19,1
Данные предварительного расчета							
Момент двигателя средний на участке, Нм	$M_{ср}$	50	16	-26,3	-26,9	-8	19,1
Время работы, с	$t_b$	0,7	13,6	0,7	1,05	8,47	1,05
Угол поворота вала двигателя, рад	$\alpha_b$	30,9	1198,2	30,9	-69,5	-1121	-69,5

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

Лист

23

## 1.7 Выбор основных элементов силовой цепи

Выбор преобразователя осуществляется на основании номинальных данных предварительно выбранного двигателя:

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

$$I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{н}}.$$

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 преобразователь частоты фирмы «Mitsubishi» *FR-D740-080-E11*. Его характеристики сведены в таблицу 6.

Серия преобразователей частоты *FR-D700* отличается простотой эксплуатации, надежностью и компактными габаритами. Имеют упрощенный электромонтаж благодаря использованию пружинных клемм, встроенный пульт управления с принципиально новой идеологией доступа к параметрам, увеличенный момент в области низких частот вращения, встроенную функцию аварийного отключения и функцию безопасного останова. Основные области применения: насосы, вентиляторы, прессы, конвейеры, промышленные стиральные машины, автоматизированные стеллажные системы и др.

Таблица 1.6 – Характеристики преобразователя *FR-D740-080-E11*

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания, В	Трехфазное ~380-480
Ном. мощность электродвигателя, кВт	3,7
Ном. ток нагрузки, А	8
Выходная частота, Гц	0,2...400
Перегрузка в течение 1 минуты, %	150

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 *Scheider Electric* типа *A0251 C60N 24349*, у которого  $I_{AB} = 10 \text{ A}$ ,  $U_{AB} = 220 \text{ В}$ .

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

## 1.8 Расчёт статических характеристик электропривода

Синхронная скорость вращения  $\omega_{0H}$ :

$$\omega_{0H} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,72. \quad (58)$$

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

Номинальный момент на валу  $M_H$ :

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}; \quad (59)$$
$$M_H = \frac{2200}{92,15} = 23,88 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный электромагнитный момент:

$$M_{\text{эмн}} = \frac{3 \cdot U_{1H} \cdot I_{1H} \cdot \cos\varphi - 3 \cdot I_{1H}^2 \cdot r_1}{\omega_{0H}}; \quad (60)$$
$$M_{\text{эмн}} = \frac{3 \cdot 220 \cdot 6,8 \cdot 0,73 - 3 \cdot 6,8^2 \cdot 2,97}{104,72} = 27,35 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное относительное скольжение:

$$S_H = \frac{\omega_{0H} - \omega_H}{\omega_{0H}}; \quad (61)$$
$$S_H = \frac{104,72 - 92,15}{104,72} = 0,12.$$

Критическое скольжение:

$$S_k = S_H \cdot (\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1}). \quad (62)$$

где  $\mu_k$  – перегрузочная способность асинхронного двигателя.

$$\mu_k = \frac{M_k}{M_H}; \quad (63)$$

$$\mu_k = \frac{M_k}{M_H} = \frac{64}{23,88} = 2,68;$$

$$S_k = 0,12 \cdot \left( 2,68 + \sqrt{2,68^2 - 1} \right) = 0,62.$$

В выбранной системе электропривода ПЧ-АД требуется определить частоту  $f_1$  и напряжение на статоре  $U_1$ , при которых механические характеристики будут проходить через точки установившихся режимов. Напряжение на статоре определяется законом  $U_1/f_1 = \text{const}$ .

Таблица 1.7 – Расчетные параметры для работы в заданных точках

Расчетные параметры/ Участок работы		С поддоном	Без поддона
		2	5
Заданные точки			
$\omega_{\text{зад}}$	Рад/с	88,2	-132,3
	О.е.	0,84	1,26
$M_c$	Н · м	15,2	8
	О.е.	0,64	0,33
Расчетные данные			
$\omega_{0\text{зад}}$	О.е.	0,916	1,3
	Рад/с	95,9	136,1
$f_1$	О.е.	0,916	1,3
	Гц	45,8	65
$U_1$	О.е.	0,916	1,3
	В	201,5	220

Синхронная скорость:

$$\omega_{0зад} = \omega_{зад} + \Delta\omega_{ест} = \omega_{зад} + M_{зад} \cdot S_H. \quad (64)$$

Участок 2:

$$\omega_{0зад} = 0,84 + 0,64 \cdot 0,12 = 0,916.$$

Участок 5:

$$\omega_{0зад} = 1,26 + 0,33 \cdot 0,12 = 1,3;$$

$$\omega_{0зад} = \omega_{0зад} \cdot \omega_{0н}. \quad (65)$$

Участок 2:

$$\omega_{0зад} = 0,916 \cdot 104,72 = 95,9 \text{ рад/с.}$$

Участок 5:

$$\omega_{0зад} = 1,3 \cdot 104,72 = 136,1 \text{ рад/с.}$$

Частота и напряжение на статоре при  $U_1/f_1 = \text{const}$ :

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1н}} = \omega_{0зад}; \quad (66)$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1н}; \quad (67)$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1н}. \quad (68)$$

Участок 2:

$$\alpha = f_1/f_{1н} = \omega_{0зад} = 0,916;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1н} = 0,916 \cdot 50 = 45,8 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1н} = 0,916 \cdot 220 = 201,5 \text{ В.}$$

Участок 5:

$$\alpha = f_1/f_{1н} = \omega_{0зад} = 1,3;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1н} = 1,3 \cdot 50 = 65 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1н} = 1,3 \cdot 220 = 286 \text{ В.}$$

На рисунке 1.4 представлена естественная характеристика. На рисунках 1.5 и 1.6 представлены искусственные характеристики при движении с поддоном и без поддона соответственно.

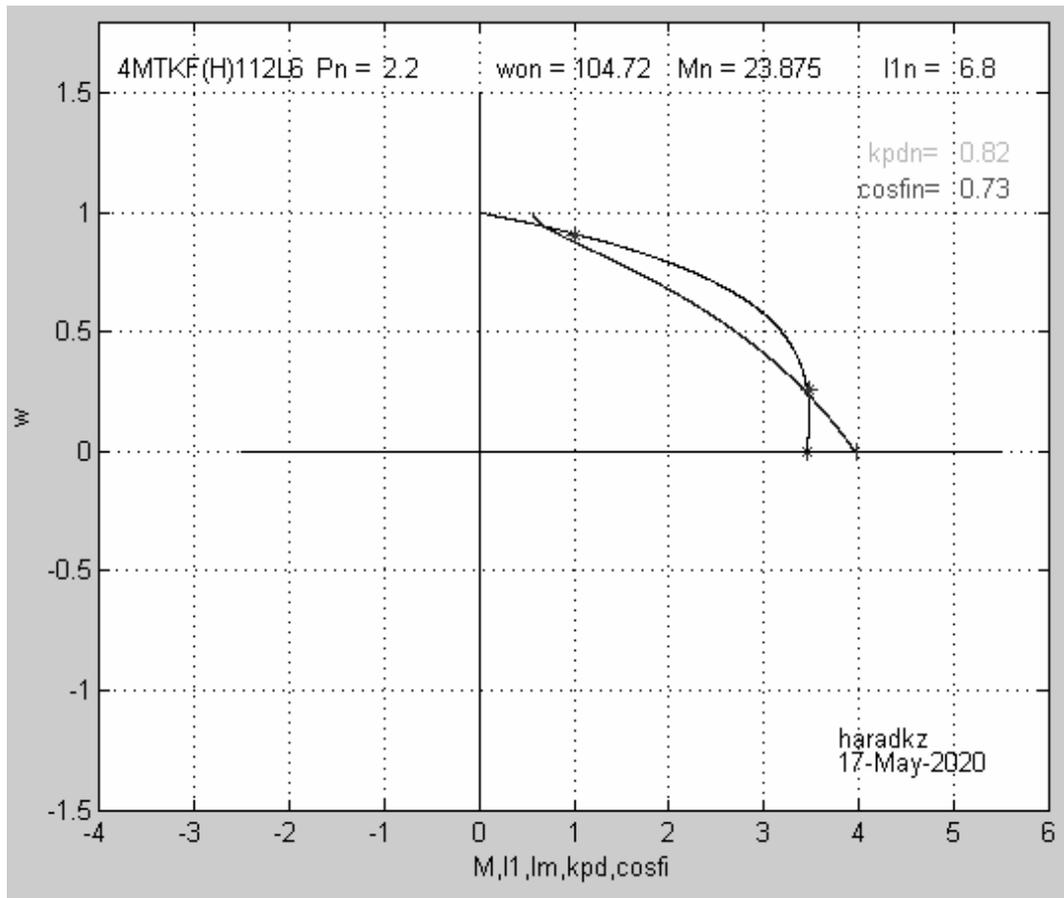


Рисунок 1.3 – Естественная характеристика

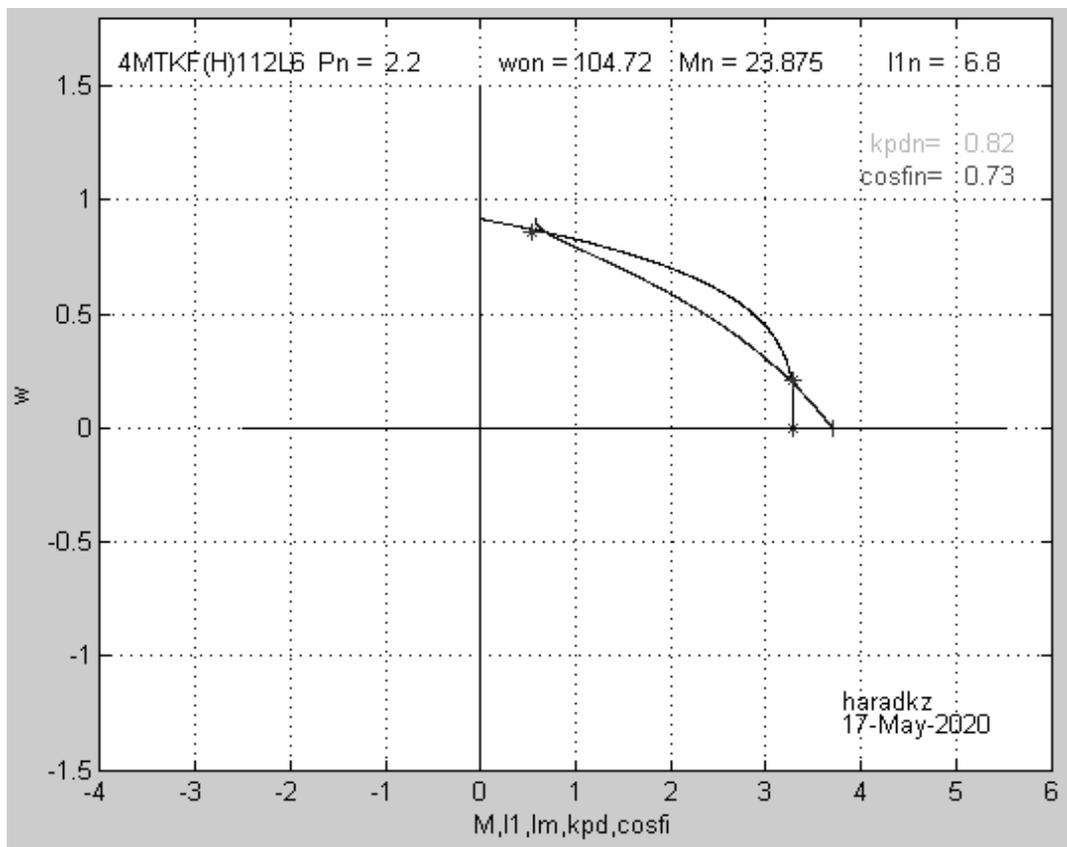


Рисунок 1.4 – Искусственная характеристика при движении с поддоном

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

Лист

29

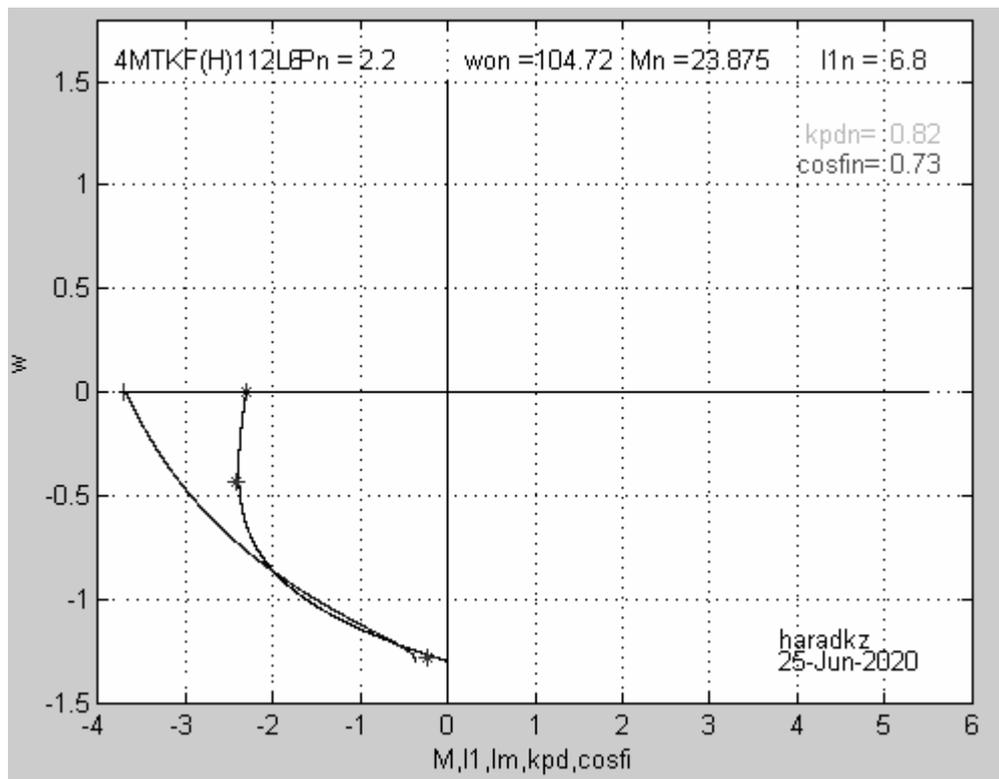


Рисунок 1.5 – Искусственная характеристика при движении без поддона

### 1.9 Расчет параметров схем включения, обеспечивающих пуск и торможение двигателя

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  $U_{З\text{АД}}$  изменяется по линейному закону. При достижении величины  $U_{З\text{АД}}$  нарастание напряжения на выходе ЗИ прекращается. Выходное напряжение ЗИ, таким образом, является управляющим напряжением преобразователя, а величина  $U_{З\text{АД}}$  определяется величиной базовой постоянной времени ЗИ  $T_{\text{ЗИ}}$  численно равной времени достижения выходного напряжения преобразователя от 0 до базового значения  $U_{\text{Н}}$ .

Базовая постоянная задатчика интенсивности:

$$T_{\text{ЗИ}} = \frac{J \cdot \omega_{\text{ОН}}}{M_{\text{ДИН}}} \quad (69)$$

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

Участок 1. Пуск вперед:

$$T_{\text{ЗИ1}} = \frac{0,23 \cdot 104,72}{28,9} = 0,833.$$

Участок 3. Торможение до полной остановки:

$$T_{\text{ЗИ3}} = \frac{0,23 \cdot 104,72}{28,9} = 0,833.$$

Участок 4. Пуск назад:

$$T_{\text{ЗИ4}} = \frac{0,15 \cdot 104,72}{18,9} = 0,831.$$

Участок 6. Торможение до полной остановки:

$$T_{\text{ЗИ6}} = \frac{0,15 \cdot 104,72}{18,9} = 0,831.$$

## 1.10 Расчет переходных процессов электропривода

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

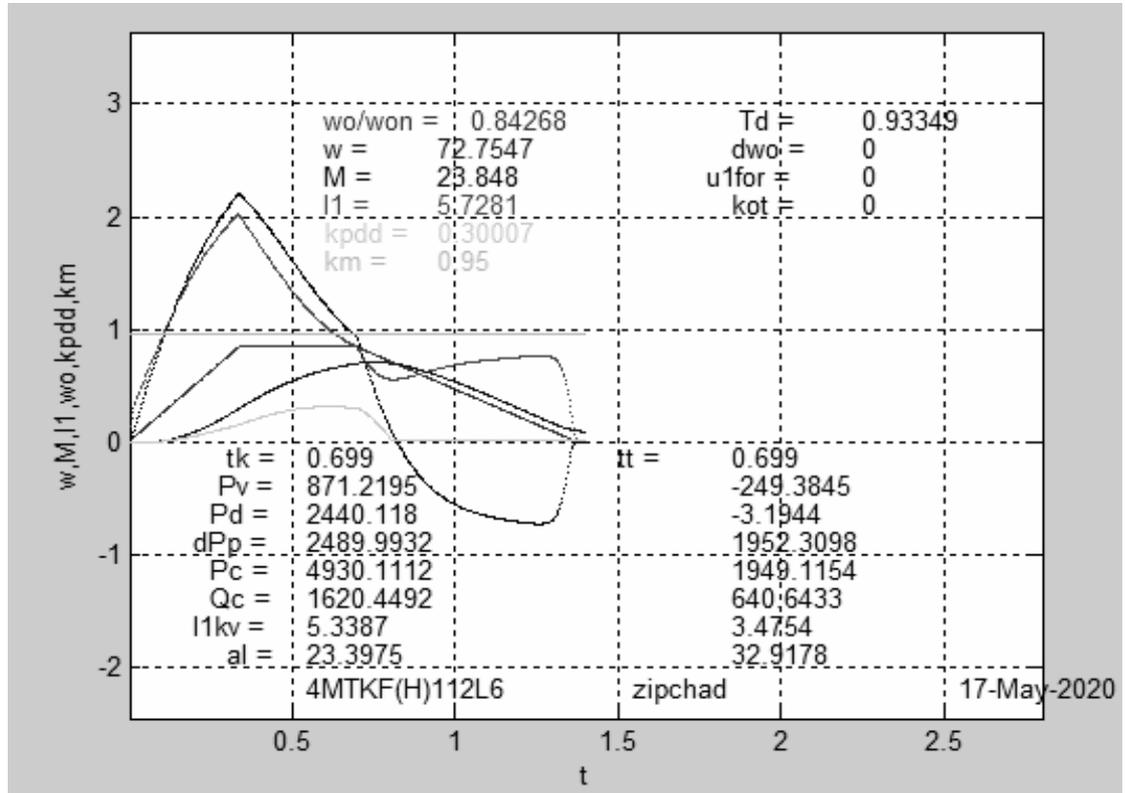


Рисунок 1.6 – Переходные процессы пуска и торможения с поддоном  
(0 -  $V_p$ ,  $V_p$  - 0)

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

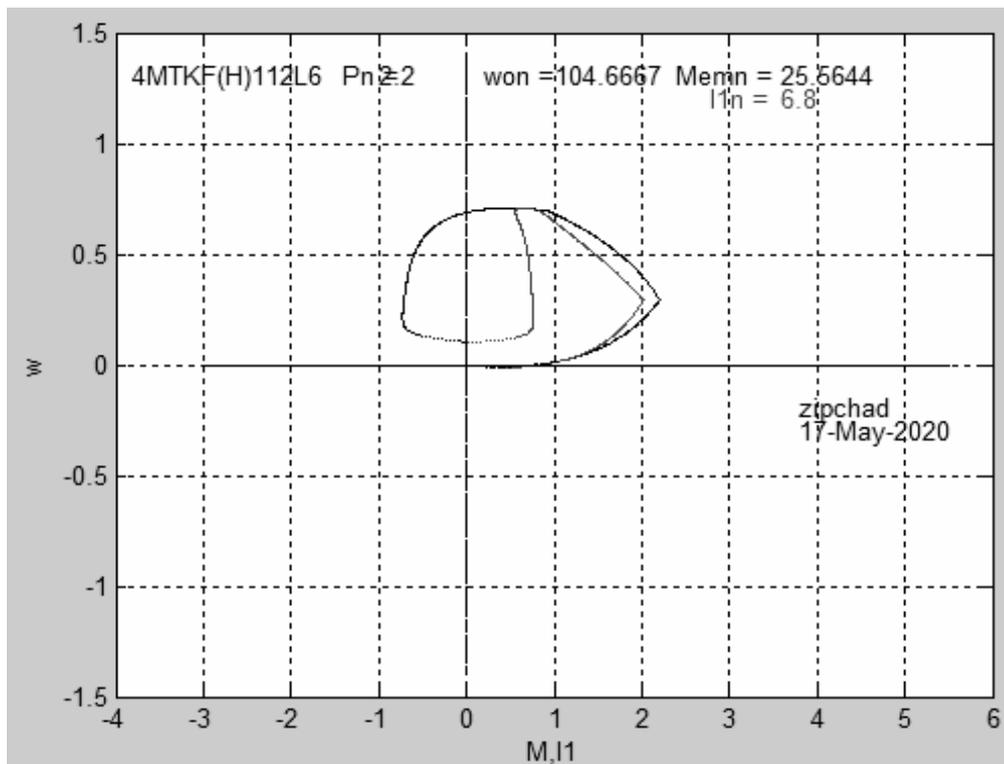


Рисунок 1.7 – Зависимость  $\omega_{\text{он}}$  от  $M, I$  при движении с поддоном ( $0-V_p, V_p - 0$ )

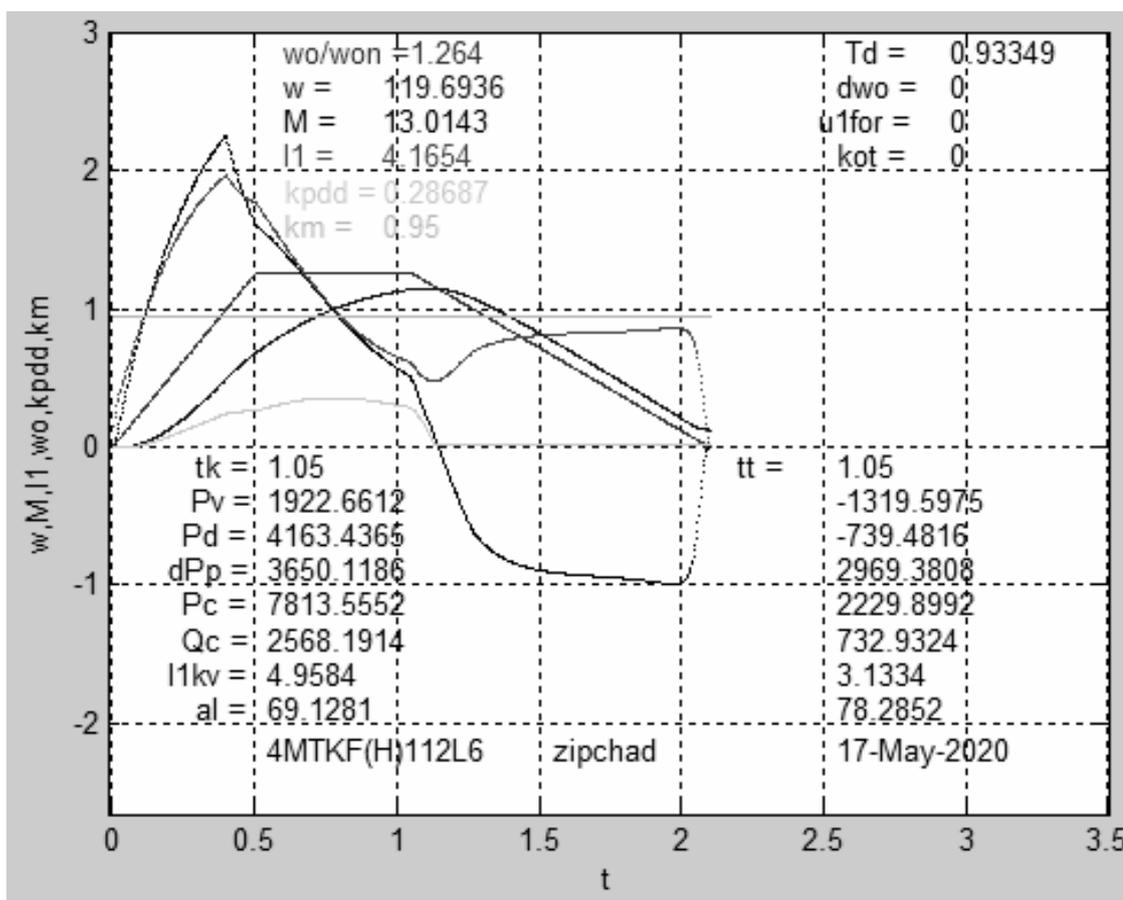


Рисунок 1.8 – Переходные процессы пуска и торможения при движении без поддона ( $0-V_p, V_p - 0$ )

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

Лист

33

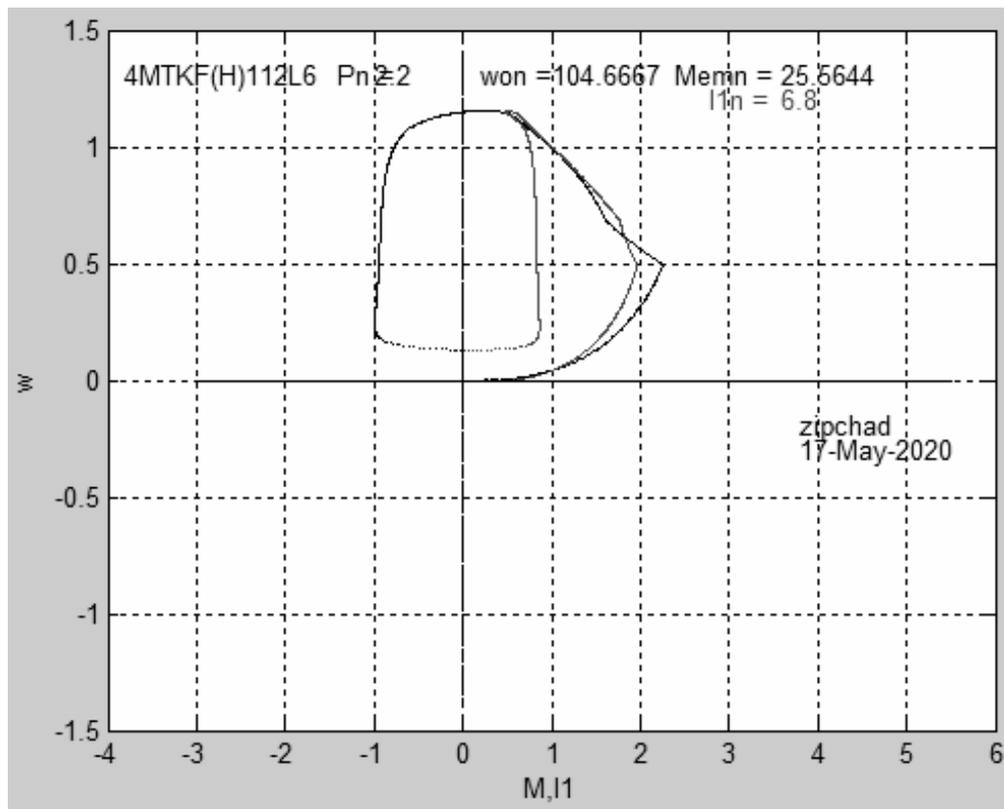


Рисунок 1.9 – Зависимость  $\omega_{он}$  от  $M, I$  при движении без поддона ( $0 - V_p, V_p - 0$ )



Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывается коэффициентом ухудшения теплоотдачи  $\beta_i$ , которому, в зависимости от скорости вращения, можно присвоить значения из таблицы 1.9.

Таблица 1.9 – Рекомендуемые значения коэффициента ухудшения условий охлаждения двигателя

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

Рассчитаем эквивалентный ток:

$$I_{\Theta} = \sqrt{\frac{5,3^2 \cdot 0,7 + 3,4^2 \cdot 0,7 + 4,9^2 \cdot 1,05 + 3,1^2 \cdot 1,05}{0,7 \cdot 1 + 0,7 \cdot 1 + 1,05 \cdot 1 + 1,05 \cdot 1}} = 4,24 \text{ А.}$$

Допустимый по нагреву ток двигателя:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{КАТ}}}{\text{ПВ}_{\text{ФАКТ}}}} = 6,8 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{0,426}} = 6,6 \text{ А.}$$

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

### 1.11.3 Проверка по нагреву преобразователя

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

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{1}{t_p} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}. \quad (72)$$

На рисунках 1.6 и 1.8 приведены значения среднеквадратичного тока  $I_{KV}$  за время пуска  $t_k$ , за время торможения  $t_t$  и за время установившегося режима.

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{5,3^2 \cdot 0,7 + 3,4^2 \cdot 0,7 + 4,9^2 \cdot 1,05 + 3,1^2 \cdot 1,05}{25,57}} = 1,57 \text{ А.}$$

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

#### 1.11.4 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 рисунки 1.6 и 1.8. Тогда получим следующие выражения для различных видов энергии.

Механическая энергия за цикл:

$$P_{\text{вц}} = 871,2 - 249,3 + 1922,6 - 1319,6 = 1224,9 \text{ Вт.}$$

Активная энергия из сети за цикл:

$$P_{\text{сц}} = 493 + 194,9 + 781,3 + 222,9 = 1692,1 \text{ Вт.}$$

Реактивная энергия за цикл:

$$Q_{\text{сц}} = 162 + 640,6 + 256,8 + 732,9 = 1792,3 \text{ Вт.}$$

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

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{вц}}}{P_{\text{сц}}} = \frac{1224,9}{1692,1} = 0,72; \quad (73)$$

$$(\cos \varphi)_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{сц}}}{\sqrt{P_{\text{сц}}^2 + Q_{\text{сц}}^2}} = \frac{1692,1}{\sqrt{1692,1^2 + 1792,3^2}} = 0,69. \quad (74)$$

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

В ходе выполнения выпускного квалификационного проекта был разработан электропривод цепного транспортера.

Данный привод выполняется с применением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. По предварительно рассчитанной мощности был выбран двигатель «4МТКF(H)112L6», его данные указаны в таблице 1.3.

Редуктор «Ц2-300» выбирается по передаточному числу, его данные указаны в таблице 1.4.

К валу двигателя были приведены моменты динамического и статического сопротивления.

Также была проведена проверка двигателя по нагреву и производительности. Результат проверки по нагреву показал, что двигатель соответствует заданным параметрам, так как соблюдается условие:

$$M_{\text{срkv}} \leq M_{\text{доп}}.$$

Также в ходе этой проверки выяснилось, что выбранный нами двигатель проходит по производительности, так как рассчитанное суммарное время работы меньше заданного суммарного времени работы.

Исходя из условий:

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

$$I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{н}}.$$

был выбран преобразователь частоты «FR-D740-080-E11»

Заключительным этапами являлись построение естественной и искусственной (по заданным точкам) механических характеристик, а также построение переходных процессов и проверки по нагреву двигателя и преобразователя.

## 2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ КОНВЕЙРНОЙ ЛИНИИ

Конвейер готовой кирпичной продукции (рисунок 2.1) предназначен для транспортировки поддона кирпича на отгрузку.

После упаковки на складе, поддоны с кирпичами поступают на транспортеры 1 и 2, в зависимости от материала изготовления. На транспортер 1 устанавливаются поддоны с керамическим кирпичом, а на транспортер 2 поддоны с силикатным кирпичом.

При поступлении сигнала «Керамический кирпич» с пульта оператора и наличии поддонов запускается транспортер 1 и перемещает кирпичи до общего транспортера 3 и останавливается. Затем, при свободной зоне отгрузки и остановленном транспортере 3, вновь запускается и перемещает поддон на общий транспортер 3,

Как только поддон поступил на общий транспортер 3 он запускается и перемещает поддон в зону отгрузки после чего останавливается.

При поступлении команды «Силикатный кирпич» порядок действия аналогичен.

Также при запуске транспортеров 1 и 2 предусмотрена звуковая сигнализация, которая оповещает персонал о работе транспортеров.

На транспортерах установлены датчики, контролирующие перемещение поддонов по конвейеру.

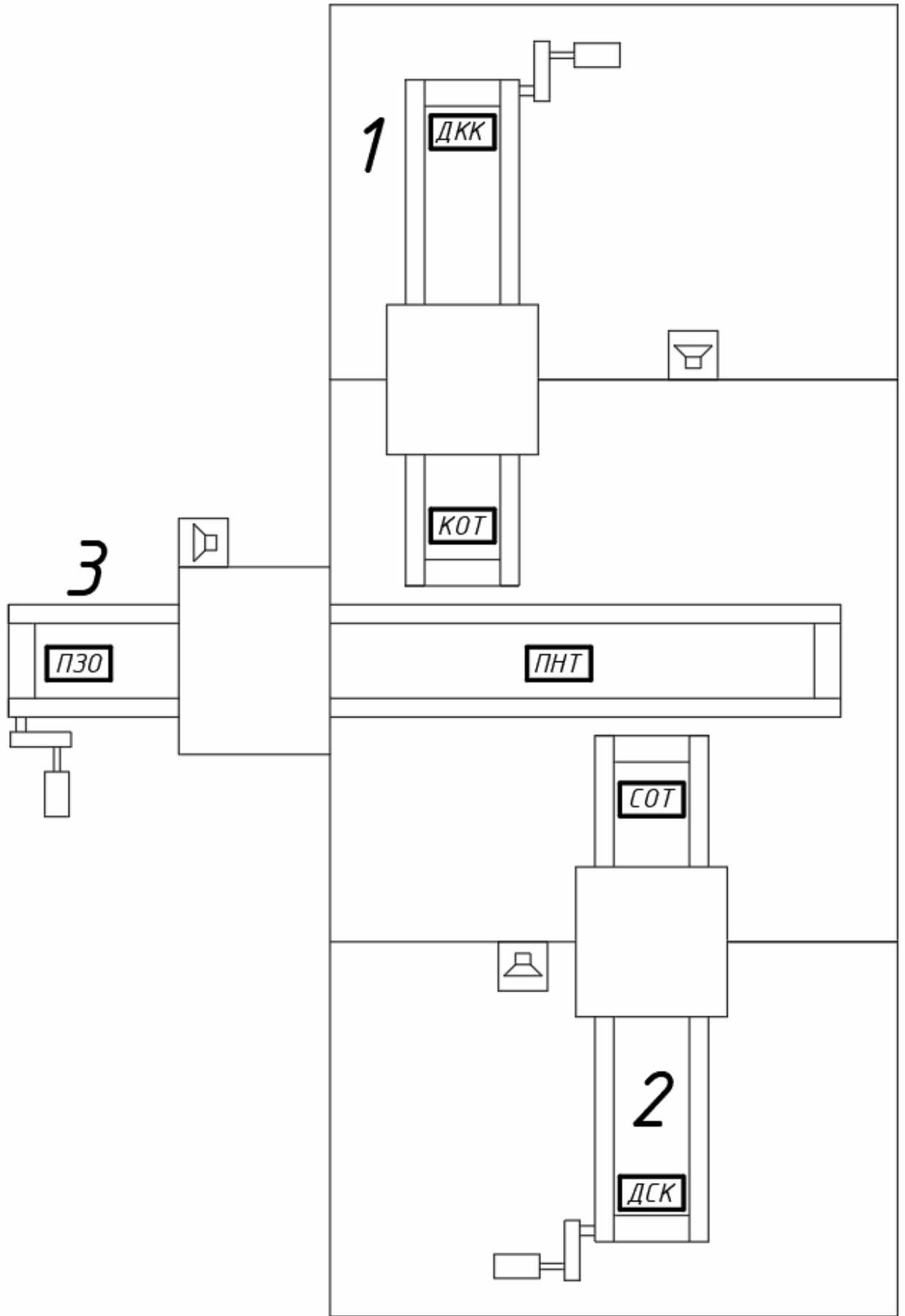


Рисунок 2.1 – Конвейер готовой кирпичной продукции

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

## 2.1 Составление списка сигналов системы автоматизации

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

2.1.2 Система автоматизации должна формировать следующие выходные команды:

- включение привода транспортера 1 (ТР1);
- включение привода транспортера 2 (ТР2);
- включение привода транспортера 3 (ТР3);
- включение звуковой сигнализации 1 (ЗС1);
- включение звуковой сигнализации 2 (ЗС2);
- включение звуковой сигнализации 3 (ЗС3).

2.1.3 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» (ИндАвто);
- сигнал «Ручной режим» (ИндРуч);
- сигнал «Авария» (Авария);
- сигнал «Керамический кирпич» (ИндКК);
- сигнал «Силикатный кирпич» (ИндКК);
- сигнал «Неисправность привода транспортера 1» (АврТР1);
- сигнал «Неисправность привода транспортера 2» (АврТР2);
- сигнал «Неисправность привода транспортера 3» (АврТР3);
- сигнал «Неисправность датчиков» (АврД).

2.1.4 Для управления системой автоматизации используется пульт оператора, (изображенный на рисунке 2.2), 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 «Керамический кирпич» (кнКК);
- сигнал «Силикатный кирпич» (кнСК);
- сигнал «Стоп» (Стоп);
- сигнал «Транспортер 1» (кнТР1);
- сигнал «Транспортер 2» (кнТР2);
- сигнал «Транспортер 3» (кнТР3).

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

- датчик, сигнализирующий о том поддон с керамическим кирпичом находится на транспортере 1 (ДКК);
- датчик, сигнализирующий о том поддон с силикатным кирпичом находится на транспортере 2 (ДСК);
- датчик, сигнализирующий о том, что поддон с кирпичом на транспортере 1 находится у общего транспортера 3 (КОТ);
- датчик, сигнализирующий о том, что поддон с кирпичом на транспортере 2 находится у общего транспортера 3 (СОТ);
- датчик, сигнализирующий о том, что поддон поступил на общий транспортер (ПНТ);
- датчик, сигнализирующий о том, что поддон достиг зоны отгрузки (ПЗО);

2.1.6 В таблицу 2.1 сведены все сигналы и команды, используемые в системе. В этой же таблице выражено соответствие действий сигналов и команд дискретным значениям этих переменных.

Таблица 2.1 – 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
	ИндАвто	Лампа индикации «Автоматический режим»	Есть
	ИндРуч	Лампа индикации «Ручной режим»	Есть
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Есть
	ИндКК	Лампа индикации «Керамический кирпич»	Есть
	ИндСК	Лампа индикации «Силикатный кирпич»	Есть
	АврТР1	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 1»	Есть
	АврТР2	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 2»	Есть
	АврТР3	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 3»	Есть
	АврД	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	Есть
Выходные сигналы пульта управления	кнПит	Ключ-бирка «Питание»	Ключ повернут
	АвТР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Верхнее положение
	РучР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Нижнее положение
	СбросА	Кнопка «Сброс аварии»	Нажата
	кнКК	Кнопка «Керамический кирпич»	Нажата
	кнСК	Кнопка «Силикатный кирпич»	Нажата
	Стоп	Кнопка «Стоп»	Нажата
	кнТР1	Кнопка «Транспортер 1»	Нажата
	кнТР2	Кнопка «Транспортер 2»	Нажата
кнТР3	Кнопка «Транспортер 3»	Нажата	

Продолжение таблицы 2.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Выходные сигналы контроллера	ТР1	включение привода транспортера 1	Есть
	ТР2	включение привода транспортера 2	Есть
	ТР3	включение привода транспортера 3	Есть
	ЗС1	включение звуковой сигнализации 1	Есть
	ЗС2	включение звуковой сигнализации 2	Есть
	ЗС3	включение звуковой сигнализации 3	Есть
Входные сигналы контроллера	ДКК	датчик, сигнализирующий о том поддон с керамическим кирпичом находится на транспортере 1	Есть
	ДСК	датчик, сигнализирующий о том поддон с силикатным кирпичом находится на транспортере 2	Есть
	КОТ	датчик, сигнализирующий о том, что поддон с кирпичом на транспортере 1 находится у общего транспортера 3	Есть
	СОТ	датчик, сигнализирующий о том, что поддон с кирпичом на транспортере 2 находится у общего транспортера 3	Есть
	ПНТ	датчик, сигнализирующий о том, что поддон поступил на общий транспортер	Есть
	ПЗО	датчик, сигнализирующий о том, что поддон достиг зоны отгрузки	Есть

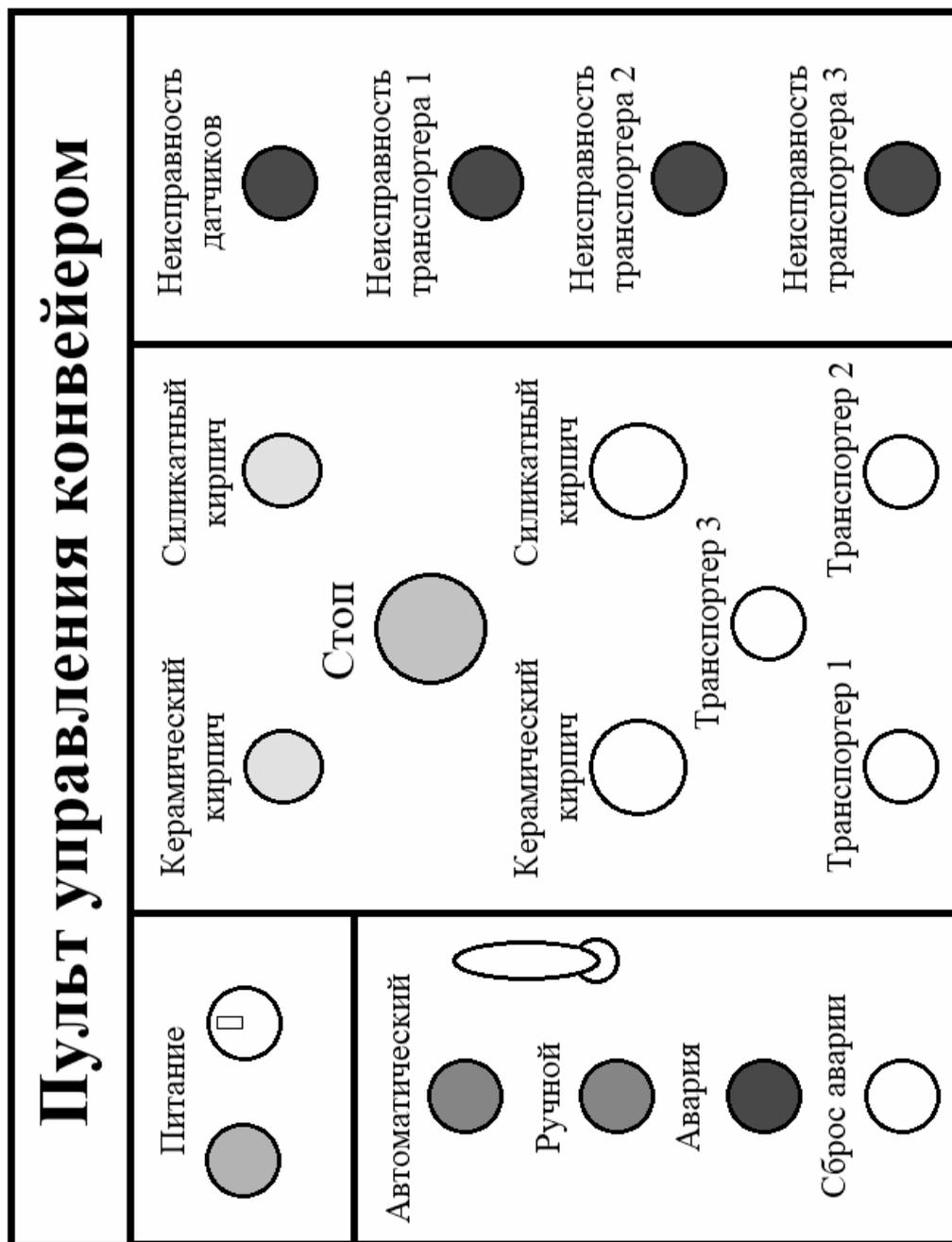


Рисунок 2.2 – Пульт управления конвейером готовой кирпичной продукции

### 2.2 Разработка алгоритма автоматизации управления механизмами объекта

Программу для контроллера разделим условно–функционально на пять блоков: «блок управления транспортером керамического кирпича», «блок управления транспортером силикатного кирпича», «блок управления общим транспортером», «блок сигнализации» и «блок аварийных сигналов».

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

### 2.2.1 Блок управления транспортером керамического кирпича

Сигнал на включение привода транспортера 1 возникает в автоматическом режиме если поддон с керамическим кирпичом находится на транспортере 1 при нажатии кнопки «Керамический кирпич» или если поддон с керамическим кирпичом находится у транспортера 3 с задержкой в 5с, при свободной зоне отгрузки и неподвижном общем транспортере, в отсутствие нажатой кнопки «Стоп» или сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода транспортера 1 возникает при нажатой кнопке «Транспортер 1» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$TR1 = \left( [(3C1^{\uparrow 3c} + TR1) \cdot \overline{КОТ} + (КОТ^{\uparrow 5c} \cdot \overline{ПЗО} \cdot \overline{ТРЗ} + TR1) \cdot \overline{ПНТ}] \cdot \overline{Стоп} \cdot АвТР + кнТР1 \cdot РучР \right) \cdot \overline{Авария}. \quad (75)$$

### 2.2.2 Блок управления транспортером силикатного кирпича

Сигнал на включение привода транспортера 2 возникает в автоматическом режиме если поддон с силикатным кирпичом находится на транспортере 2 при нажатии кнопки «Силикатный кирпич» или если поддон с силикатным кирпичом находится у транспортера 3 с задержкой в 5с, при свободной зоне отгрузки и неподвижном общем транспортере, в отсутствие нажатой кнопки «Стоп» или сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода транспортера 2 возникает при нажатой кнопке «Транспортер 2» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$TR2 = \left( [(3C2^{\uparrow 3c} + TR2) \cdot \overline{СОТ} + (СОТ^{\uparrow 5c} \cdot \overline{ПЗО} \cdot \overline{ТРЗ} + TR2) \cdot \overline{ПНТ}] \cdot \overline{Стоп} \cdot АвТР + кнТР2 \cdot РучР \right) \cdot \overline{Авария}. \quad (76)$$

### 2.2.3 Блок управления общим транспортером

Сигнал на включение привода транспортера 3 возникает в автоматическом режиме если поддон поступил на общий транспортер при свободной зоне отгрузки до тех пор, пока поддон не достигнет зоны отгрузки, в отсутствие нажатой кнопки «Стоп» или сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода транспортера 3 возникает при нажатой кнопке «Транспортер 3» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$\begin{aligned} \text{ТРЗ} = & (\text{ПНТ} \cdot \overline{\text{ПЗО}} + \text{ТРЗ}) \cdot \overline{\text{ПЗО}} \cdot \overline{\text{Стоп}} \cdot \text{АвтР} + \text{кнТРЗ} \cdot \text{РучР} \\ & \cdot \overline{\text{Авария}}. \end{aligned} \quad (77)$$

### 2.2.4 Блок сигнализации

2.2.4.1 Сигнал на включение звуковой сигнализации 1 возникает на Зс если поддон с керамическим кирпичом находится на транспортере 1 при нажатии кнопки «Керамический кирпич»:

$$\text{ЗС1} = (\text{кнКК} \cdot \text{ДКК} + \text{ЗС1}) \cdot \overline{\text{ТЗ}}. \quad (78)$$

2.2.4.2 Сигнал на включение звуковой сигнализации 2 возникает на Зс если поддон с силикатным кирпичом находится на транспортере 2 при нажатии кнопки «Силикатный кирпич»:

$$\text{ЗС2} = (\text{кнСК} \cdot \text{ДСК} + \text{ЗС2}) \cdot \overline{\text{Т4}}. \quad (79)$$

2.2.4.3 Сигнал на включение звуковой сигнализации 3 возникает на Зс если поддон достиг зоны отгрузки:

$$\text{ЗС3} = (\text{ПЗО} + \text{ЗС3}) \cdot \overline{\text{Т5}}. \quad (80)$$

2.2.4.4 Сигнал для индикации автоматического режима возникает при верхнем положении тумблера, т.е. при выборе автоматического режима:

$$\text{ИндАвто} = \text{АвтР}.$$

2.2.4.5 Сигнал для индикации ручного режима возникает при нижнем положении тумблера, т.е. при выборе ручного режима:

$$\text{ИндРуч} = \text{РучР.}$$

2.2.4.6 Сигнал для индикации работы транспортера керамического кирпича возникает при включенном приводе транспортера 1:

$$\text{ИндКК} = \text{ТР1.}$$

2.2.4.7 Сигнал для индикации работы транспортера силикатного кирпича возникает при включенном приводе транспортера 2:

$$\text{ИндСК} = \text{ТР2.}$$

## 2.2.5 Блок аварийных сигналов

2.2.5.1 Сигнал аварии возникает при неисправности механизмов и датчиков, в отсутствие нажатой кнопки «Сброс Аварии»:

$$\text{Авария} = (\text{АврТР1} + \text{АврТР2} + \text{АврТР3} + \text{АврД} + \text{Авария}) \cdot \overline{\text{СбросА}} \quad (81)$$

2.2.5.2 Сигнал аварии датчиков возникает при комбинации сигналов с датчиков, непредусмотренной технологическим процессом:

$$\text{АврД} = \text{КОТ} \cdot \text{ПНТ} + \text{СОТ} \cdot \text{ПНТ} \quad (82)$$

## 2.3 Разработка функциональной схемы автоматизации

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

2.3.2 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) транспортера 1;
- приводной двигатель (М2) транспортера 2;
- приводной двигатель (М3) транспортера 3;
- динамик (ВА1) звуковой сигнализации 1;
- динамик (ВА2) звуковой сигнализации 2;
- динамик (ВА3) звуковой сигнализации 3;
- датчики технологической информации (ДКК, ДСК, КОТ и т.д.).

2.3.3 На функциональной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации.

2.3.4 На пульте управления предусмотрены:

- индикационные светодиодные лампы с целью индикации состояния системы (режима работы): «Автоматический», «Ручной», «Питание», «Авария», «Керамический кирпич», «Силикатный кирпич», «Неисправность привода транспортера 1», «Неисправность транспортера 2», «Неисправность привода транспортера 3», «Неисправность датчиков»;

- кнопки управления работой приводов «Керамический кирпич», «Силикатный кирпич» «Стоп», «Транспортер 1», «Транспортер 2», «Транспортер 3», а также кнопка «Сброс аварии»;

- переключатель положений автоматического и ручного режима работы.

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

## 2.4 Выбор элементной базы автоматизации

### 2.4.1 Выбор блока управления

В качестве блока управления выберем контроллер *Direct LOGIC 06*



Рисунок – 2.3 Внешний вид контроллера *Direct LOGIC 06*

Контроллер включает в себя фиксированное количество точек ввода/вывода (20 входных и 16 выходных сигналов) с 4 дополнительными слотами расширения. Технические параметры контроллера приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные технические параметры контроллера *DL06*

Параметр	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	12...24
Количество входов	—	20
Количество выходов		16
Объем памяти	Кслов	7679
Максимальный потребляемый ток	мА	13

#### 2.4.2 Выбор датчиков технологической информации

Для определения положений поддона выберем оптический датчик *OX AC42A5-43P-R4000-LZS4* фирмы «ТЕКО». Датчик состоит из излучателя и приемника, встроенных в корпус.

Оптическое излучение инфракрасного спектра от излучателя попадает на световозвращатель (катафот) и, отражаясь от него, попадает в приемник датчика. Контролируемый объект, попадая в зону действия датчика, прерывает оптическое излучение и вызывает изменение выходного сигнала датчика.

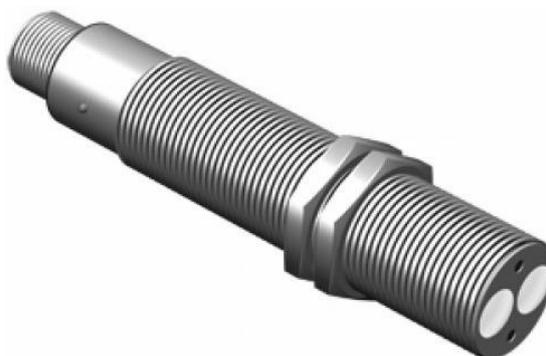


Рисунок – 2.4 Внешний вид оптического датчика *OX AC42A5-43P-R4000-LZS4*

Таблица 2.3 – Технические параметры оптического датчика

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	10...30 DC
Подключение	—	4pin, трехпроводной кабель
Выход		PNP
Номинальный ток	мА	25
Дальность действия	м	4

### 2.4.3 Выбор блока питания

Выбор блока питания необходимо производить с учетом мощности всех потребителей, питающихся от него (контроллер, датчики и пульт управления).

Рассчитаем эту мощность:

$$P_{\text{Потр}} = U_{\text{контр.}} \cdot I_{\text{контр.}} + 11 \cdot U_{\text{Датч1}} \cdot I_{\text{Датч1}} \quad (83)$$

$$P_{\text{Потр}} = 24 \cdot 1 + 6 \cdot 24 \cdot 0,025 = 27,6 \text{ Вт.}$$

По полученной мощности выберем блок питания RS-35-24 — AC/DC преобразователь мощностью 35 Вт, производства компании «Mean Well». Его технические характеристики представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики источника питания RS-35-24

Наименование параметра	Размерность	Значение
Входное напряжение	В	88...264
Выходное напряжение		24
Выходная мощность	Вт	35
Выходной ток, до	А	1,5
КПД	%	88

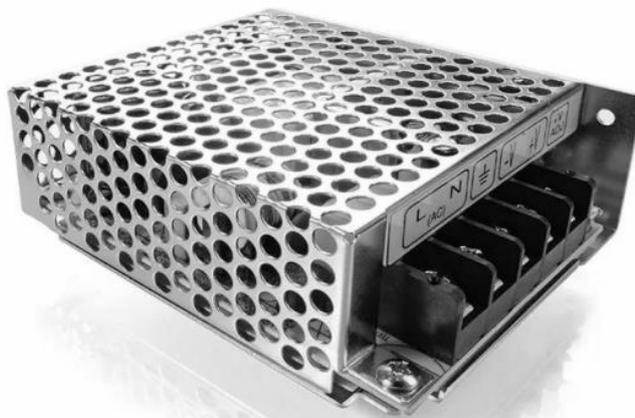


Рисунок 2.5 – Внешний вид блока питания RS-35-24

## 2.5 Разработка схемы электрической принципиальной

2.5.1 В соответствии с выбранной элементной базой и разработанной функциональной схемой системы автоматизации (приложение А) была составлена принципиальная схема (чертеж ЮУрГУ – 13.03.02.2020.512.01ЭЗ ВКП).

2.5.2 Автоматический выключатель *QF1* обеспечивает питание всей системы, а также осуществляет защиту 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.

Автоматические выключатели *QF2-QF4* обеспечивают питание систем управления двигателями и защищают их от токов короткого замыкания.

2.5.3 Блок питания *G1* с выходным напряжением 24 В подает питание на основные низковольтные элементы пульта управления *A1*, контроллер *A2* и датчики *SQ1-SQ6*.

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

2.5.5 Автоматизация технологического процесса реализуется программируемым контроллером *A2*. Входные сигналы поступают с пульта управления *A1*, датчиков технологической информации *SQ1-SQ6*, а выходные сигналы подаются на преобразователи частоты двигателей *UZ1-UZ3*, индикацию пульта управления *HL2-HL10* и динамики *BA1-BA3*.

2.5.6 В данной системе автоматизации для фиксации положений механизмов используются датчики *SQ1-SQ6*. Выходы датчиков подключены к контроллеру *A2*.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

## 2.6 Разработка программного обеспечения

2.6.1 На основе приведенных в п. 2.2 логических уравнений, а также с учетом подключения входных и выходных цепей к программируемому контроллеру, представленному на электрической принципиальной схеме ЮУрГУ – 13.03.02.2020.512.01ЭЗ ВКП, создадим программу. Программа в дальнейшем предназначена для записи в ПЛК DL06, но в процессе курсового проектирования отладка программы на контроллере производиться не будет.

2.6.2 Прежде, чем записывать программу, присвоим переменным логических уравнений адреса ПЛК. Результаты представления переменных в адресах ПЛК для входных, выходных и промежуточных сигналов представлены в таблице 2.5.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

Таблица 2.5 – Адреса переменных контроллера

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
Входные сигналы				
1	Переключатель «Автоматический режим»	АвТР	X0	SA2.1
2	Переключатель «Ручной режим»	РучР	X1	SA2.2
3	Кнопка «Сброс Аварии»	СбросА	X2	SB2
4	Кнопка «Керамический кирпич»	кнКК	X3	SB3
5	Кнопка «Силикатный кирпич»	кнСК	X4	SB4
6	Кнопка «Стоп»	Стоп	X5	SB5
7	Кнопка «Транспортер 1»	кнТР1	X6	SB6
8	Кнопка «Транспортер 2»	кнТР2	X7	SB7
9	Кнопка «Транспортер 3»	кнТР3	X10	SB8
10	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 1»	АврТР1	X11	HL2
11	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 2»	АврТР2	X12	HL3
12	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 3»	АврТР3	X13	HL4
13	датчик, сигнализирующий о том поддон с керамическим кирпичом находится на транспортере 1	ДКК	X14	SQ1
14	датчик, сигнализирующий о том поддон с силикатным кирпичом находится на транспортере 2	ДСК	X15	SQ2
15	датчик, сигнализирующий о том, что поддон с кирпичом на транспортере 1 находится у общего транспортера 3	КОТ	X16	SQ3
16	датчик, сигнализирующий о том, что поддон с кирпичом на транспортере 2 находится у общего транспортера 3	СОТ	X17	SQ4

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

Лист

54

Продолжение таблицы 2.5

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
17	датчик, сигнализирующий о том, что поддон поступил на общий транспортер	ПНТ	X20	SQ5
18	датчик, сигнализирующий о том, что поддон достиг зоны отгрузки	ПЗО	X21	SQ6
Выходные сигналы				
19	включение привода транспортера 1	ТР1	Y0	UZ1
20	включение привода транспортера 2	ТР2	Y1	UZ2
21	включение привода транспортера 3	ТР3	Y2	UZ3
22	включение звуковой сигнализации 1	ЗС1	Y3	BA1
23	включение звуковой сигнализации 2	ЗС2	Y4	BA2
24	включение звуковой сигнализации 3	ЗС3	Y5	BA3
25	Лампа индикации «Автоматический режим»	ИндАвто	Y6	HL5
26	Лампа индикации «Ручной режим»	ИндРуч	Y7	HL6
27	Лампа индикации «Авария»	Авария	Y10	HL7
28	Лампа индикации «Керамический кирпич»	ИндКК	Y11	HL8
29	Лампа индикации «Силикатный кирпич»	ИндСК	Y12	HL9
30	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	АврД	Y13	HL10
Промежуточные сигналы				
1	Остановка транспортера 1	КОТ <sup>↑5с</sup>	T1	—
2	Остановка транспортера 2	СОТ <sup>↑5с</sup>	T2	—
3	Звуковой сигнал 1 на 3 с	T3	T3	—
4	Звуковой сигнал 2 на 3 с	T4	T4	—
5	Звуковой сигнал 3 на 3 с	T5	T5	—

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

Лист

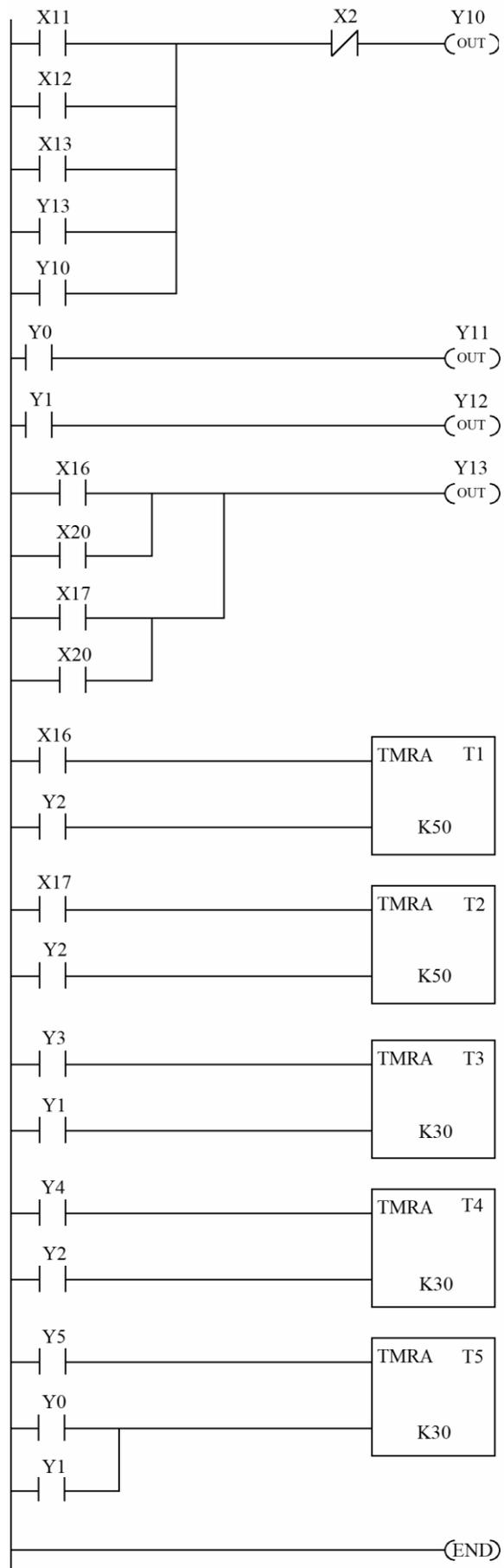
55

2.6.3 Уравнения с учетом адресации контроллера представлены в таблице 2.6

Таблица 2.6 – Уравнения в адресации контроллера DL06

Команда	Уравнения в адресах ПЛК
Y0	$Y0 = ([ (T3 + Y0) \cdot \overline{X16} + (T1 \cdot \overline{X21} \cdot \overline{Y2} + Y0) \cdot \overline{X20} ] \cdot \overline{X5} \cdot X0 + X6 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y1	$Y1 = ([ (T4 + Y1) \cdot \overline{X17} + (T2 \cdot \overline{X21} \cdot \overline{Y2} + Y1) \cdot \overline{X20} ] \cdot \overline{X5} \cdot X0 + X7 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y2	$Y2 = (X20 \cdot \overline{X21} + Y2) \cdot \overline{X21} \cdot \overline{X5} \cdot X0 + X10 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y3	$Y3 = (X3 \cdot X14 + Y3) \cdot \overline{T3}$
Y4	$Y4 = (X4 \cdot X15 + Y4) \cdot \overline{T4}$
Y5	$Y5 = (X21 + Y5) \cdot \overline{T5}$
Y6	$Y6 = X0$
Y7	$Y7 = X1$
Y10	$Y10 = (X11 + X12 + X13 + Y13 + Y10) \cdot \overline{X2}$
Y11	$Y11 = Y0$
Y12	$Y12 = Y1$
Y13	$Y13 = X16 \cdot X20 + X17 \cdot X20$
T1	$T1 = X16$ , с задержкой 5с , сброс $T1 = Y2$
T2	$T2 = X17$ , с задержкой 5с , сброс $T2 = Y2$
T3	$T3 = Y3$ , с задержкой 3с , сброс $T3 = Y1$
T4	$T4 = Y4$ , с задержкой 3с , сброс $T4 = Y2$
T5	$T5 = Y5$ , с задержкой 3с , сброс $T5 = Y0 + Y1$





Продолжение рисунка 2.6

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

В данном проекте была разработана система автоматизации конвейера готовой кирпичной продукции. Было представлено описание технологического процесса, приведена упрощенная схема объекта автоматизации (рисунок 2.1). Дано описание конструкции и кинематики механизмов. Также была описана последовательность работы механизмов объекта и связь между ними.

На основе описания технологического процесса, последовательности работы механизма и требований к данной системе был разработан алгоритм работы системы автоматизации в виде логических уравнений. Также был разработан пульт управления конвейером готовой кирпичной продукции (рисунок 2.2).

На основе требований к системе автоматизации, алгоритма работы автоматики отдельных механизмов и выбранной элементной базы была составлена функциональная (приложение Б) и принципиальная (ЮУрГУ – 13.03.02.2020.512.01ЭЗ ВКП) схемы.

В заключительной части работы было разработано программное обеспечение для реализации процесса автоматизации на основе ПЛК *DL06*. Приведены адреса переменных контроллера, переработаны написанные ранее уравнения в язык понятный контроллеру, а также представлены лестничные диаграммы технологического процесса.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте был разработан электропривод конвейера готовой кирпичной продукции. Было составлено описание технологического процесса, приведена упрощенная схема объекта автоматизации. Проведен расчет электропривода цепного транспортера. Дано описание конструкции и кинематики механизмов. Также была описана последовательность работы механизмов объекта и связь между ними.

На основе описания технологического процесса, последовательности работы механизма и требований к данной системе был разработан алгоритм работы системы автоматизации в виде логических уравнений. Также был разработан пульт управления оператора (рисунок 2.2).

После разработки функциональной схемы системы автоматизации был произведен выбор оборудования. Был выбран программируемый логический контроллер *Direct LOGIC 06*, оптические датчики положений и блок питания к ним мощностью 36 Вт.

На заключительном этапе проектирования была разработана принципиальная электрическая схема механизма.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						60
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технический каталог кранов. – <http://www.ниптиэм.рф/assets/files/qreport/tehnicheskij-katalog-kran.pdf> .
2. Анфимов, М.И. Редукторы: конструкция и расчет: альбом / М.И. Анфимов.– М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
3. Технический каталог преобразователей частоты. – [https://ies-drives.ru/upload/iblock/b14/ACQ580\\_catalog\\_REVC\\_RU.pdf](https://ies-drives.ru/upload/iblock/b14/ACQ580_catalog_REVC_RU.pdf) .
4. Драчев, Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 168 с.
5. Анфимов, М.И. Редукторы: конструкция и расчёт: Альбом. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
6. Драчев, Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. Часть 1. – 209 с.
7. Вешеневский, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. – С.Н. Вешеневский. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
8. Борисов, А.М. Автоматизация технологических процессов (технологические средства, проектирование, лабораторный практикум): Учебное пособие. / А.М. Борисов, Н.Е. Лях. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – Ч.1. – 404 с.
9. Борисов, А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, Н.А. Логинова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.
10. Стандарт предприятия: курсовые и дипломные проекты. Общие требования к содержанию и оформлению. СТО ЮУрГУ 04 – 2008. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

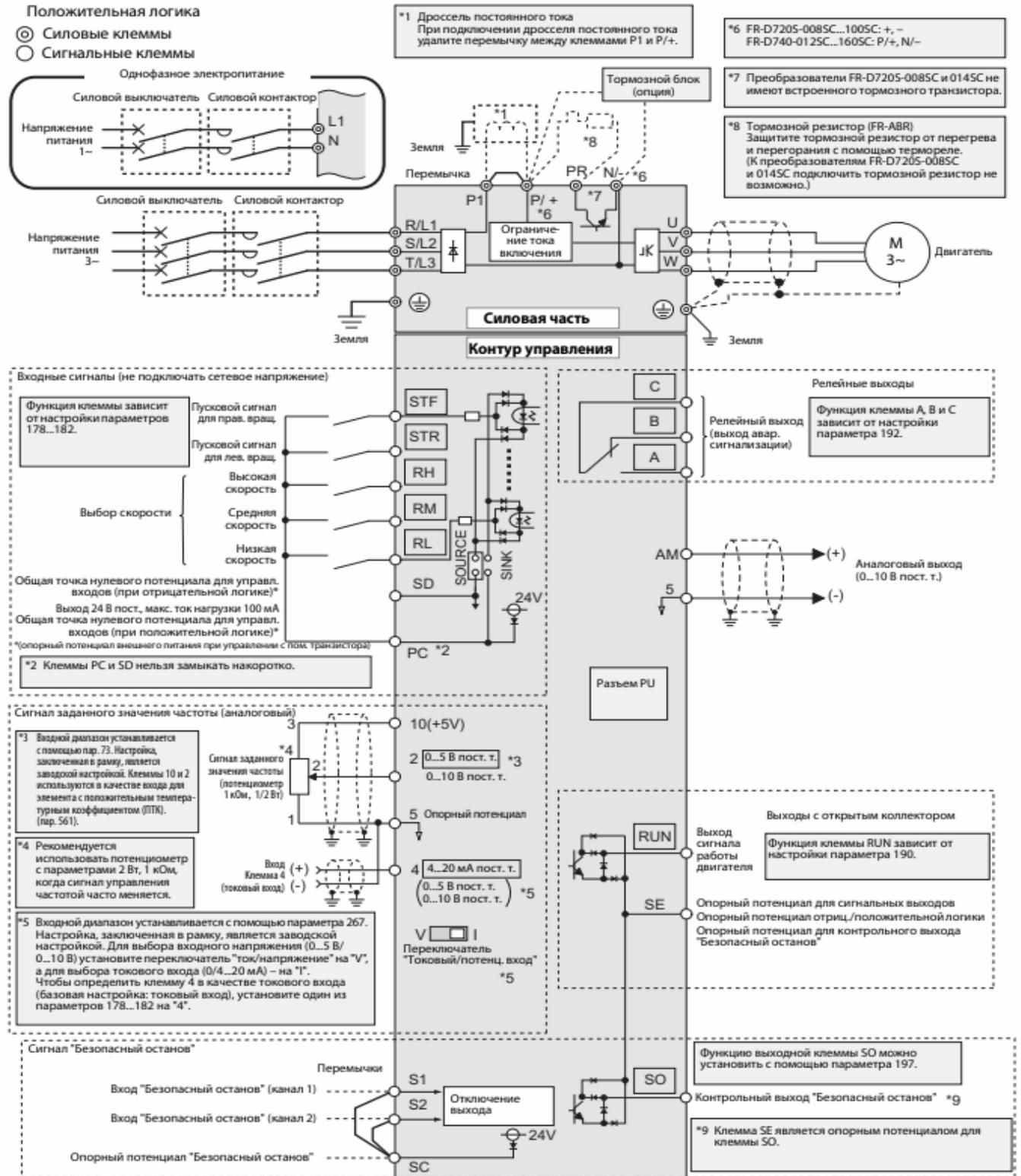


Рисунок А1 – Схема подключения FR-D740-080-E11

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

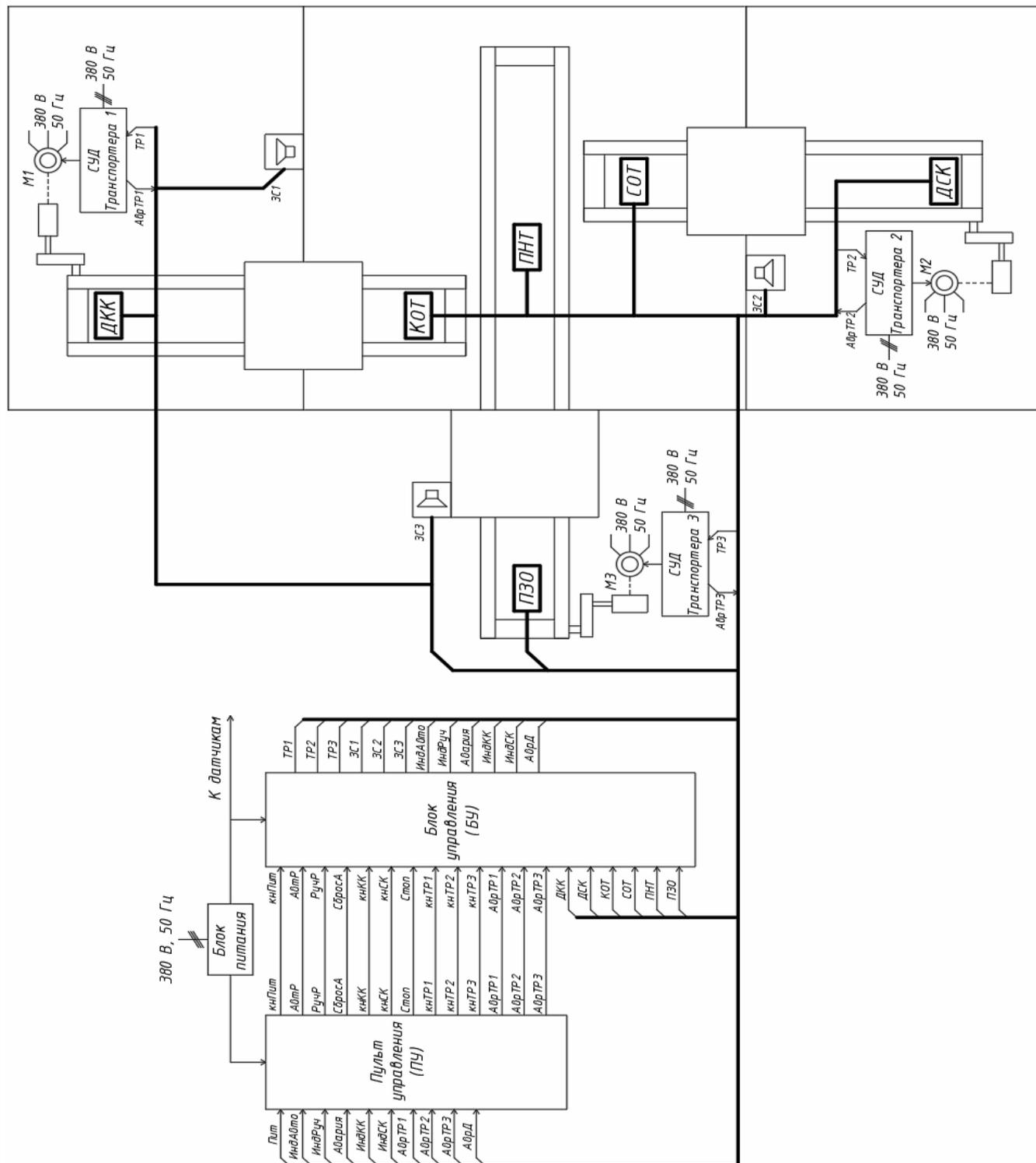


Рисунок Б1 – функциональная схема

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01ПЗ

Лист

63

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»

Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции

АЛЬБОМ ИЛЛЮСТРАЦИЙ  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА  
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»  
ЮУрГУ–13.03.02.2020.512.АИ ВКР

Количество листов 15

Руководитель, Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ / Д.А. Сычев /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,  
бакалавр группы ПЗ–576

\_\_\_\_\_ / Е.А. Головин /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер, Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ / Т.А. Функ /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

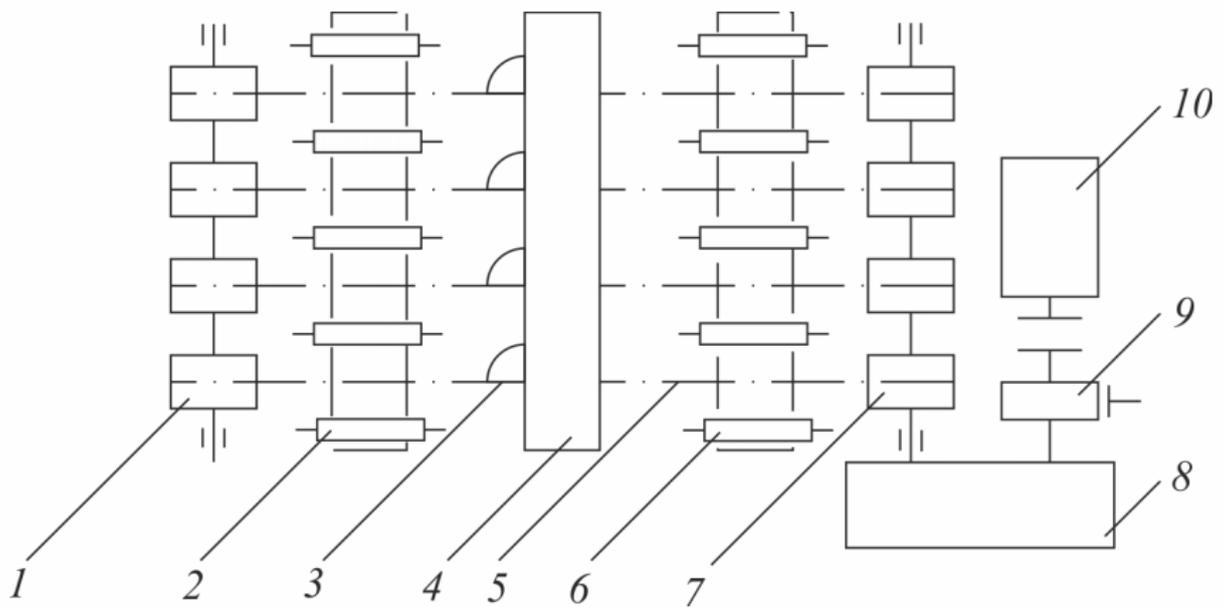
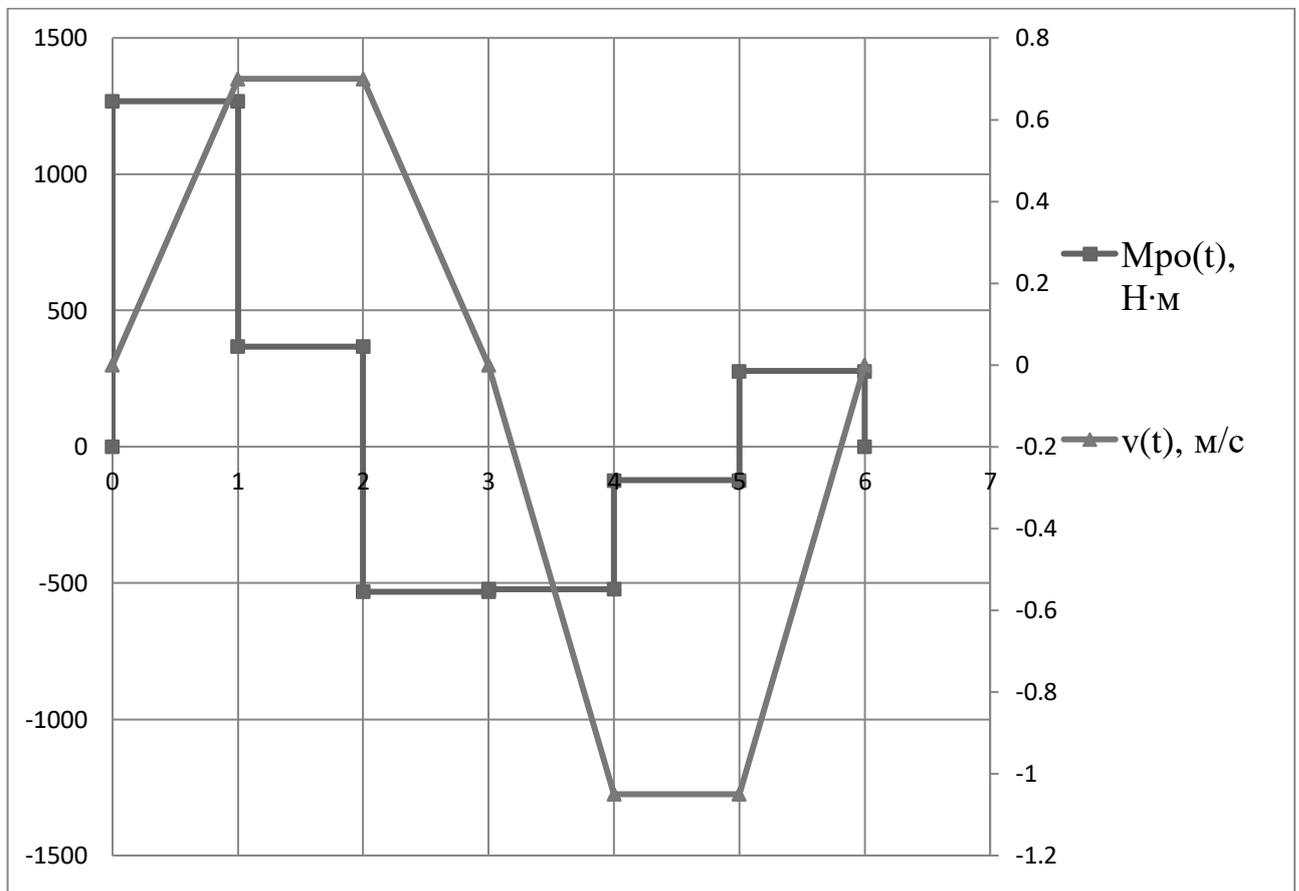


Схема конвейера готовой кирпичной продукции



Нагрузочные диаграммы скорости и моментов рабочего органа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
Разраб.		Головин Е.А.		
Провер.		Сычев Д.А.		
Реценз				
Н. Контр.		Функ Т.А.		
Утверд.		Григорьев М.А.		

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ

Автоматизированный  
электропривод конвейера  
готовой кирпичной  
продукции

Лит.	Лист	Листов
	4	

ЮУрГУ  
Кафедра «АЭП»

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Номинальная мощность на валу	$P_n$	кВт	2,2
Номинальная частота вращения	$n_n$	об/мин	880
Номинальный ток статора	$I_{1n}$	А	6,8
Коэффициент мощности в номинальном режиме	$\cos\varphi_n$	-	0,73
Пусковой ток	$I_n$	А	22,7
Пусковой момент	$M_n$	Н · м	62
Максимальный (критический) момент	$M_{\max}$	Н · м	64
Активное сопротивление фазной обмотки статора	$r_1$	Ом	2,97
Ток холостого хода в номинальном режиме	$I_0$	Ом	4,81
Активное сопротивление короткого замыкания	$R_{кз}$	Ом	9,66
Индуктивное сопротивление короткого замыкания	$X_{кз}$	Ом	5,87
Коэффициент приведения сопротивлений	$kr$	-	5,9
Момент инерции двигателя	$J_{дв}$	кг · м <sup>2</sup>	0,035

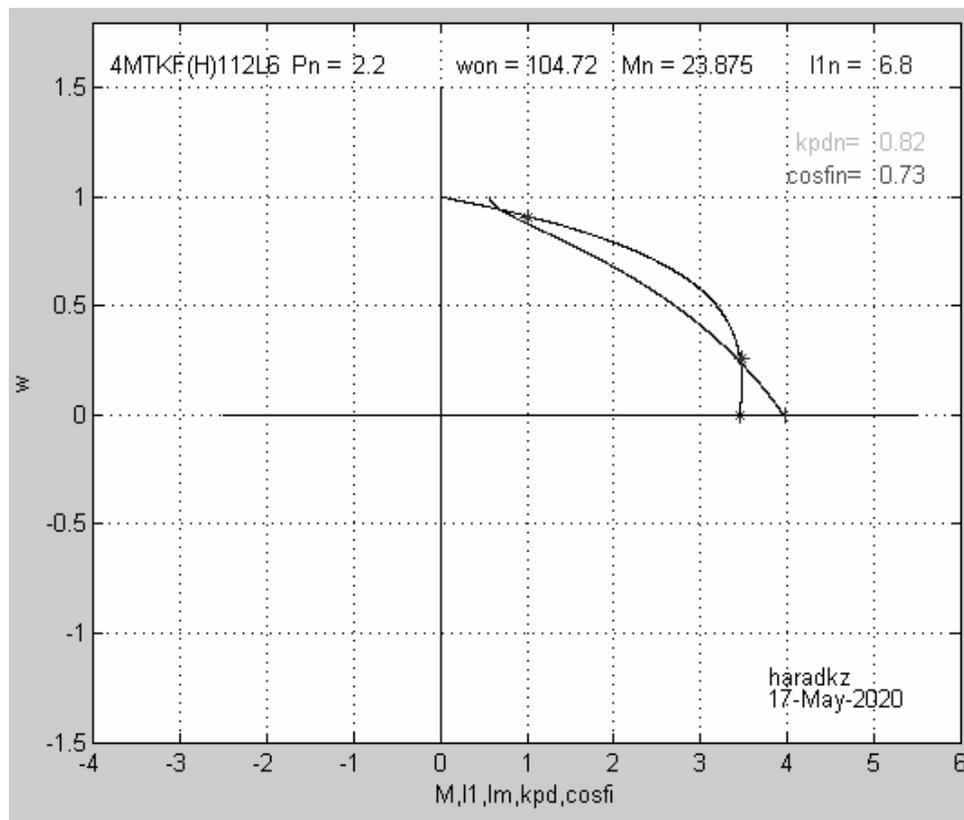
**Номинальные данные двигателя**

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания, В	Трёхфазное ~380-480
Ном. мощность электродвигателя, кВт	3,7
Ном. ток нагрузки, А	8
Выходная частота, Гц	0,2...400
Перегрузка в течение 1 минуты, %	150

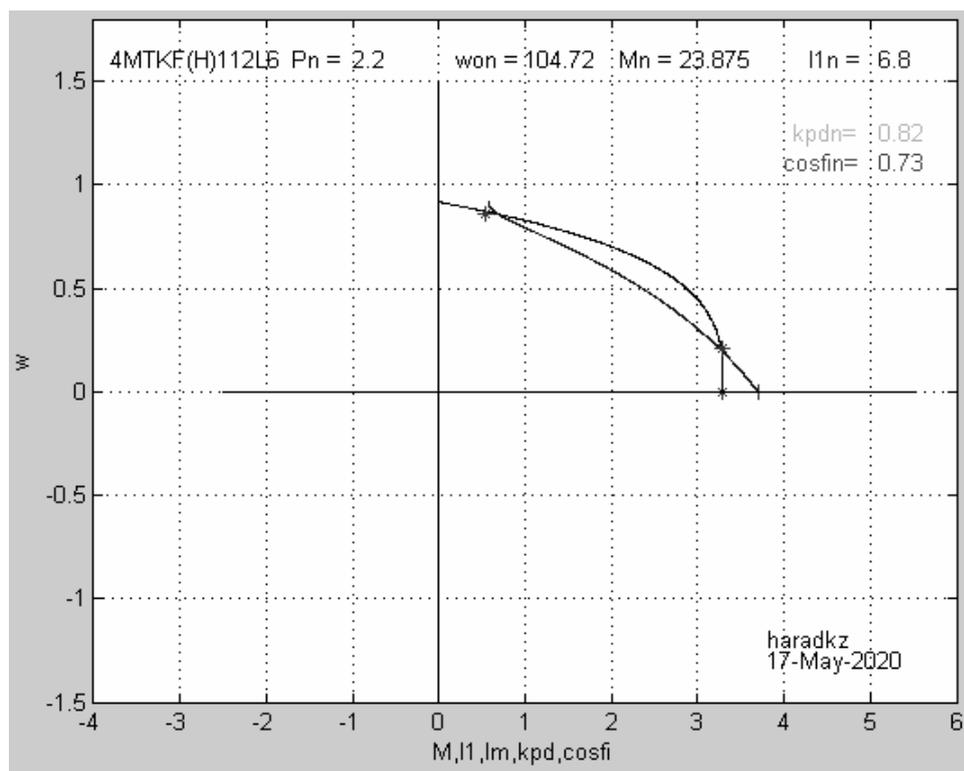
**Характеристики преобразователя**

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			
Разраб.	Головин Е.А.				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Сычев Д.А.					4	
Реценз					<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>		
Н. Контр.	Функ Т.А.						
Утверд.	Григорьев М.А.						

Автоматизированный  
электропривод конвейера  
готовой кирпичной  
продукции

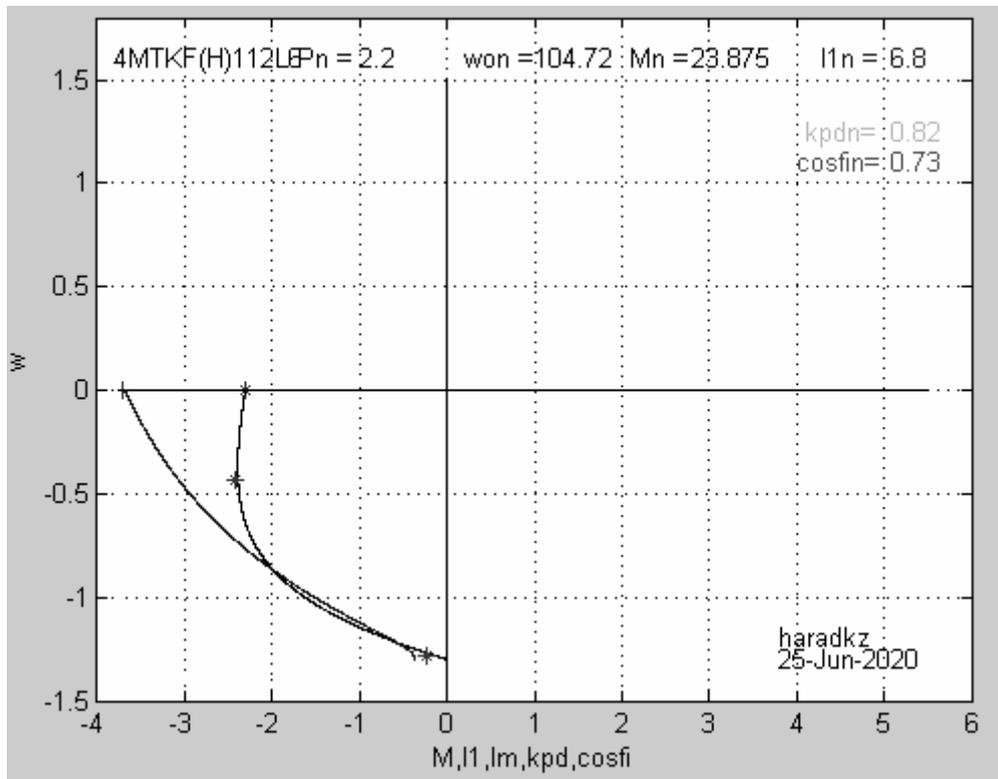


Естественная характеристика

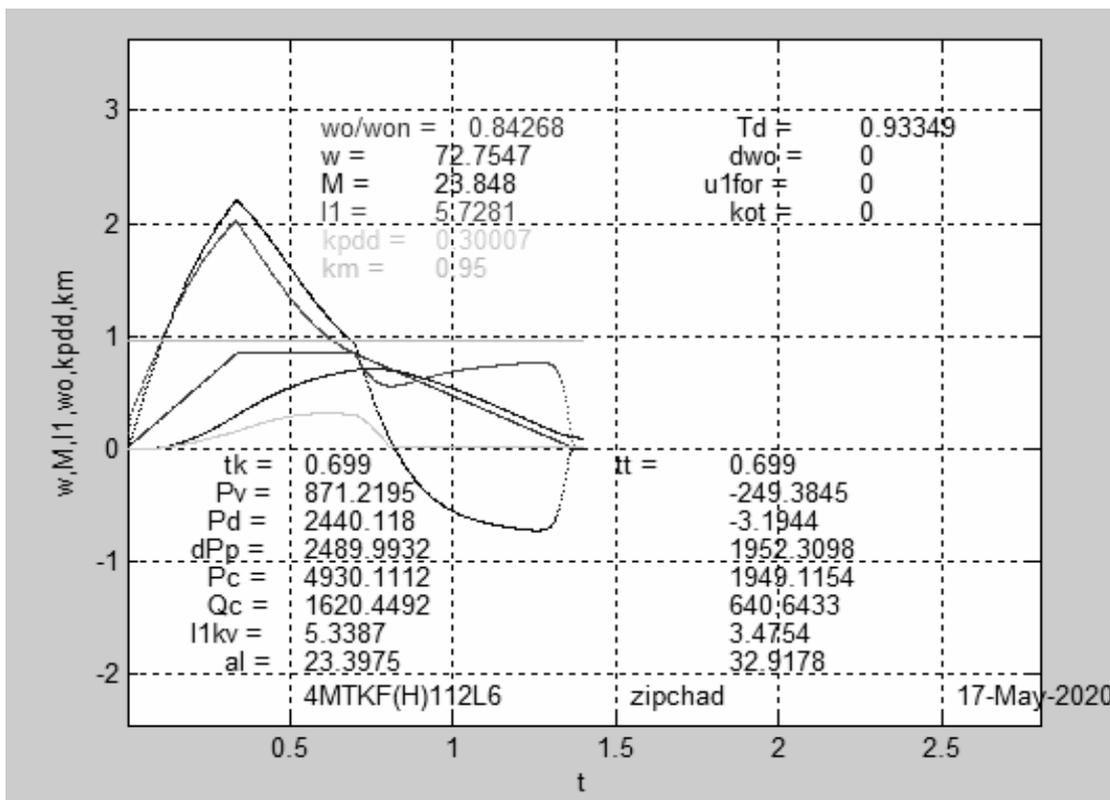


Искусственная характеристика при движении с поддоном

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции		
Разраб.	Головин Е.А.						
Провер.	Сычев Д.А.						
Реценз							
Н. Контр.	Функ Т.А.						
Утверд.	Григорьев М.А.				Лит.	Лист	Листов
						4	
					<b>ЮУрГУ</b> <b>Кафедра «АЭП»</b>		



Искусственная характеристика при движении без поддона



Переходные процессы пуска и торможения с поддоном

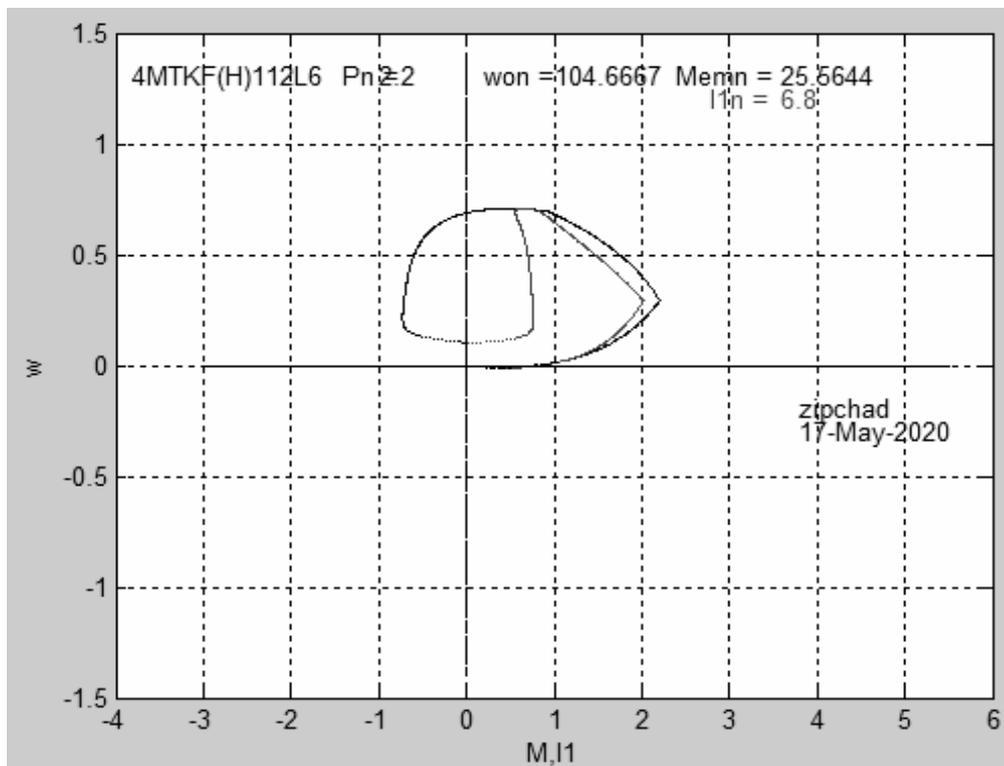
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
Разраб.		Головин Е.А.		
Провер.		Сычев Д.А.		
Реценз				
Н. Контр.		Функ Т.А.		
Утверд.		Григорьев М.А.		

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ

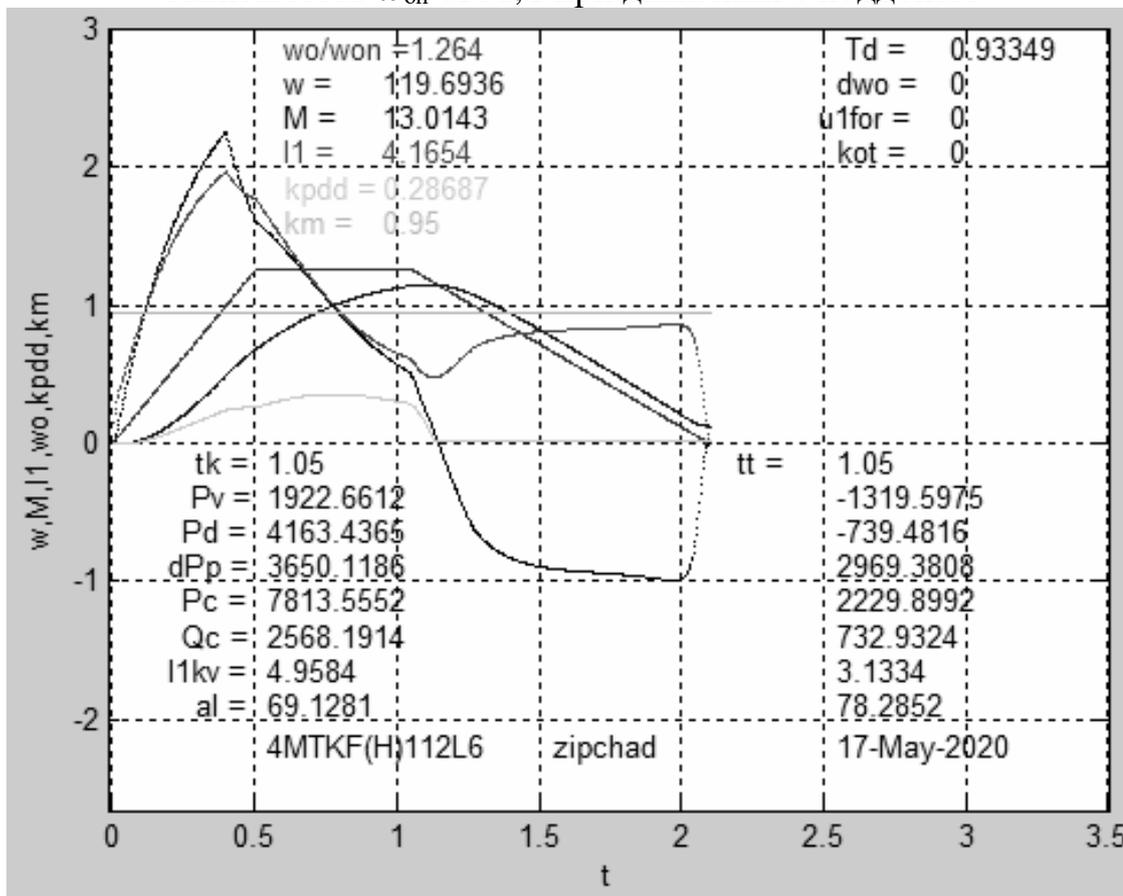
Автоматизированный  
электропривод конвейера  
готовой кирпичной  
продукции

Лист	Лист	Листов
	4	

ЮУрГУ  
Кафедра «АЭП»



Зависимость  $\omega_{\text{он}}$  от  $M, I$  при движении с поддоном



Переходные процессы пуска и торможения при движении без поддона

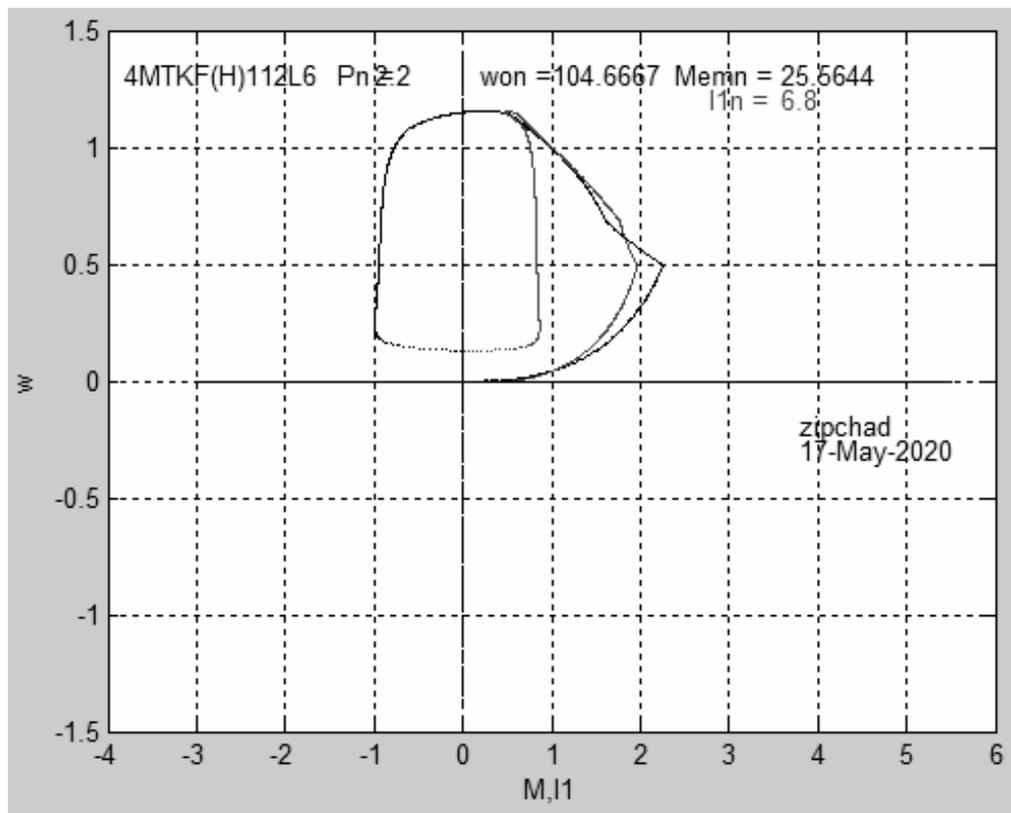
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
Разраб.		Головин Е.А.		
Провер.		Сычев Д.А.		
Реценз				
Н. Контр.		Функ Т.А.		
Утверд.		Григорьев М.А.		

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ

Автоматизированный  
электропривод конвейера  
готовой кирпичной  
продукции

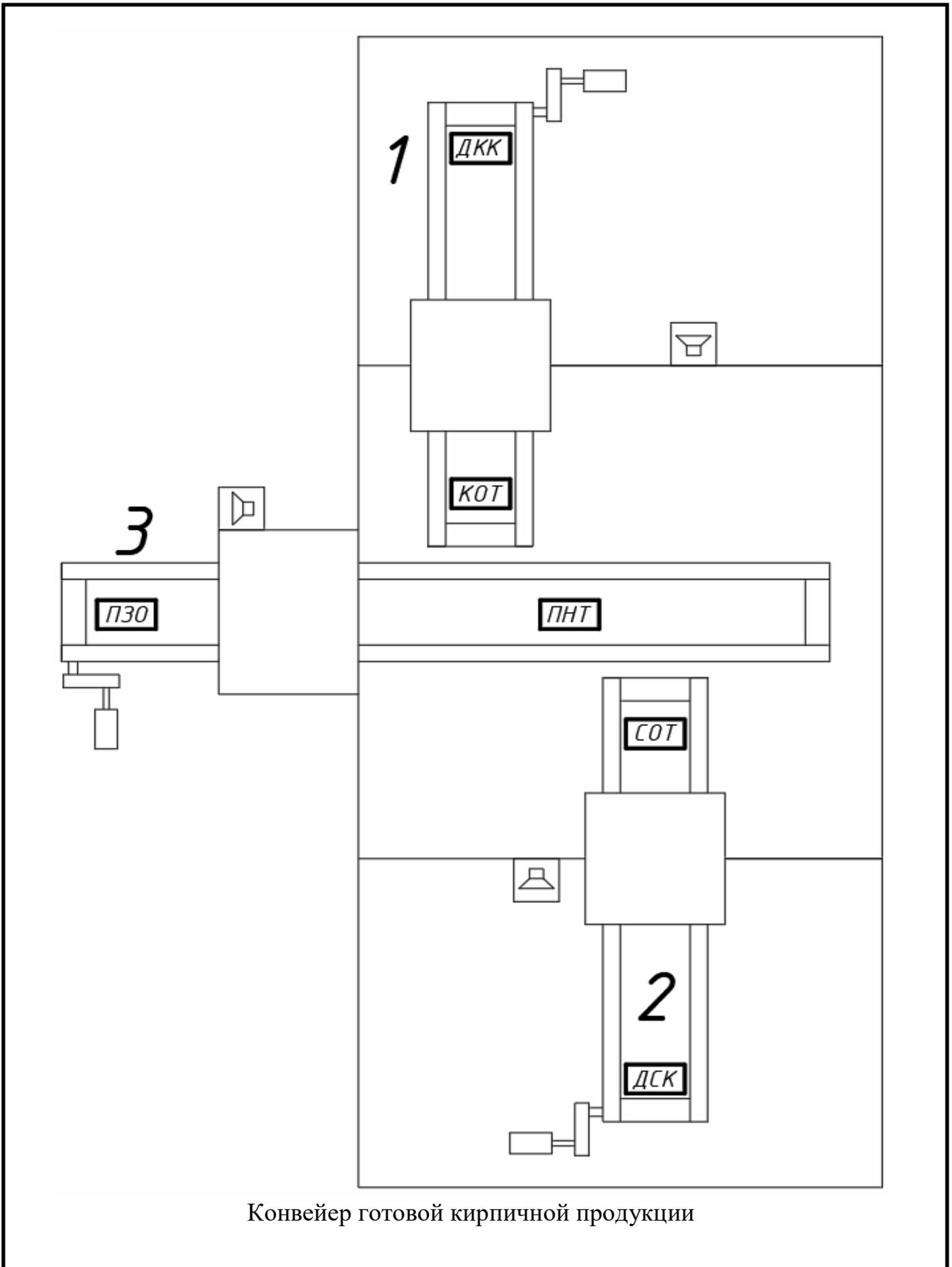
Лист	Лист	Листов
	4	

ЮУрГУ  
Кафедра «АЭП»



Зависимость  $\omega_{0n}$  от  $M, I$  при движении без поддона

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции			
Разраб.	Головин Е.А.							
Провер.	Сычев Д.А.							
Реценз								
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Григорьев М.А.				Лит.	Лист	Листов	
							4	
						<b>ЮУрГУ</b> <b>Кафедра «АЭП»</b>		



Конвейер готовой кирпичной продукции

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции			
Разраб.	Головин Е.А.							
Провер.	Сычев Д.А.							
Реценз								
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Григорьев М.А.				Лит.	Лист	Листов	
							4	
						<b>ЮУрГУ</b> <b>Кафедра «АЭП»</b>		

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы пульта управления и выходные контроллера	Пит	Лампа индикации «Питания»	Есть
	ИндАвто	Лампа индикации «Автоматический режим»	Есть
	ИндРуч	Лампа индикации «Ручной режим»	Есть
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Есть
	ИндКК	Лампа индикации «Керамический кирпич»	Есть
	ИндСК	Лампа индикации «Силикатный кирпич»	Есть
	АврТР1	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 1»	Есть
	АврТР2	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 2»	Есть
	АврТР3	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 3»	Есть
	АврД	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	Есть
Выходные сигналы пульта управления	кнПит	Ключ-бирка «Питание»	Ключ повернут
	АвтР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Верхнее положение
	РучР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Нижнее положение
	СбросА	Кнопка «Сброс аварии»	Нажата

**Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации**

Параметр	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	12...24
Количество входов	—	20
Количество выходов		16
Объем памяти	Кслов	7679
Максимальный потребляемый ток	мА	13

**Характеристики контроллера DL06**

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			
Разраб.	Головин Е.А.				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Сычев Д.А.					4	
Реценз					<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>		
Н. Контр.	Функ Т.А.						
Утверд.	Григорьев М.А.						

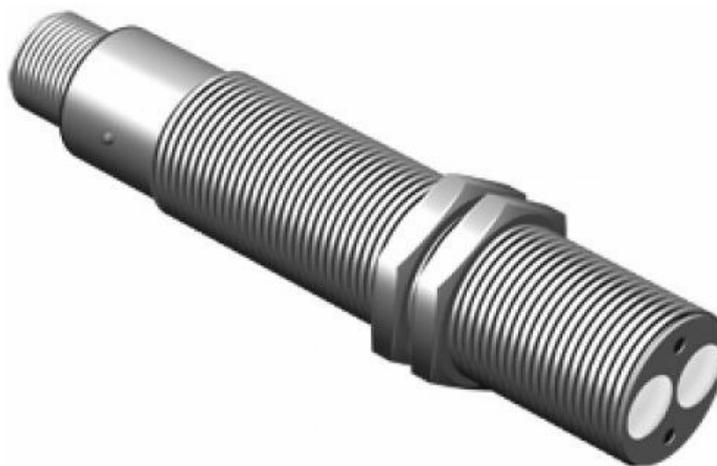
Автоматизированный  
электропривод конвейера  
готовой кирпичной  
продукции



Внешний вид контроллера DL06

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	10...30 DC
Подключение	—	4pin, трехпроводной кабель
Выход		PNP
Номинальный ток	мА	25
Дальность действия	м	4

Характеристики оптического датчика

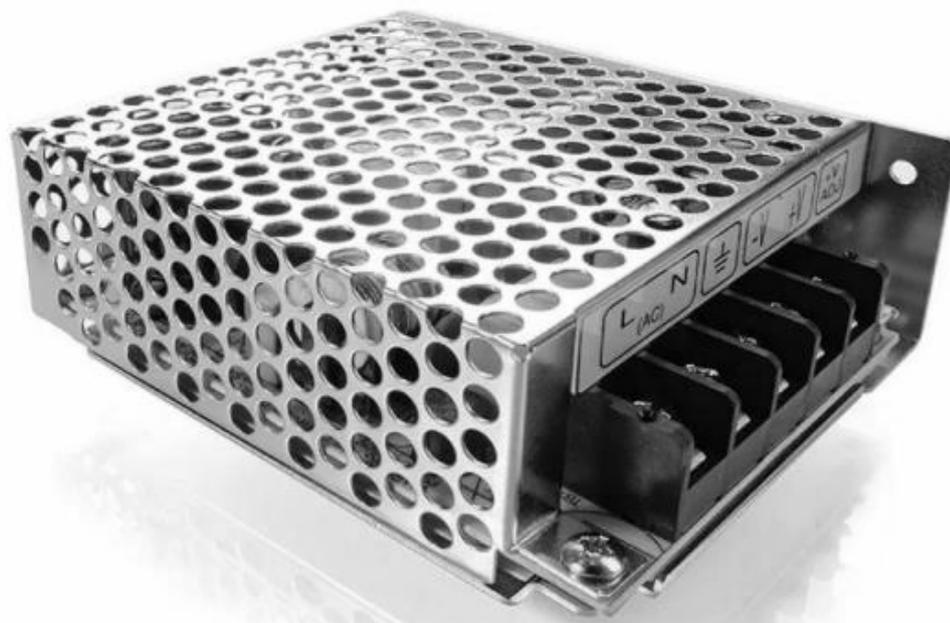


Внешний вид оптического датчика

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Головин Е.А.						4	
Провер.	Сычев Д.А.					ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
Реценз								
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Григорьев М.А.							

Наименование параметра	Размерность	Значение
Входное напряжение	В	88...264
Выходное напряжение		24
Выходная мощность	Вт	35
Выходной ток, до	А	1,5
КПД	%	88

Характеристики источника питания



Внешний вид блока питания

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Головин Е.А.						4	
Провер.	Сычев Д.А.					<b>ЮУрГУ</b> <b>Кафедра «АЭП»</b>		
Реценз								
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Григорьев М.А.							

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
<b>Входные сигналы</b>				
1	Переключатель «Автоматический режим»	АвтР	X0	SA2.1
2	Переключатель «Ручной режим»	РучР	X1	SA2.2
3	Кнопка «Сброс Аварии»	СбросА	X2	SB2
4	Кнопка «Керамический кирпич»	кнКК	X3	SB3
5	Кнопка «Силикатный кирпич»	кнСК	X4	SB4
6	Кнопка «Стоп»	Стоп	X5	SB5
7	Кнопка «Транспортер 1»	кнТР1	X6	SB6
8	Кнопка «Транспортер 2»	кнТР2	X7	SB7
9	Кнопка «Транспортер 3»	кнТР3	X10	SB8
10	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 1»	АврТР1	X11	HL2
11	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 2»	АврТР2	X12	HL3
12	Лампа индикации «Неисправность привода транспортера 3»	АврТР3	X13	HL4
13	датчик, сигнализирующий о том поддон с керамическим кирпичом находится на транспортере 1	ДКК	X14	SQ1
14	датчик, сигнализирующий о том поддон с силикатным кирпичом находится на транспортере 2	ДСК	X15	SQ2
15	датчик, сигнализирующий о том, что поддон с кирпичом на транспортере 1 находится у общего транспортера 3	КОТ	X16	SQ3
16	датчик, сигнализирующий о том, что поддон с кирпичом на транспортере 2 находится у общего транспортера 3	СОТ	X17	SQ4

Адреса переменных контролера

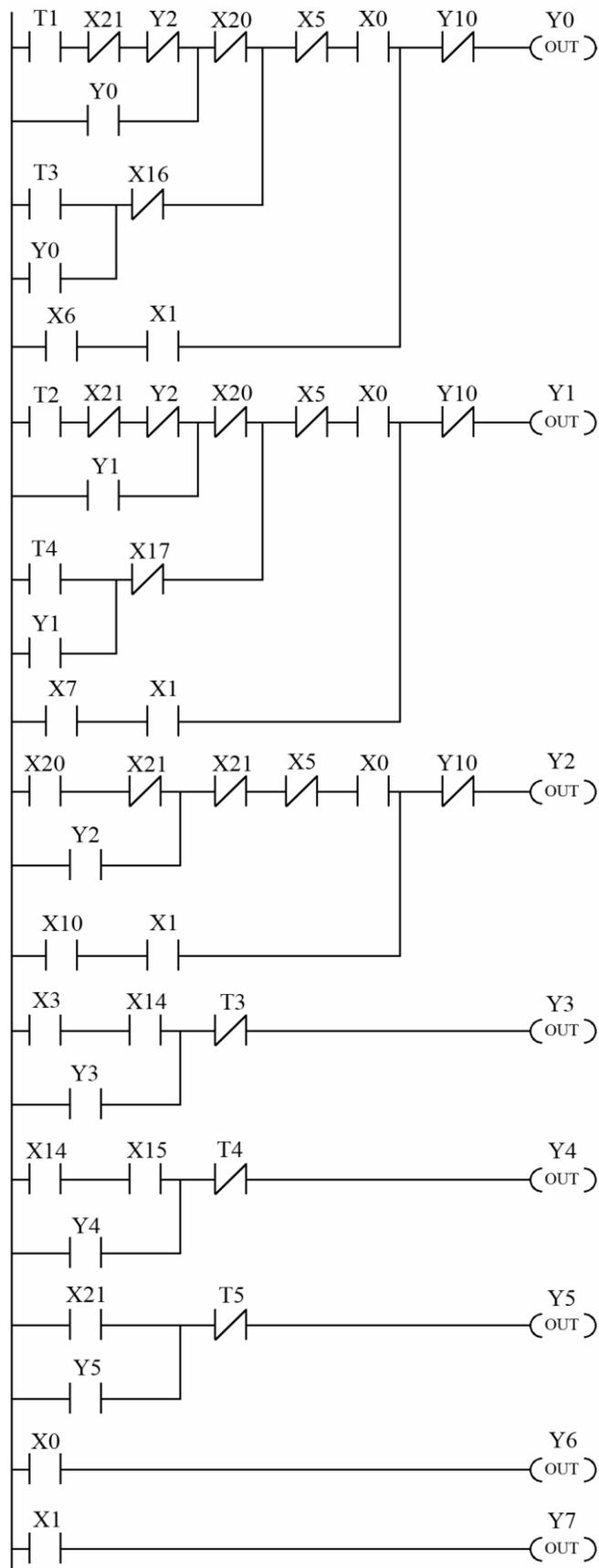
<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
Разраб.	Головин Е.А.			
Провер.	Сычев Д.А.			
Реценз				
Н. Контр.	Функ Т.А.			
Утверд.	Григорьев М.А.			
Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции			Лит.	Лист
				4
			ЮУрГУ Кафедра «АЭП»	

Команда	Уравнения в адресах ПЛК
Y0	$Y0 = ([ (T3 + Y0) \cdot \overline{X16} + (T1 \cdot \overline{X21} \cdot \overline{Y2} + Y0) \cdot \overline{X20} ] \cdot \overline{X5} \cdot X0 + X6 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y1	$Y1 = ([ (T4 + Y1) \cdot \overline{X17} + (T2 \cdot \overline{X21} \cdot \overline{Y2} + Y1) \cdot \overline{X20} ] \cdot \overline{X5} \cdot X0 + X7 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y2	$Y2 = (X20 \cdot \overline{X21} + Y2) \cdot \overline{X21} \cdot \overline{X5} \cdot X0 + X10 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y3	$Y3 = (X3 \cdot X14 + Y3) \cdot \overline{T3}$
Y4	$Y4 = (X4 \cdot X15 + Y4) \cdot \overline{T4}$
Y5	$Y5 = (X21 + Y5) \cdot \overline{T5}$
Y6	$Y6 = X0$
Y7	$Y7 = X1$
Y10	$Y10 = (X11 + X12 + X13 + Y13 + Y10) \cdot \overline{X2}$
Y11	$Y11 = Y0$
Y12	$Y12 = Y1$
Y13	$Y13 = X16 \cdot X20 + X17 \cdot X20$
T1	T1 = X16, с задержкой 5с , сброс T1 = Y2
T2	T2 = X17, с задержкой 5с , сброс T2 = Y2
T3	T3 = Y3, с задержкой 3с , сброс T3 = Y1
T4	T4 = Y4, с задержкой 3с , сброс T4 = Y2
T5	T5 = Y5, с задержкой 3с , сброс T5 = Y0 + Y1

Уравнения в адресации контролера DL06

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			
Разраб.		Головин Е.А.			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Сычев Д.А.				4	
Реценз					<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>		
Н. Контр.		Функ Т.А.					
Утверд.		Григорьев М.А.					

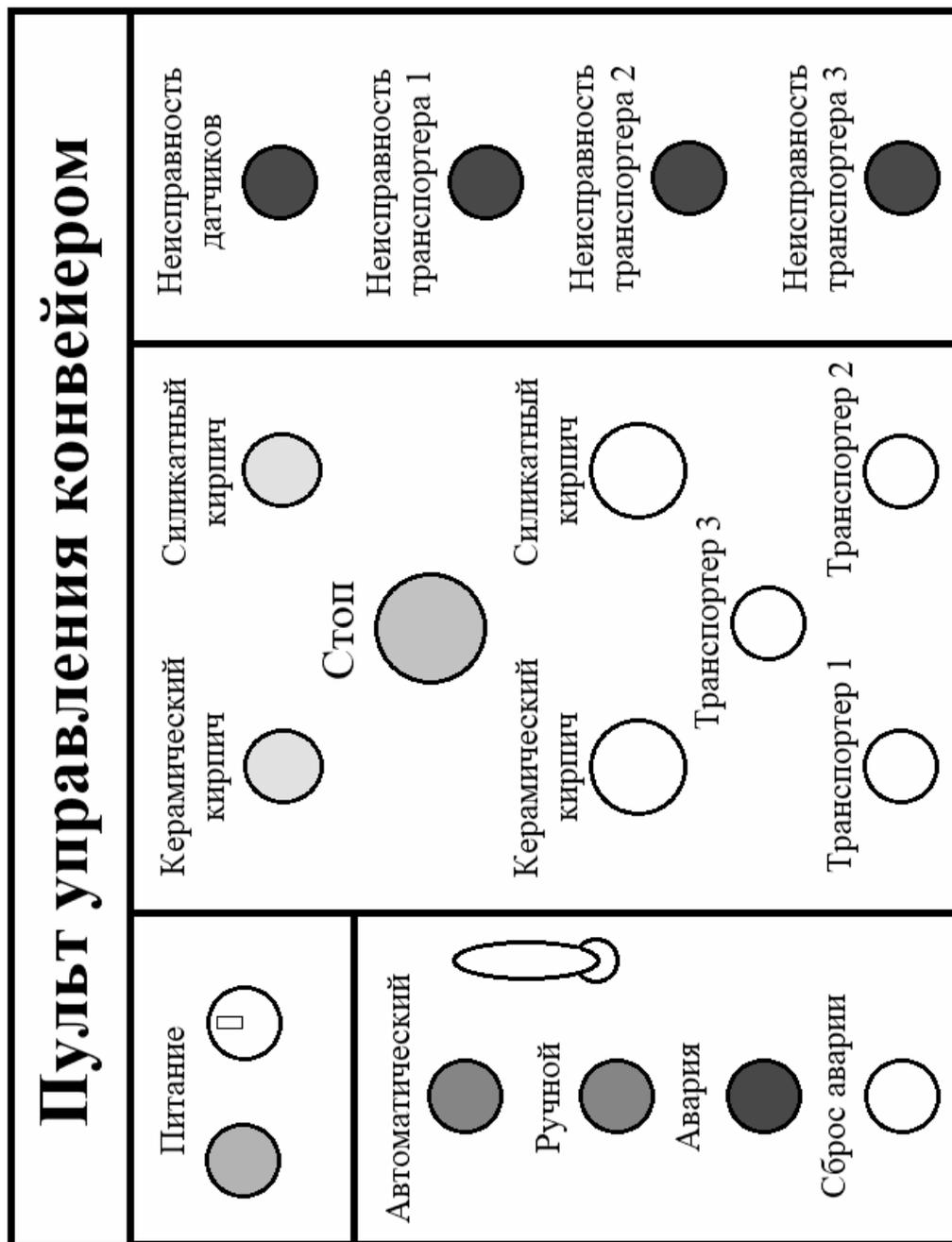
Автоматизированный  
электропривод конвейера  
готовой кирпичной  
продукции



Лестничная диаграмма системы автоматизации

<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ</b>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
Разраб.	Головин Е.А.			
Провер.	Сычев Д.А.			
Реценз				
Н. Контр.	Функ Т.А.			
Утверд.	Григорьев М.А.			
Автоматизированный электропривод конвейера готовой кирпичной продукции			Лит.	Лист
				4
			<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>	

# Пульт управления конвейером



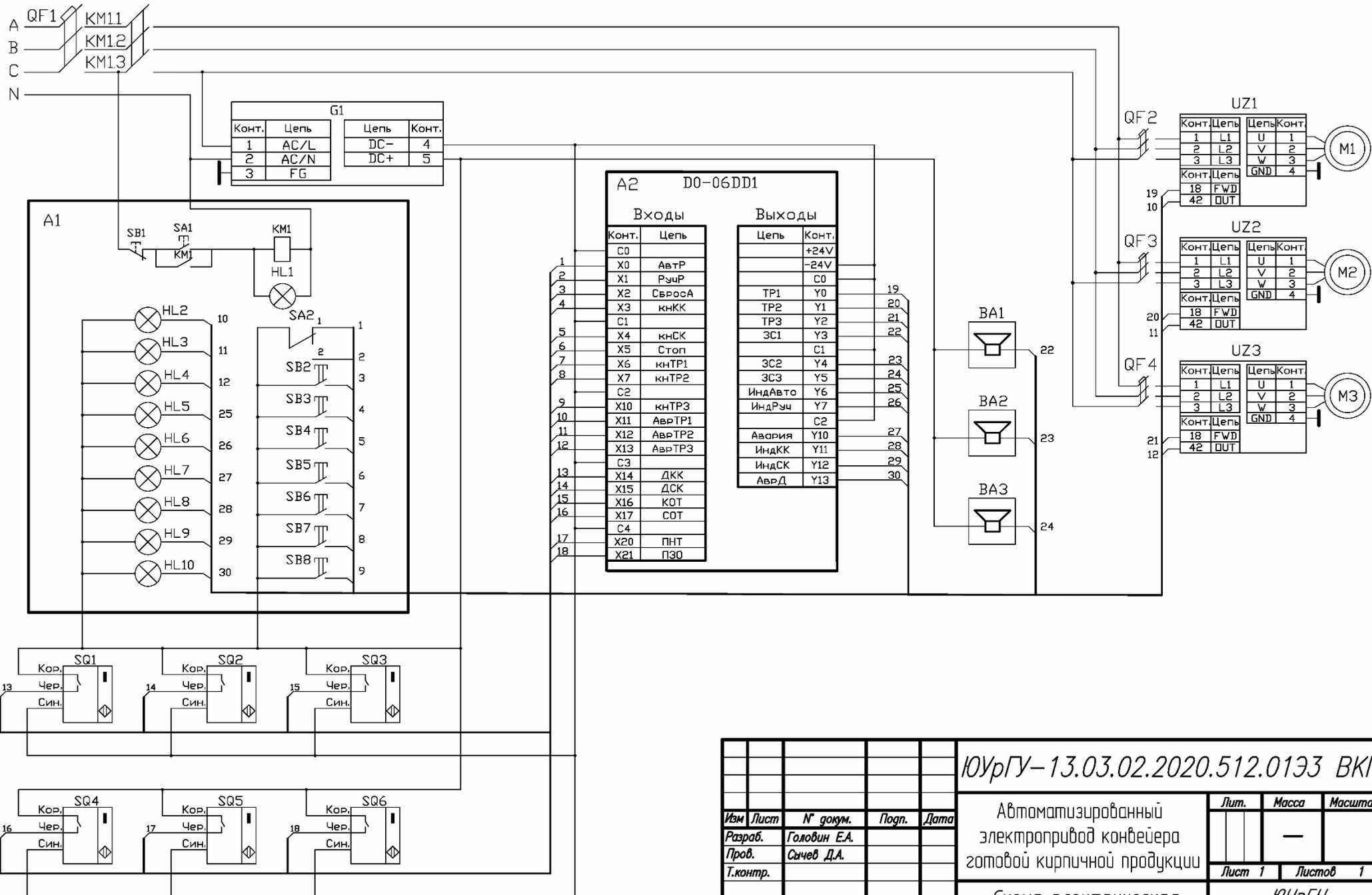
Пульт управления

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
Разраб.	Головин Е.А.			
Провер.	Сычев Д.А.			
Реценз				
Н. Контр.	Функ Т.А.			
Утверд.	Григорьев М.А.			

ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.01АИ

Автоматизированный  
электропривод конвейера  
готовой кирпичной  
продукции

Лит.	Лист	Листов
	4	
ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		



ЮУрГУ-13.03.02.2020.512.0133 ВКП

Изм	Лист	№ докум.	Погр.	Дата
Разраб.	Головин Е.А.			
Проб.	Сычев Д.А.			
Т.контр.				
И.контр.	Функ Т.А.			
Утв.	Григорьев М.А.			

Автоматизированный  
электропривод конвейера  
готовой кирпичной продукции

Схема электрическая  
принципиальная

Лит.	Масса	Масштаб
	-	
Лист 1	Листов 1	
ЮУрГУ Кафедра АЭП		